UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE *Castanea sativa* Mill. CLASIFICACIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS

TESIS DOCTORAL

Autor: Abel Vega Cueto

Director: Dr. Manuel Guaita Fernández

Directora: Dra. Vanessa Baño Gómez

LUGO, 2013

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE *Castanea sativa* Mill. CLASIFICACIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS

TESIS DOCTORAL

Autor: Abel Vega Cueto

Director: Dr. Manuel Guaita Fernández

Directora: Dra. Vanessa Baño Gómez

LUGO, 2013

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE *Castanea sativa* Mill. CLASIFICACIÓN VISUAL Y EVALUACIÓN MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS

ABEL VEGA CUETO

INGENIERO DE MONTES

Memoria para optar al grado de Doctor, realizada bajo la dirección del **Dr. Manuel Guaita Fernández**, Catedrático de Universidad del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela y de la **Dra. Vanessa Baño Gómez,** investigadora del Departamento de Madera Estructural del Centro Tecnológico de la Madera de Asturias (CETEMAS).

VºBº
El director de la tesis

VºBº
La directora de la tesis

Dr. Manuel Guaita Fernández

Dra. Vanessa Baño Gómez

El doctorando

Abel Vega Cueto

Lugo, 2013

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

El **Dr. Manuel Guaita Fernández**, Catedrático de Universidad del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela, y la **Dra. Vanessa Baño Gómez**, investigadora del Departamento de Madera Estructural del Centro Tecnológico de la Madera de Asturias (CETEMAS), informan:

Que la memoria titulada **"Caracterización mecánica de la madera estructural de *Castanea sativa* mill. Clasificación visual y evaluación mediante métodos no destructivos"**, presentada por el Ingeniero de Montes **D. Abel Vega Cueto** para optar al grado de Doctor Ingeniero de Montes, fue realizado bajo nuestra dirección. Considerando que el trabajo está finalizado, y es materia de tesis, autorizamos su presentación.

VºBº
El director de la tesis

VºBº
La directora de la tesis

Dr. Manuel Guaita Fernández

Dra. Vanessa Baño Gómez

El doctorando

Abel Vega Cueto

Lugo, 2013

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

Esta Tesis Doctoral se enmarca dentro del Proyecto Singular Estratégico "*Valorización Forestal e Industrial del Castaño en España*" (VALOCAS), desarrollado por el Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS) con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN) y el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación del Principado de Asturias (PCTI).

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

AGRADECIMIENTOS

Aprovechando la oportunidad de plasmar sobre un papel estos agradecimientos (preferible para un parco en palabras que se encuentra más cómodo ante una hoja en blanco) quisiera extenderlos más allá del ámbito que estrictamente abarca el desarrollo de esta Tesis Doctoral. Obviamente, las primeras palabras son para aquellos que directamente han estado involucrados en este trabajo, y sin cuya participación nunca habría salido a la luz. Después, y no por ello con menor relevancia, quisiera agradecer a todos aquellos que formáis parte indeleble de mi vida y, por tanto, debéis estar presentes por derecho en momentos de la misma que se suponen importantes, como es la culminación de este puñado de páginas.

Gracias, en primer lugar, a Juan Majada, director del Centro Tecnológico y Forestal de la Madera de Asturias, por la enésima oportunidad brindada y los años de aprendizaje irremplazables.

Gracias a Manuel Guaita (y por extensión a Jorge y la gente de PEMADE), codirector de esta Tesis e impulsor de corrientes de pensamiento que trascienden más allá del carácter técnico o ingenieril de la madera, dando vida y sentido a una pasión intangible del que muchos nos sentimos parte.

Gracias a Francisco Arriaga y todo el equipo de Cálculo de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, por estar dispuestos, desde el mismo momento en el que empezó este proyecto, a darnos apoyo y guiarnos con su conocimiento y experiencia.

Gracias, compañeros y compañeras de años montunos de facultad, en especial a todos los que formáis parte de la comuna astur-galaica que invadió Lugo en aquel par de años imborrables; Lopo, Pablo, Julito, Pipo, Caude, Ene, Anita, Sandra, Marta, Bea, Beína, Yoha, Manu, Héctor, Santi, Jaco, Igor, Martin, Tato, Patri, Guillem, Josemi, Chape, Pince, Edu, Pepe y todos los que me pueda dejar en el tintero. Porque vosotros representáis los mejores años de una larga etapa que ahora llega a su final.

Gracias a todos los que formáis y formasteis parte del SERIDA y el CETEMAS desde que, hace más tiempo del que parece, asomé por primera vez un titubeante pie en la finca de La Mata sin poder imaginar la cantidad de compañeros que con el tiempo pasaría a llamar amigos. Me gustaría dedicar especialmente este pequeño espacio de papel a Ernesto, por ser mi primer maestro por los pinares asturianos (y esperando a que perdone mi cambio del monte por la madera); a Manu, por ser una de esas islas de integridad y coherencia personal que tan poco abundan hoy en día y por ser de quien más he aprendido a intentar ser mejor persona; y a Sole, por compañera y amiga desde que esto empezó, por ser tan diferente e inimitable, parte insustituible de esta pequeña y extraña familia.

Gracias, Vane, por tu ejemplo de profesionalidad, tu apoyo y tus enseñanzas. Gracias por indicarme el camino, quitando las piedras inútiles y dejando que tropiece con las que he de tropezar. Ya lo sabes, pero te echamos de menos al otro lado del mar.

Gracias, Isa, compañera de batalla sin la cual no sería posible estar leyendo estas páginas y cuyo nombre también debería aparecer como autora en la portada. Bien sabes lo injusto que es resumir las incontables horas compartidas entre madera en un puñado de fríos números, pero al parecer no resulta adecuado plasmar risas o buenos momentos en una Tesis Doctoral. Eso que se pierden.

Gracias a vosotros, amigos del alma, Adri, Diego, Íñigo, Sergi, Natalia, Sergio, Leví, Melina, Jorge, Bea, Inma, Naza, Jose, Txema, Bonay, Gonza y todos los que hacéis grandes los momentos que de verdad importan, por ser parte imprescindible e insustituible de mi vida y que no siempre he sabido cuidar como merecéis. Siento las ausencias y malas uvas que esta tesis y otros quehaceres derivados han provocado en algunos momentos de estos últimos años. Espero compensároslo a mi manera, entre risas y cerveza hablando de fútbol y películas malas, o de caminata por los montes asturianos donde nacieron los castaños de los que aquí hablaré. Al final, siempre hay alguna conexión.

Gracias, Susana, por compartir tu tiempo conmigo, por aguantarme, entenderme y animarme sencillamente siendo como eres. Gracias por ser tú.

Y gracias a mi familia, muy especialmente a mis padres y hermanas, por ser el factor común de todas las etapas de mi vida, incluyendo ésta. Por no dudar nunca de mí, por permitirme decidir, para bien o para mal, lo que soy y cómo soy. Porque vosotros sois el lugar al que siempre he de volver. Porque sé que no necesitáis que os dedique agradecimiento alguno. Pero yo necesito hacerlo.

Gracias

Allí, postrado en su cama, el anciano miró hacia arriba y volvió a escudriñar, como había hecho miles de veces, cada nudo y cada curva de su veta. De lado a lado, aquel oscuro e imponente vestigio de lo que otrora fue un vigoroso castaño, cruzaba la estancia sosteniendo el techo e impidiéndole ver el luminoso cielo nocturno de verano. Y allí escuchó, sintiendo que su vida pronto se apagaría, como la madera le hablaba a través de sus imperfecciones. No entraban por sus oídos, pero las palabras se dibujaban en su mente, nítidas.

Ahora ves el fin de tu vida. El fin que todos esperamos. Te he visto nacer y crecer. Te he visto llorar, reír y amar. Entre mis vetas quedan grabados los sonidos, imágenes y sensaciones de toda tu vida, como las de tu padre, y las del padre de tu padre. Veré la vida de tus hijos y, con un poco de suerte, veré la vida de tus nietos. Mi vida no se acabó cuando me arrancasteis de la negra tierra y me despojasteis de mis verdes hojas hace varias vidas de hombre. Aquí sigo, respirando el mismo aire y la misma humedad que tú, recordándote que sigo con vida a través de sordos crujidos. Y aquí seguiré, si los tuyos me cuidan y me respetan, si aprenden a comprenderme y a perdonar mis imperfecciones. Mi vida es larga, sin fecha de caducidad definida. Veo pasar las vuestras, cortas, generaciones y generaciones llenas de intensidad y de sensaciones. Tal vez porque lo envidio, trato de impregnarme con todo aquello que ocurre debajo de mí, saturando mis fibras, almacenando, transmitiendo y entremezclando vuestras vidas. Tal vez no te consuele, pero no morirás del todo. Allá fuera, en silencio bajo la lluvia y la oscuridad, los míos absorben y purifican el aire que tú no necesitas en vida. Cuando ya no estés, parte de la materia esencial de la que estás hecho será absorbida por ellos, y tal vez tus hijos o los hijos de tus hijos usen su madera para hacer su hogar. Y en esa madera se impregnarán sus vidas, si la respetan y la comprenden, y el ciclo volverá a empezar. Pero aún falta mucho para eso, anciano. Aún estás aquí, impregnando mis fibras con tu mirada, con tu respiración.

Duerme tranquilo, yo seguiré aquí.

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

ÍNDICE

	ÍNDICE	**i**
	ÍNDICE DE TABLAS	**iv**
	ÍNDICE DE FIGURAS	**ix**
	SÍMBOLOS Y DEFINICIONES	**xiii**
	RESUMEN	**xv**
	ABSTRACT	**xvii**
1.	**INTRODUCCIÓN**	**1**
2.	**JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**	**3**
3.	**ANTECEDENTES**	**5**
3.1.	**El castaño**	**7**
3.1.1.	Taxonomía y distribución de la especie	**7**
3.1.2.	Origen y evolución histórica	**9**
3.1.3.	La madera de castaño	**9**
3.1.4.	Uso estructural de la madera de castaño	**11**
3.2.	**Normativa**	**13**
3.2.1.	Marco normativo de la madera estructural	**13**
3.2.2.	Clasificación de la madera estructural	**14**
3.3.	**Determinación de las propiedades mecánicas de la madera**	**18**
3.3.1.	Ensayo mecánico	**18**
	3.3.1.1. Módulo de elasticidad global y local	**19**
	3.3.1.2. Resistencia a flexión	**20**
	3.3.1.3. Valores característicos de las propiedades mecánicas	**21**
3.3.2.	Clasificación visual	**22**
3.3.3.	Técnicas no destructivas	**27**
	3.3.3.1. Definición y clasificación	**27**
	3.3.3.2. Método de ultrasonidos	**30**
	3.3.3.3. Método de onda de impacto	**33**
	3.3.3.4. Factores influyentes en la velocidad de onda	**34**
	3.3.3.5. Tipos de medidas	**36**
	3.3.3.6. Análisis de vibraciones	**37**
3.4.	**Conclusiones a los antecedentes**	**40**
4.	**MATERIALES Y METODOLOGÍA**	**43**
4.1.	**Esquema general de los ensayos**	**45**
4.2.	**Materiales**	**46**
4.2.1.	Material de ensayo	**46**
4.2.2.	Identificación de la muestra	**48**
4.3.	**Equipos utilizados**	**49**
4.3.1.	Cámara de acondicionado	**49**
4.3.2.	Xilohigrómetro	**49**
4.3.3.	Instrumentos de medición	**50**
4.3.4.	Equipos no destructivos	**51**
	4.3.4.1. Sylvatest Trio	**51**
	4.3.4.2. Microsecond Timer	**52**

	4.3.4.3. Portable Lumber Grader	**52**
	4.3.4.4. Hitman HM200	**53**
4.3.5.	Banco de ensayos universal	**54**
4.3.6.	Estufa de secado	**54**
4.4.	**Normativa de referencia**	**55**
4.5.	**Acondicionado de la madera**	**56**
4.6.	**Determinación del contenido de humedad y la densidad**	**57**
4.7.	**Clasificación visual**	**59**
4.7.1.	Contenido de humedad de referencia	**59**
4.7.2.	Dimensiones	**59**
4.7.3.	Singularidades	**60**
4.7.4.	Especificaciones de clasificación	**65**
4.8.	**Técnicas no destructivas**	**66**
4.8.1.	Ultrasonidos	**66**
4.8.2.	Ondas de impacto	**67**
4.8.3.	Análisis de vibraciones	**68**
4.8.4.	Corrección de la velocidad de transmisión de onda	**69**
4.8.5.	Cálculo del módulo de elasticidad dinámico	**69**
4.8.6.	Parámetros de clasificación visual	**70**
4.9.	**Ensayo mecánico**	**72**
4.9.1.	Módulo de elasticidad global	**72**
4.9.2.	Módulo de elasticidad local	**73**
4.9.3.	Módulo de elasticidad transversal	**74**
4.9.4.	Resistencia a flexión	**75**
4.10.	**Análisis estadístico**	**77**
4.10.1.	Estadísticos descriptivos	**77**
4.10.2.	Test de normalidad	**77**
4.10.3.	Análisis de varianza	**78**
4.10.4.	Modelos de regresión	**78**
4.11.	**Procedimiento normativo de caracterización estructural**	**79**
4.11.1.	Muestreo	**79**
4.11.2.	Ensayos mecánicos y cálculo de valores característicos	**79**
4.11.3.	Asignación de clase resistente	**82**
5.	**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**	**83**
5.1.	**Descriptivos de la muestra**	**86**
5.1.1.	Dimensiones	**86**
5.1.2.	Contenido de humedad	**86**
5.2.	**Propiedades mecánicas y densidad**	**88**
5.2.1.	Test de normalidad	**88**
5.2.2.	Módulo de elasticidad	**91**
	5.2.2.1. Análisis de varianza	**91**
	5.2.2.2. Análisis por sección y procedencia	**92**
5.2.3.	Módulo de elasticidad transversal	**95**
5.2.4.	Resistencia a flexión	**95**
	5.2.4.1. Análisis de varianza	**96**
	5.2.4.2. Análisis por sección y procedencia	**96**

5.2.5.	Densidad	**100**
	5.2.5.1. Análisis de varianza	**100**
	5.2.5.2. Análisis por sección y procedencia	**101**
5.2.6.	Relaciones entre las variables	**104**
	5.2.6.1. Densidad global vs. densidad local	**104**
	5.2.6.2. Módulo de elasticidad local vs. Módulo de elasticidad global	**104**
	5.2.6.3. Resistencia a flexión vs. Módulo de elasticidad global	**106**
	5.2.6.4. Módulo de elasticidad transversal vs. Módulo de elasticidad	**108**
	5.2.6.5. Densidad vs. módulo de elasticidad	**109**
	5.2.6.6. Densidad vs. resistencia a flexión	**110**
5.2.7.	Propiedades mecánicas y densidad. Resumen de resultados	**111**
5.3.	**Clasificación visual**	**113**
5.3.1.	Clasificación visual según la norma UNE 56546	**113**
5.3.2.	Propuesta de criterios limitantes y reclasificación de la muestra	**115**
5.4.	**Técnicas no destructivas**	**119**
5.4.1.	Test de normalidad	**119**
5.4.2.	Velocidad de onda	**120**
	5.4.2.1. Análisis por sección y procedencia	**120**
5.4.3.	Módulo de elasticidad dinámico	**124**
	5.4.3.1. Análisis por sección y procedencia	**124**
	5.4.3.2. Relación entre medidas directas e indirectas	**128**
5.4.4.	Relaciones entre variables	**130**
	5.4.4.1. Módulo de elasticidad global vs. velocidad de onda	**130**
	5.4.4.2. Resistencia a flexión vs. velocidad de onda	**131**
	5.4.4.3. Módulo de elasticidad global vs. módulo de elasticidad dinámico	**132**
	5.4.4.4. Resistencia a flexión vs. módulo de elasticidad dinámico	**133**
5.4.5.	Estimación de las propiedades mecánicas mediante la combinación de parámetros de clasificación visual y técnicas no destructivas	**135**
5.4.6.	Las técnicas no destructivas como complemento y alternativa a la clasificación visual	**140**
5.5.	**Caracterización estructural normativa de la madera aserrada de castaño de procedencia española**	**146**
6.	**CONCLUSIONES**	**151**
7.	**TRABAJOS DERIVADOS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**	**159**
8.	**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**	**163**
	ANEXO I. Calibración del xilohigrómetro	**177**
	ANEXO II. Estadillos de laboratorio	**181**
	ANEXO III. Bases de datos	**185**
	ANEXO IV. Publicaciones	

ÍNDICE DE TABLAS

Antecedentes	
Tabla 3.1.1. Número de pies menores (diámetro <75 mm), pies mayores (diámetro >75 mm), área basimétrica (m^2) y volumen de madera con corteza (m^3) de la especie *Castanea sativa* Mill en España. Fuente: III Inventario Forestal Nacional	**8**
Tabla 3.2.1. Clases resistentes según la norma UNE-EN 338:2010.	**14**
Tabla 3.3.1. Resumen de técnicas no destructivas aplicadas en madera	**27**
Materiales y metodología	
Tabla 4.2.1. Cortas de madera de castaño (m^3 cc) por Comunidad Autónoma (INE, 2009)	**46**
Tabla 4.2.2. Número de piezas ensayadas (*n*) por Comunidad Autónoma	**47**
Tabla 4.2.3. Número de piezas de madera aserrada estructural de castaño ensayadas, por procedencia y sección.	**47**
Tabla 4.7.1. Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular de madera de eucalipto (b ≤ 60 mm y h ≤ 200 mm)	**65**
Tabla 4.8.1. Variables visuales e índices de nudosidad	**70**
Resultados	
Tabla 5.1.1. Número de piezas y dimensiones medias de cada muestra	**86**
Tabla 5.1.2. Contenido de humedad de las muestras según medición con xilohigrómetro sin corregir (H_{xil_sc}), corregido (H_{xil_c}) y mediante secado en estufa (H_{est}).	**87**
Tabla 5.2.1. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central ($f_{m\ c}$), por procedencia	**88**
Tabla 5.2.2. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central ($f_{m\ c}$), por tamaño de sección	**89**
Tabla 5.2.3. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central ($f_{m\ c}$), para todas las probetas	**89**
Tabla 5.2.4. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) para el conjunto de todas las probetas	**91**
Tabla 5.2.5. Análisis de varianza de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección	**91**
Tabla 5.2.6. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por sección	**92**
Tabla 5.2.7. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por sección	**92**
Tabla 5.2.8. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas	**92**
Tabla 5.2.9. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas	**92**
Tabla 5.2.10. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) por sección para las procedencias Asturias, Cataluña y Galicia	**93**

Tabla 5.2.11. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad transversal (*G*) por procedencia **95**
Tabla 5.2.12. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad transversal (*G*) por sección **95**
Tabla 5.2.13. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) para el conjunto de todas las probetas **95**
Tabla 5.2.14. Análisis de varianza de la variable resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección **96**
Tabla 5.2.15. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) por sección **96**
Tabla 5.2.16. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión corregida ($f_{m\ c}$) por sección **96**
Tabla 5.2.17. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de la resistencia a flexión (f_m) por procedencia para el conjunto de todas las probetas **98**
Tabla 5.2.18. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de la resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas **98**
Tabla 5.2.19. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por sección para las procedencias Asturias, Cataluña y Galicia. **98**
Tabla 5.2.20. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) y densidad local (Den_{Loc12}) para el conjunto de todas las muestras **100**
Tabla 5.2.21. Análisis de varianza de la variable densidad global (Den_{Glo12}) y local (Den_{Loc12}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección **100**
Tabla 5.2.22. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) por sección **101**
Tabla 5.2.23. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad local (Den_{Loc12}) por sección **101**
Tabla 5.2.24. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) por procedencia **101**
Tabla 5.2.25. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad local (Den_{Loc12}) por procedencia **101**
Tabla 5.2.26. Modelo de regresión lineal de las variables Den_{loc12} (variable dependiente) y Den_{glo12} (variable independiente) **104**
Tabla 5.2.27. Modelo de regresión lineal de las variables E_{loc12} (variable dependiente) y E_{glo12} (variable independiente) **105**
Tabla 5.2.28. Relación entre el módulo de elasticidad global y local definida en la norma EN 384 y la obtenida a partir de datos experimentales, y error relativo y absoluto respecto a los valores de E_{loc} obtenidos en el ensayo mecánico **106**
Tabla 5.2.29. Modelo de regresión lineal de las variables f_m (variable dependiente) y E_{glo12} y E_{loc12} (variables independientes) **106**
Tabla 5.2.30. Valores medios del módulo de elasticidad transversal *G* por tipo de corte observado en la probeta y relación E_{loc12}/G. **108**
Tabla 5.2.31. Modelo de regresión lineal de las variables Den_{Loc12} y Den_{glo12} (variables dependientes) y E_{glo12} y E_{loc12} (variables independientes) **109**
Tabla 5.2.32. Modelo de regresión lineal de las variables f_m (variable dependiente) y Den_{loc12} (variable independiente) **110**

Tabla 5.2.33. Tabla resumen de las propiedades mecánicas: módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}) en kN/mm^2, módulo de elasticidad transversal (G) en kN/mm^2, resistencia a flexión y resistencia a flexión corregida (f_m y f_{m_c}) en N/mm^2 y densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}) en kg/m^3. **111**

Tabla 5.3.1. Porcentajes de rechazo (R) y madera clasificada como Madera Estructural de Frondosa (MEF), módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión media (f_m) y quinto percentil (f_{05}), densidad media (Den_{Loc12}) y quinto percentil (Den_{Loc12_05}) por clase visual según la norma UNE EN 56546 **113**

Tabla 5.3.2. Módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión (f_m) y densidad (Den_{Loc12}) según grupos de piezas aptas (MEF) y rechazadas (R) por nudos, fendas y presencia de médula según los criterios de la norma UNE 56546. **115**

Tabla 5.3.3. Módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión (f_m) y densidad (Den_{Loc12}) según grupos de piezas aptas (MEF) y rechazadas (R) por nudos según los nuevos criterios propuestos. **115**

Tabla 5.3.4. Criterios de clasificación específicos propuestos para castaño **116**

Tabla 5.3.5. Porcentajes de rechazo y MEF, módulo de elasticidad global (E_{norm12}), resistencia a flexión media (f_m) y quinto percentil ($f_{0,5}$), densidad media (Den_{Loc12}) y quinto percentil (Den_{Loc12_05}) por procedencia, sección y clase visual según los criterios definidos para castaño **117**

Tabla 5.4.1. Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda para todas las muestras ensayadas **120**

Tabla 5.4.2 Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda por tamaño de sección. **120**

Tabla 5.4.3. Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda por procedencia. **121**

Tabla 5.4.4. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico para todas las muestras ensayadas **124**

Tabla 5.4.5. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico por sección. **124**

Tabla 5.4.6. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico por procedencia. **125**

Tabla 5.4.7. Modelo de regresión lineal de las variables de ultrasonidos de forma directa E_{din_ud} (variable dependiente) e indirecta E_{din_ui} (variable independiente) **128**

Tabla 5.4.8. Modelo de regresión lineal de las variables de onda de impacto de forma directa E_{din_id} (variable dependiente) e indirecta E_{din_ii} (variable independiente) **129**

Tabla 5.4.9. Modelo de regresión lineal de las variables E_{glo12} (v. dependiente) y V (v. independiente) **130**

Tabla 5.4.10. Modelo de regresión lineal de las variables f_{m_c} (variable dependiente) y V (variable independiente) **131**

Tabla 5.4.11. Modelo de regresión lineal de las variables E_{glo12} (variable dependiente) y E_{din} (variable independiente) **132**

Tabla 5.4.12. Modelo de regresión lineal de las variables f_{m_c} (variable dependiente) y E_{din} (variable independiente) **133**

Tabla 5.4.13. Autovalores y proporción de la varianza explicada por cada componente **135**

Tabla 5.4.14. Análisis de los componentes principales **135**

Tabla 5.4.15. Coeficiente de correlación y error de las regresiones lineales **137**

Tabla 5.4.16. Modelos de regresión lineal con mayor coeficiente de determinación y menor error obtenidos para cada variable dependiente estudiada (E_{glo_12} y f_{m_c}) **137**

Tabla 5.4.17. Validación cruzada de los modelos **138**

Tabla 5.4.18. Velocidades de onda mediante técnica de ultrasonidos (V_{ud_c}), onda de impacto (V_{id_c}) y vibraciones (V_{v_c} y V_{h_c}) según piezas clasificadas MEF y rechazadas **140**

Tabla 5.4.19. Distribución por percentiles de las velocidades de onda mediante técnica de ultrasonidos (V_{ud_c}), onda de impacto (V_{id_c}) y vibraciones (V_{v_c} y V_{h_c}) **141**

Tabla 5.4.20. Valor medio del módulo de elasticidad (E_{norm12}), 5º percentil de la resistencia a flexión (f_{05}) y 5º percentil de la densidad (Den_{Loc12_05}) según clasificación por velocidad de onda ultrasónica (V_{ud_c}) **141**

Tabla 5.4.21. Porcentaje de aceptación y rechazo, valores característicos de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) y clase resistente asignada, según clasificación visual y clasificación mediante ultrasonidos **142**

Tabla 5.4.22. Número y porcentaje de piezas mal clasificadas según ambos sistemas (visual y ultrasonidos) **143**

Tabla 5.4.23. Rendimiento, propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) y clase resistente según la norma EN 338 de las piezas válidas y no válidas clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4660 m/s). **144**

Tabla 5.4.24. Rendimiento y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) de las piezas válidas y no válidas clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4573 m/s). **144**

Tabla 5.4.25. Rendimiento y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) de las piezas válidas y no válidas clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4466 m/s). **144**

Tabla 5.5.1 Número de piezas empleadas en la caracterización normativa **146**

Tabla 5.5.2. Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular de madera de castaño (Castanea sativa Mill.) (b ≤ 70 mm y h ≤ 150 mm) **146**

Tabla 5.5.3. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo, por procedencia y sección **147**

Tabla 5.5.4. Valores característicos de resistencia a flexión ($f_{m,k}$), módulo de elasticidad ($E_{0,m}$) y densidad (ρ_k) **148**

Tabla 5.5.5. Asignación de clase resistente según los valores característicos para la madera aserrada de castaño de procedencia española clasificada MEF **149**

Tabla 5.5.6. Clases resistentes de frondosas según la norma UNE-EN 338:2010. **149**

Anexos	
Tabla AI.1. Variables y relaciones entre variables empleadas en la calibración del xilohigrómetro	**179**
Tabla AI.2. Calibración del xilohigrómetro para la estimación del contenido de humedad de la madera de castaño.	**180**
Tabla AIII.1. Tabla de datos genéricos, dimensiones y contenidos de humedad	**185**
Tabla AIII.2. Tabla de datos de densidades y propiedades mecánicas	**202**
Tabla AIII.3. Tabla de datos de ensayos no destructivos	**219**

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ÍNDICE DE FIGURAS

Antecedentes	
Figura 3.1.1. Castaño europeo (Castanea sativa Mill.)	**7**
Figura 3.1.2. Mapa de distribución del castaño (Castanea sativa Mill.) en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011)	**8**
Figura 3.1.3. Aspecto macroscópico de la madera de castaño (Castanea sativa Mill.)	**10**
Figura 3.1.4. Hórreo asturiano con la totalidad de sus elementos estructurales de madera de castaño. Fuente: www.smra.eu	**12**
Figura 3.2.1. Esquema del proceso de asignación de clase resistente a madera estructural clasificada.	**16**
Figura 3.2.2. Esquema general del proceso de caracterización y asignación de clase resistente a madera estructural no clasificada	**17**
Figura 3.3.1. Diagrama cortante (arriba) y de momentos flectores (abajo) en una pieza a flexión según el ensayo definido en la norma EN 408.	**19**
Figura 3.3.2. Desviación local de la fibra alrededor de nudos	**23**
Figura 3.3.3. Desviación general de la fibra	**23**
Figura 3.3.4. Gemas	**24**
Figura 3.3.5. Fendas	**24**
Figura 3.3.6. Deformación de cara	**25**
Figura 3.3.7. Acople entre palpador de ultrasonidos y la superficie de la madera	**35**
Figura 3.3.8. Influencia del tamaño de sección en la velocidad de onda (Bucur, 2006)	**35**
Figura 3.3.9. Configuración del ensayo para la medición directa	**36**
Figura 3.3.10. Configuración del ensayo para la medición indirecta	**36**
Figura 3.3.11. Modos de flexión (modos 1, 2 y 3)	**37**
Figura 3.3.12. Vibración longitudinal	**39**
Materiales y metodología	
Figura 4.2.1. Material de ensayo	**46**
Figura 4.2.2. Gráfico de porcentaje de volumen de corta-piezas ensayadas	**47**
Figura 4.2.3. Identificación de las muestras	**48**
Figura 4.3.1. Cámara de acondicionado	**49**
Figura 4.3.2. Xilohigrómetro RTU 600 (Gann)	**50**
Figura 4.3.3. Instrumentos de medida y equipo de medición de la desviación de fibra *Metriguard 511*.	**50**
Figura 4.3.4. Sylvatest Trio (*CBT-CSB*)	**51**
Figura 4.3.5. Microsecond Timer (*Fakopp*)	**52**
Figura 4.3.6. Equipo *Portable Lumber Grader* (*Fakopp*)	**53**
Figura 4.3.7. Equipo *Director HM200* (*Fibergen*)	**53**
Figura 4.3.8. Banco de ensayos universal para la realización de los ensayos mecánicos destructivos	**54**
Figura 4.3.9. Estufa de secado	**54**
Figura 4.5.1. Acondicionado de la madera en cámara	**56**
Figura 4.6.1. Medición del contenido de humedad mediante xilohigrómetro (EN 13183-2)	**57**

Figura 4.6.2. Determinación de peso y dimensiones para el cálculo de la densidad local **58**
Figura 4.7.1. Medición de nudos de cara (d_h) y de canto (d_b) **60**
Figura 4.7.2. Medición de nudos de arista **61**
Figura 4.7.3. Medición de nudos agrupados **61**
Figura 4.7.4. Medición de fendas no pasantes (izquierda) y pasantes (derecha) **62**
Figura 4.7.5. Medición de la desviación general de la fibra **62**
Figura 4.7.6. Medición de gemas **63**
Figura 4.7.7. Medición de las deformaciones **64**
Figura 4.8.1. Medición de onda ultrasónica mediante el equipo Sylvatest Trio. Medición directa (izquierda) e indirecta (derecha) **66**
Figura 4.8.2. Medición de onda de impacto mediante el equipo Microsecond Timer. Medición directa (izquierda) e indirecta (derecha) **67**
Figura 4.8.3. Análisis de vibraciones mediante el equipo PLG **68**
Figura 4.8.4. Medición de la velocidad de onda mediante el equipo Hitman Director HM200 **68**
Figura 4.9.1. Configuración del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global según la norma EN 408 **72**
Figura 4.9.2. Configuración del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad local según la norma EN 408 **73**
Figura 4.9.3. Configuración del ensayo para la determinación de la resistencia a flexión según la norma EN 408 **75**
Figura 4.9.4. Configuración del ensayo conjunto para la determinación del módulo de elasticidad global (extensómetro 1), módulo de elasticidad local (extensómetro 2) y resistencia a flexión según la norma EN 408. **76**
Figura 4.11.1. Gráfico para la determinación del factor *ks*. A: número de muestras; B: número de probetas en la muestra más pequeña **81**

Resultados

Figura 5.1.1. Contenido de humedad mediante xilohigrómetro H_{xil_c} (color negro) y mediante secado en estufa H_{est} (color blanco) por muestra **87**
Figura 5.2.1. Histograma de frecuencias de la variable densidad global (Den_{Glo12}) **90**
Figura 5.2.2. Histograma de frecuencias de la variable densidad local (Den_{Loc12}) **90**
Figura 5.2.3. Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12}) **90**
Figura 5.2.4. Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global (E_{glo12}) **90**
Figura 5.2.5. Histograma de frecuencias de la variable resistencia a flexión (f_m) **90**
Figura 5.2.6. Histograma de frecuencias de la variable resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central ($f_{m\ c}$) **90**
Figura 5.2.7. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por sección y procedencia **94**
Figura 5.2.8. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por sección y procedencia **94**
Figura 5.2.9. Diagrama de cajas de la variable resistencia a flexión (f_m) por sección y procedencia **99**

Figura 5.2.10. Diagrama de cajas de la variable resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por sección y procedencia **90**

Figura 5.2.11. Diagrama de cajas de la variable densidad global (Den_{Glo12}) por sección y procedencia **103**

Figura 5.2.12. Diagrama de cajas de la variable densidad local (Den_{Loc12}) por sección y procedencia **103**

Figura 5.2.13. Regresión lineal Den_{Loc12}-Den_{Glo12} **104**

Figura 5.2.14a. Regresión lineal E_{glo12}-E_{loc12} **105**

Figura 5.2.14b. Análisis de los residuos del modelo E_{loc12}-E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha) **105**

Figura 5.2.15a. Regresión lineal f_{m_c} - E_{glo12} **107**

Figura 5.2.15b. Análisis de los residuos del modelo f_{m_c} - E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha) **107**

Figura 5.2.16a. Regresión lineal Den_{Loc12}-E_{glo12} **109**

Figura 5.2.16b. Análisis de los residuos del modelo Den_{Loc12}-E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha) **109**

Figura 5.2.17a. Regresión lineal f_{m_c}-Den_{loc12} **110**

Figura 5.2.17b. Análisis de los residuos del modelo f_{m_c}-Den_{loc12} Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha) **110**

Figura 5.3.1. Porcentaje de piezas rechazadas por cada singularidad **114**

Figura 5.3.2. Porcentaje de piezas dentro de cada clase resistente clasificadas individualmente **118**

Figura 5.4.1. Histograma de frecuencias de la variable V_{ud_c} **119**

Figura 5.4.2. Histograma de frecuencias de la variable V_{id_c} **119**

Figura 5.4.3. Histograma de frecuencias de la variable V_{v_c} **119**

Figura 5.4.4. Histograma de frecuencias de la variable V_{h_c} **119**

Figura 5.4.5. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (Sylvatest, ultrasonidos) ($V_{ud\ c}$) por sección y procedencia **122**

Figura 5.4.6. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (Microsecond Timer, onda de impacto) ($V_{id\ c}$) por sección y procedencia **122**

Figura 5.4.7. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (PLG, vibraciones) ($V_{v\ c}$) por sección y procedencia **123**

Figura 5.4.8. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda de vibración longitudinal (HM200, vibraciones) (V_{h_c}) por sección y procedencia **123**

Figura 5.4.9. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (Sylvatest, ultrasonidos) ($E_{din\ ud}$) por sección y procedencia **126**

Figura 5.4.10. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (Microsecond Timer, onda de impacto) (E_{din_id}) por sección y procedencia **126**

Figura 5.4.11. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (PLG, vibraciones) ($E_{din\ v}$) por sección y procedencia **127**

Figura 5.4.12. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (HM200, vibraciones) ($E_{din\ h}$) por sección y procedencia **127**

Figura 5.4.13a. Regresión lineal $E_{din_ud} - E_{din_ui}$ **128**

Figura 5.4.13b. Análisis de los residuos del modelo $E_{din_ud} - E_{din_ui}$. **128**

Figura 5.4.14a. Regresión lineal $E_{din_id} - E_{din_ii}$ **129**

Figura 5.4.14b. Análisis de los residuos del modelo $E_{din_id} - E_{din_ii}$. **129**

Figura 5.4.15. Regresión lineal del modelo 1 **130**
Figura 5.4.16. Regresión lineal del modelo 2 **130**
Figura 5.4.17. Regresión lineal del modelo 3 **130**
Figura 5.4.18. Regresión lineal del modelo 4 **130**
Figura 5.4.19. Regresión lineal del modelo 5 **131**
Figura 5.4.20. Regresión lineal del modelo 6 **131**
Figura 5.4.21. Regresión lineal del modelo 7 **131**
Figura 5.4.22. Regresión lineal del modelo 8 **131**
Figura 5.4.23. Regresión lineal del modelo 9 **132**
Figura 5.4.24. Regresión lineal del modelo 10 **132**
Figura 5.4.25. Regresión lineal del modelo 11 **132**
Figura 5.4.26. Regresión lineal del modelo 12 **132**
Figura 5.4.27. Regresión lineal del modelo 13 **133**
Figura 5.4.28. Regresión lineal del modelo 14 **133**
Figura 5.4.29. Regresión lineal del modelo 15 **134**
Figura 5.4.30. Regresión lineal del modelo 16 **134**
Figura 5.4.31. Análisis de los residuos del modelo de regresión lineal para la variable dependiente $E_{glo\ 12}$ **138**
Figura 5.4.32. Análisis de los residuos del modelo de regresión lineal para la variable dependiente $f_{m\ c}$ **138**
Anexos
Figura A1.I. Regresión lineal $H_{sil_sc} - H_{est}$ **179**

SÍMBOLOS Y DEFINICIONES

Los símbolos, definiciones y unidades de las variables empleadas en el presente trabajo se muestran en las tablas 0.1 y 0.2 Sirva este apartado como referencia para las posteriores alusiones a las variables, siempre expresadas mediante su correspondiente símbolo.

Tabla 0.1. Símbolos, definiciones y unidades de las variables identificativas, propiedades físicas y mecánicas y parámetros relativos a los ensayos mecánicos.

Símbolo	Definición	Unidades	Referencia
Probeta	Código de la probeta		---
Pro	Procedencia		---
Sec	Sección: I (40x100 mm); II (40x150 mm); III (70x150 mm)		---
P	Peso	kg	---
h	Altura de la sección	mm	---
b	Anchura de la sección	mm	---
L	Longitud de la probeta	mm	---
H_{xil_sc}	Contenido de humedad medida con xilohigrómetro en el momento de los ensayos NDT y clasificación visual	%	UNE EN 13183-2
H_{xil_c}	Contenido de humedad medida con xilohigrómetro corregida según calibración para madera de castaño	%	UNE EN 13183-2
H_{est}	Contenido de humedad medida mediante secado en estufa	%	UNE EN 13183-1
Den_{Glo}	Densidad global al contenido de humedad en el momento de los ensayos NDT y clasificación visual	kg/m^3	UNE EN 408
Den_{Glo12}	Densidad global corregida al 12% de contenido de humedad	kg/m^3	UNE EN 384
Den_{Loc}	Densidad local al contenido de humedad en el momento de los ensayos destructivos	kg/m^3	UNE EN 408
Den_{Loc12}	Densidad local corregida al 12% de contenido de humedad	kg/m^3	UNE EN 384
5h	Distancia base de medida para el módulo de elasticidad local	mm	UNE EN 408
6h	Distancia entre cargas	mm	UNE EN 408
18h	Luz entre apoyos	mm	UNE EN 408
E_{loc}	Módulo de elasticidad local	kN/mm^2	UNE EN 408
E_{glo}	Módulo de elasticidad global	kN/mm^2	UNE EN 408
E_{norm}	Módulo de elasticidad estimado según normativa	kN/mm^2	UNE EN 384
E_{loc12}	Módulo de elasticidad local corregido al 12% de humedad	kN/mm^2	UNE EN 384
E_{glo12}	Módulo de elasticidad global corregido al 12% de humedad	kN/mm^2	UNE EN 384
E_{norm12}	Módulo de elasticidad estimado según normativa corregido al 12% de humedad	kN/mm^2	UNE EN 384
$F_{máx}$	Fuerza máxima aplicada hasta rotura	kN	UNE EN 408
Pto_rot	Distancia desde el punto de rotura hasta el tercio central	mm	---
f_m	Resistencia a flexión	N/mm^2	UNE EN 408
f_{m_c}	Resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central	N/mm^2	---
t	Tiempo de ensayo	s	UNE EN 408
G	Módulo de cortante	kN/mm^2	UNE EN 408

Tabla 0.2. Símbolos, definiciones y unidades de las variables relacionadas con los ensayos no destructivos y la clasificación visual.

Símbolo	Definición	Unidades
T_{ud}	Tiempo de transmisión de onda ultrasónica de forma directa	µs
T_{ui}	Tiempo de transmisión de onda ultrasónica de forma indirecta	µs
V_{ud_sc}	Velocidad de transmisión de onda ultrasónica de forma directa a la humedad en el momento de los ensayos NDT	m/s
V_{ui_sc}	Velocidad de transmisión de onda ultrasónica de forma indirecta a la humedad en el momento de los ensayos NDT	m/s
V_{ud_c}	Velocidad de transmisión de onda ultrasónica de forma directa corregida al 12% de contenido humedad	m/s
V_{ui_c}	Velocidad de transmisión de onda ultrasónica de forma indirecta corregida al 12% de contenido humedad	m/s
E_{din_ud}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de onda ultrasónica de forma directa	kN/mm^2
E_{din_ui}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de onda ultrasónica de forma indirecta	kN/mm^2
T_{id}	Tiempo de transmisión de onda de impacto de forma directa	µs
T_{ii}	Tiempo de transmisión de onda de impacto de forma indirecta	µs
corMST	Corrección del tiempo de transmisión según calibración de fábrica del Microsecond Timer	µs
V_{id_sc}	Velocidad de transmisión de onda de impacto de forma directa a la humedad en el momento de los ensayos NDT	m/s
V_{ii_sc}	Velocidad de transmisión de onda de impacto de forma indirecta a la humedad en el momento de los ensayos NDT	m/s
V_{id_c}	Velocidad de transmisión de onda de impacto de forma directa corregida al 12% de contenido humedad	m/s
V_{ii_c}	Velocidad de transmisión de onda de impacto de forma indirecta corregida al 12% de contenido humedad	m/s
E_{din_id}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de onda de impacto de forma directa	kN/mm^2
E_{din_ii}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de onda de impacto de forma indirecta	kN/mm^2
Frec	Frecuencia de vibración longitudinal mediante PLG	Hz
V_{v_sc}	Velocidad de onda de vibración longitudinal mediante PLG	m/s
V_{v_c}	Velocidad de onda de vibración longitudinal mediante PLG corregida al 12% de contenido de humedad	m/s
E_{din_v}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de vibración longitudinal mediante PLG	kN/mm^2
CKDR	Índice de nudos concentrados	
V_{h_sc}	Velocidad de onda de vibración longitudinal mediante HM200	m/s
V_{h_c}	Velocidad de onda de vibración longitudinal corregida al 12% mediante HM200	m/s
E_{din_h}	Módulo de elasticidad dinámico a partir de vibración longitudinal mediante HM200	kN/mm^2

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta los resultados de la caracterización mecánica de la madera aserrada estructural de castaño (*Castanea sativa* Mill.) de procedencia española, mediante la determinación de sus propiedades a través de ensayos mecánicos, la aplicación de técnicas no destructivas y la definición de un sistema de clasificación visual.

El conjunto de probetas de madera aserrada de castaño empleadas consistió en un total de 981 piezas procedentes de 5 regiones españolas (Asturias, Extremadura, Castilla y León, Cataluña y Galicia) con tres tamaños de sección (40x100, 40x150 y 70x150 mm). Todas las piezas fueron identificadas mediante códigos únicos y acondicionadas en cámara hasta un contenido de humedad cercano al 12%.

La realización de ensayos mecánicos según la norma EN 408 permitió determinar los valores de densidad, módulo de elasticidad global, módulo de elasticidad local módulo de elasticidad transversal y resistencia a flexión del conjunto de muestras. Todos los valores fueron corregidos según lo especificado en la norma EN 384.

Fue estudiada la variabilidad de las propiedades mecánicas y la densidad en función de la región de procedencia de la madera y del tamaño de sección. Las piezas de Extremadura mostraron, con carácter general, mejores propiedades mecánicas que el resto de procedencias, si bien esta procedencia no contaba con piezas de los tres tamaños de sección. Comparando las procedencias con piezas de las tres secciones, la madera de Galicia mostró propiedades mecánicas significativamente menores que la madera de Asturias y Cataluña.

No fueron encontradas diferencias significativas en el módulo de elasticidad en función del tamaño de sección. Sí se encontraron diferencias, sin embargo, en los valores de resistencia a flexión, mostrando las piezas de sección menor (40x100 mm) valores más altos que las piezas de secciones mayores.

Se estudiaron las relaciones entre las variables de las propiedades mecánicas y la densidad. La relación entre el módulo de elasticidad global y local resultó alta (R^2=0,750). No ocurrió así con las relaciones observadas entre el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión (R^2=0,259) y la densidad (R^2=0,075). La relación entre densidad y resistencia a flexión también mostró valores muy bajos (R^2=0,015).

La clasificación visual según la norma nacional vigente UNE 56546 definida para madera de eucalipto no se mostró adecuada para su aplicación a la madera de castaño, al obtenerse un porcentaje de rechazo demasiado elevado (72%) y no resultar objetiva en la diferenciación de las propiedades mecánicas. Debido a esto, fueron definidos criterios de clasificación específicos para esta especie. La reclasificación de las piezas según estos criterios específicos dio como resultado un porcentaje de rechazo aceptable (18%) y una clara diferenciación en función de las propiedades mecánicas.

Se llevaron a cabo ensayos sónicos no destructivos con el objetivo de determinar la velocidad de propagación de onda a través de la madera y así estimar sus propiedades elásticas mediante modelos de regresión. Fueron empleadas tres técnicas no destructivas: método de ultrasonidos (equipo Sylvatest Trio, de *CBT-CBS*), método de onda de impacto (equipo *Microsecond Timer*, de *Fakopp*) y método de análisis de vibraciones (equipos *PLG*, de *Fakopp*, y *HM200*, de *Fibergen*). Fueron obtenidas las variables de velocidad de onda cada equipo empleado y corregidas al contenido de humedad de referencia del 12%. Posteriormente se determinó el módulo de elasticidad dinámico correspondiente.

Los coeficientes de determinación observados en las regresiones lineales para la estimación del módulo de elasticidad estático a partir del módulo de elasticidad dinámico oscilaron entre R^2=0,56 y R^2=0,78, siendo el mejor modelo el obtenido a partir de los ensayos realizados mediante el equipo de análisis de vibraciones (*PLG*), seguido por el modelo a partir de la técnica de ultrasonidos (*Sylvatest Trio*). Sin embargo, los modelos de regresión para la estimación de la resistencia a flexión resultaron menos exactos con R^2 entre 0,08 y 0,20, mejorando ligeramente al incluir variables de relativas a la nudosidad en los modelos y llegando a coeficientes de determinación de hasta 0,27.

Fue definido un sistema de clasificación basado en la medición de la velocidad de onda ultrasónica como alternativa a la clasificación visual. Mediante la aplicación de este sistema se obtuvo un porcentaje de rechazo (madera considerada no estructural) similar, una mejor diferenciación según sus propiedades mecánicas y una menor sobrestimación de piezas que en la clasificación visual tradicional.

Se estudiaron diversas relaciones entre propiedades mecánicas definidas en la norma EN 384 con respecto a los datos experimentales obtenidos en los ensayos para la madera de castaño. Específicamente fueron analizados el factor de altura para la corrección de la resistencia a flexión (k_h), la ecuación de determinación del módulo de elasticidad local a partir del módulo de elasticidad global y la relación entre el módulo de elasticidad longitudinal y el módulo de elasticidad transversal.

A partir de los ensayos mecánicos llevados a cabo según la norma EN 408 y de acuerdo a la norma EN 384, fueron determinados los valores característicos de las propiedades mecánicas: módulo de elasticidad longitudinal medio ($E_{0,m}$=12,3 kN/mm^2), resistencia a flexión característica ($f_{m,k}$=27,8 N/mm^2) y densidad característica (ρ_k=510 kg/m^3). De acuerdo a estos valores, fue asignada una clase resistente D24 a la madera de castaño de procedencia española según la norma EN 338:2010.

ABSTRACT

This research work presents the results of the mechanical characterization of structural sawn timber chestnut (*Castanea sativa* Mill) from Spain, by the determination of its properties through mechanical testing, the application of non-destructive techniques and the definition of a visual grading system.

The whole of specimens chestnut sawn timber used consisted of a total of 981 pieces from five Spanish regions (Asturias, Extremadura, Castilla y Leon, Catalonia and Galicia) with three section sizes (40x100, 40x150 and 70x150 mm). All the pieces were identified by unique codes and conditioned on camera up to moisture content nearly 12%.

The mechanical testing according to EN 408 allowed the determination of the density, local and global modulus of elasticity, shear modulus and bending strength of all samples. All values were corrected as specified in EN 384.

The variability of mechanical properties and density was analyzed in function of the source of the wood and the section size. Extremadura pieces showed, in general, better mechanical properties than the other, but this source did not have pieces of all three section sizes. Comparing sources with pieces of the three sections, timber from Galicia showed significantly lower mechanical properties than wood from Asturias and Catalonia.

No significant differences were found in the modulus of elasticity depending on the section size. Differences were found, however, on the bending strength values, showing the pieces of the smaller section (40x100 mm) the highest mean values.

Relationships between the variables of the mechanical properties and density were studied. The relationship between global and local modulus of elasticity was high (R^2=0.750). Not so with the observed relationships between modulus of elasticity with bending strength (R^2=0.259) and density (R^2=0.075). The relationship between density and bending strength also showed low values (R^2=0.015).

Visual classification according to the current national standard UNE 56546 (defined for eucalyptus) was not suitable for application to chestnut timber. The rejection ratio obtained was too high (72%) and not be objective in the differentiation of the mechanical properties. Due to this, specific classification criteria were defined for this species. The reclassification of the pieces in function of these criteria resulted in an acceptable rejection rate (18%) and a clear differentiation in terms of mechanical properties.

Non-destructive sonic tests were carried out in order to determine the propagation wave velocity through the timber and thus estimate the elastic properties via regression models. Three non-destructive techniques were employed: ultrasonic method (*Sylvatest Trio*, *CBT-CBS*), impact wave method (*Microsecond Timer*, *Fakopp*) and vibrational analysis method (*PLG*, *Fakopp*; *HM200*, *Fibergen*). Wave velocity variables were obtained and corrected to the reference moisture content of 12%. Subsequently corresponding dynamic modulus were determined.

Determination coefficients of linear regressions in the estimation of the static modulus of elasticity from the dynamic modulus of elasticity oscillated between R^2=0.56 and R^2=0.78. The best model obtained was from the vibration analysis tests (*PLG*), followed by the model from the ultrasound technique (*Sylvatest Trio*). However, the regression models for the estimation of bending strength were less accurate, with R^2 between 0.08 and 0.20, slightly improved (R^2 up to 0.27) including knot variables in the models.

A classification system based on ultrasonic wave velocity was defined as an alternative to visual classification. By applying this system, a similar rejection rate (not structural wood) was obtained (20%), better differentiation according to their mechanical properties and lower overestimated pieces than using the traditional visual classification.

Several relationships between mechanical properties defined in EN 384 standard were studied with respect to the experimental data obtained in the mechanical tests for chestnut timber. Size factor for the correction of bending strength (k_h), the equation for the determination of the local modulus of elasticity from the global modulus of elasticity and the relationship between the modulus of elasticity and shear modulus were analyzed.

The mechanical properties were obtained from the mechanical test according to EN 408 and its characteristic values were calculated according to EN 384: mean modulus of elasticity parallel ($E_{0,m}$=12.3 kN/mm^2) characteristic bending strength ($f_{m,k}$=27,8 N/mm^2) and characteristic density (ρ_k=510 kg/m^3). According to these values, strength class D24 was assigned to the chestnut sawn timber from Spain according to EN 338:2010.

1. INTRODUCCIÓN

La piedra y la madera han sido desde siempre elementos clave dentro del mundo de la construcción, pese al desarrollo de nuevos y evolucionados materiales artificiales, y son los únicos que han permanecido ininterrumpidamente formando parte de las edificaciones hasta el día de hoy, sirviendo como solución constructiva eficiente y aportando ventajas extra sobre el empleo de nuevos materiales con propiedades estructurales a priori superiores.

El conocimiento de las propiedades de un material es la base para su empleo como material de construcción. En materiales homogéneos y artificiales, como el hormigón y el acero, estas propiedades son bien conocidas y determinadas en el momento de su fabricación, por lo que no presentan dificultades añadidas en el cálculo de las estructuras de las que forman parte. Pero la madera, material anisótropo, heterogéneo y biológico, no requiere de complejos procesos de transformación industrial para llegar a un material con propiedades adecuadas para su uso estructural. Debido a esto, existen grandes diferencias entre las propiedades de maderas de diferentes especies, e incluso entre madera de una misma especie y de distinta procedencia u origen puede existir una variabilidad significativa. Al hablar de madera cobra especial significado, además, el concepto de material anisótropo.

El diferente comportamiento mecánico de la madera en función de la dirección de su fibra está claro si se observa la figura del árbol y las solicitaciones que ha de soportar durante su vida. La resistencia a compresión está marcada por el peso que ha de sujetar procedente de las ramas y del propio tronco que tiene por encima, además de las cargas que la nieve depositada sobre él producen, sin que haya cargas axiales adicionales que puedan actuar sobre el hipotético pilar que el árbol conforma. Es en dirección longitudinal con respecto al eje del árbol donde se producen los mayores esfuerzos, siendo el viento y las cargas de nieve que producen flexión los principales causantes de ellos. De este modo, la evolución ha hecho desarrollar al árbol una gran resistencia a la flexión como mecanismo de defensa ante el viento, sin que sea necesaria una gran rigidez, proporcionando una gran flexibilidad para amortiguar, tanto individualmente como formando parte de una masa, los efectos que causan las cargas de viento. Esto explica también la escasa resistencia tanto a tracción como a compresión en dirección perpendicular a la fibra, no existiendo en el ciclo vital del árbol esfuerzos importantes en esta dirección, siendo energéticamente inútil el gasto biológico que se requeriría para desarrollar una resistencia innecesaria.

Conociendo sus propiedades y características, la madera se presenta como un material estructural tremendamente eficiente, proporcionando altas capacidades resistentes con minimización de costes y peso propio y aportando, además, otras ventajas ambientales imposibles de contemplar cuando se utilizan otros materiales.

La gestión racional sostenible de los montes con aprovechamiento maderero proporciona un material cien por cien renovable, compatible con otros aprovechamientos económicos y sociales, además de ofrecer una fuente paralela de bienes intangibles difíciles o imposibles de evaluar monetariamente. No menos importante es la labor ecológica como sumideros de carbono de las masas

arboladas, así como la fijación del mismo en la madera y, por tanto, en los elementos de los que formará parte una vez procesada. Una gestión forestal adecuada maximiza, por tanto, los rendimientos productivos y ambientales. De este modo, queda fuera de toda duda la ventaja que la madera siempre tendrá sobre otros materiales artificiales en el aspecto ambiental, ya que, además de no consumir energía en su fabricación, no genera residuos contaminantes.

Obviamente, es necesario conocer las propiedades de la madera, teniendo en cuenta su origen, particularidades y variabilidad a la hora de su empleo como material estructural, teniendo claro que puede no ser el material más adecuado para según qué casos o tipos de elemento, pero también abriendo la puerta a su posible adecuación a usos y estructuras en las que habitualmente ni siquiera se considera su empleo por costumbre, simplicidad o falta de conocimiento.

Otra cuestión a tener en cuenta a la hora de plantear el uso estructural de la madera es el origen de la materia prima. Comparando la situación, una vez más, con el hormigón y el acero, existen claras y esenciales diferencias. Mientras que en dichos materiales el lugar de origen y suministro se reduce básicamente a un mero problema logístico, en la madera existen cuestiones extra a considerar, debido en primer lugar a las diferencias ya comentadas en relación a las propiedades de un mismo tipo de madera dependiendo de su lugar de origen. Pero además de esto, la primera encrucijada surge a la hora de seleccionar la especie de madera a utilizar en cada uso, situación y características de la estructura de la que formará parte.

Si bien existen especies de ámbito internacional, cuyo uso se extiende por gran número de países con demostradas aptitudes, conviene analizar el mercado de la madera desde otros puntos de vista menos simplistas y globalizados. Sin dejar de lado el empleo de maderas más generalizadas, según el uso y necesidades de cada proyecto en particular, resulta fundamental el conocimiento de las propiedades de las especies de madera presentes en cada región, ya sea de forma autóctona o naturalizada, y su propuesta como alternativa de forma que abra el abanico de posibles materias primas y productos derivados para el tejido empresarial del sector.

El castaño conforma un claro ejemplo de especie arraigada en las costumbres, cultura y forma de vida en nuestro país, especialmente en el norte, donde su madera era otrora considerada la primera alternativa en construcciones de todo tipo y cuya valía lleva siglos demostrada al observar, a día de hoy, la ingente cantidad de estructuras que siguen en pie y con sus funcionalidades de uso intactas. Aunque relegada a usos secundarios por materiales artificiales u otras especies de madera, el castaño sigue formando parte de nuestra historia arquitectónica y cultural, aunque poco más que en forma de vestigios del potencial que la especie posee. Pero el nivel técnico que actualmente requiere cualquier planteamiento constructivo y estructural no puede estar basado en cuestiones subjetivas e históricas. La puesta en valor de la madera de castaño requiere datos *tangibles* y un conocimiento objetivo de sus propiedades, que sirvan de base y justificación de todos los procesos de la cadena de vida del producto, desde el árbol en sí mismo hasta llegar a la madera como material constructivo.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La normativa vigente en relación a la madera estructural contempla ciertas especies de madera para su empleo como material estructural (en el caso de madera con procedencia española, cuatro especies de pino y eucalipto). El castaño, especie forestal con gran importancia en nuestro país, no cuenta con el respaldo normativo para su empleo como madera estructural, a pesar de contar con aptitudes adecuadas a tal fin.

La ausencia de la especie dentro de la normativa referente, la falta de estudios detallados acerca sus propiedades mecánicas y el creciente interés en el sector que esta madera posee en la actualidad, justifica el planteamiento del presente trabajo de investigación.

El estudio detallado de sus propiedades mecánicas, el establecimiento de un sistema de clasificación visual objetivo y la aplicación de la metodología normativa cumpliendo los requisitos establecidos permitirá el reconocimiento de la madera de castaño de procedencia española como material estructural, dentro del contexto nacional y europeo.

El contexto de este trabajo incluye además aspectos independientes del mero proceso normativo, mediante el análisis de la variabilidad en función del origen de la madera y el estudio de las relaciones entre las variables de las propiedades mecánicas. Además, la aplicación de los métodos no destructivos permite el estudio de la validez de estas técnicas para estimar las propiedades mecánicas de la madera de castaño de forma indirecta, siendo conscientes de la importancia actual y futura de estos métodos en diversos campos de aplicación a la madera estructural.

Por tanto, el objetivo general de esta Tesis Doctoral es la caracterización de la madera estructural de castaño de procedencia española mediante la determinación de sus propiedades mecánicas y densidad, la aplicación de distintas técnicas no destructivas y la elaboración de unos criterios de clasificación visual acordes a sus características.

Como objetivos específicos se han definido los siguientes:

Propiedades mecánicas y densidad:

(1) Determinación de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, módulo de cortante y resistencia a flexión) y la densidad de la madera de castaño de procedencia española, mediante la aplicación de la normativa vigente (EN 408).
(2) Estudio de la variabilidad de las propiedades mecánicas y la densidad en función del tamaño de sección y la región de procedencia de la madera.
(3) Análisis de las relaciones existentes entre las distintas variables que definen las propiedades mecánicas y densidad.

Clasificación visual:

(4) Evaluación de la adecuación de la norma de clasificación nacional vigente madera de frondosas (UNE 56546) a la madera de castaño y sus características.
(5) Planteamiento de nuevos criterios de clasificación específicos para la madera de castaño en base a la influencia de las singularidades de la madera y sus propiedades mecánicas, y asignación de una calidad visual estructural.

Técnicas no destructivas:

(6) Aplicación de diferentes técnicas no destructivas basadas en métodos sónicos, con el objetivo principal de la determinación de la velocidad de transmisión de onda y el módulo de elasticidad dinámico.
(7) Estudio de la variabilidad de los resultados obtenidos en función del tamaño y la región de procedencia de la madera y el equipo de medición empleado.
(8) Comprobación de la correlación existente entre las velocidades de onda obtenidas de forma directa (testa-testa) o indirecta (cara-cara).
(9) Evaluación de las relaciones existentes entre las variables obtenidas en los métodos no destructivos y las propiedades mecánicas mediante la construcción de modelos de regresión.
(10) Planteamiento de modelos predictivos de las propiedades mecánicas a partir de la combinación de variables no destructivas y parámetros visuales.
(11) Estudio de la posible mejora del sistema de clasificación visual mediante la incorporación de criterios basados en técnicas no destructivas (velocidad de transmisión de onda).

Caracterización normativa:

(12) Estudio de la validez de diversas relaciones genéricas establecidas en la normativa para su aplicación a la madera de castaño.
(13) Cálculo de los valores característicos de las propiedades fundamentales para la asignación de clase resistente (módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad) según los criterios y exigencias establecidos en la normativa relacionada (EN 408, EN 1912, EN 384 y EN 338).

ANTECEDENTES

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

3. ANTECEDENTES

3.1. El castaño

3.1.1. Taxonomía y distribución de la especie

El castaño europeo (*Castanea sativa* Mill.) es un árbol de la familia *Fagaceae,* dentro del orden *Fagales*. Toma nombres comunes diversos según el lugar geográfico: *castañu* o *castañal* en Asturias*, castiñeiro* o *castiñeiro* bravo en Galicia, *castanyer* en Catalunya, *gaztainondoa* en Euskadi, *castagno* en Italia, *châtagnier* en Francia, *edelkastaine* en Alemania o *sweet chestnut* en los países anglosajones.

Es un árbol robusto, de porte regular y puede alcanzar hasta 35 metros de altura. Su copa es recogida y frondosa si se mantiene para aprovechamiento maderero, mientras que su tronco se hace más corto y su copa se amplía si se gestiona para frutal.

Figura 3.1.1. Castaño europeo (*Castanea sativa* Mill.)

La tendencia habitual del castaño es formar masas puras, densas y con escasas especies asociadas por la abundancia en taninos que posee, lo que excluye a los posibles competidores. Las masas mixtas están formadas por las siguientes especies: *Quercus robur* L., *Quercus pirenaica* Willd, *Quercus suber* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus sylvestris*L. y *Fagus sylvatica* L. (Ceballos y Ruiz de la Torre, 2001).

El castaño europeo se extiende por la parte meridional de Europa, desde el sur de las Islas Británicas y la Península Ibérica hasta las proximidades del mar Caspio. También está presente en las islas atlánticas de Canarias y Madeira, así como en zonas del norte de Alemania y el sur de Suecia, si bien de forma introducida en una época relativamente reciente. En España se encuentra presente en la cornisa

cantábrica, principalmente en Galicia, Asturias y la zona norte de Castilla y León. También existen masas de cierta importancia en Cataluña y en la Cordillera Central en Salamanca y Cáceres, y con menor importancia en algunas zonas de Andalucía.

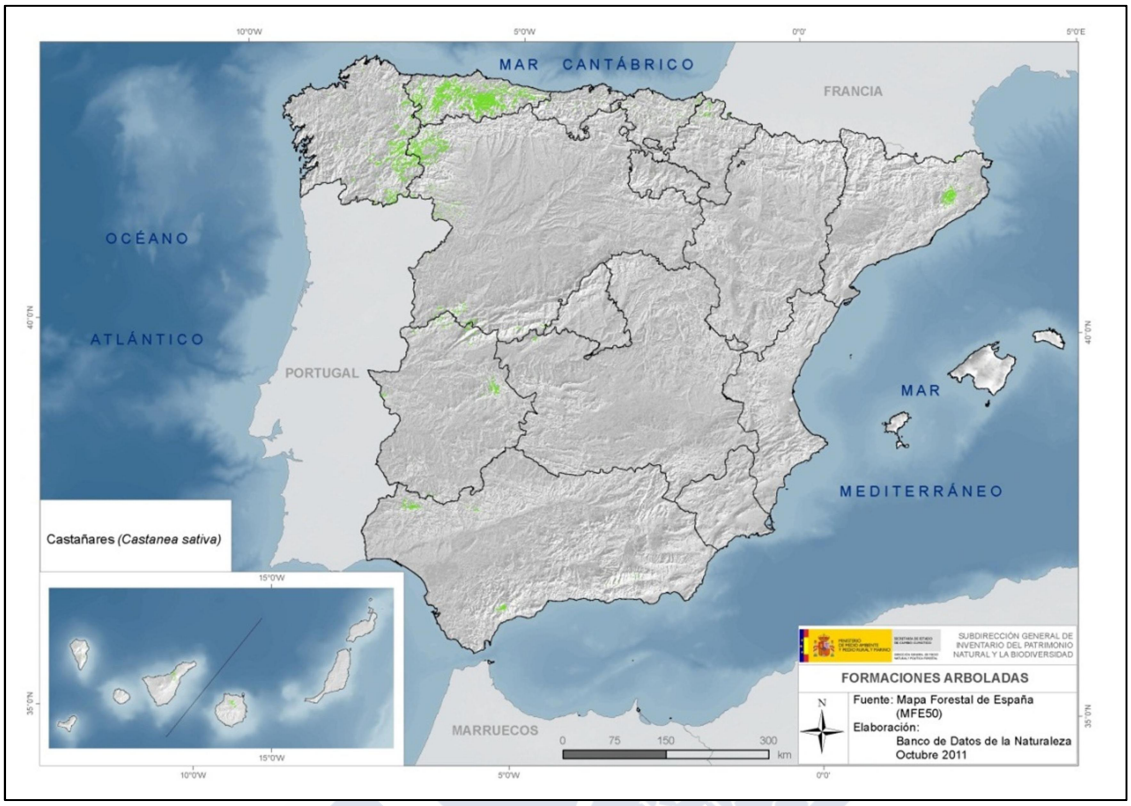


Figura 3.1.2. Mapa de distribución del castaño (*Castanea sativa* Mill.) en España. *Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011)*

La tabla 3.1.1. muestra las existencias (número de pies menores, pies mayores, área basimétrica y volumen de castaño en España:

Tabla 3.1.1. Número de pies menores (diámetro <75 mm), pies mayores (diámetro >75 mm), área basimétrica (m^2) y volumen de madera con corteza (m^3) de la especie *Castanea sativa* Mill en España. Fuente: III Inventario Forestal Nacional

PROVINCIA	Nº pies menores	Nº pies mayores	Área basimétrica	Volumen cc
Andalucía	2.105.870	1.634.721	210.014,22	472.972,6
Cantabria	3.127.774	2.937.949	100.980,83	484.493,7
Castilla y León	13.137.914	9.122.170	488.731,54	1.534.691,9
Cataluña	15.306.930	9.692.235	146.855,85	798.833,0
Extremadura	6.113.789	4.735.355	124.089,77	691.389,3
Galicia	42.928.161	26.856.522	1.741.487,79	6.611.492,1
Asturias	69.189.637	73.807.420	2.623.062,46	9.967.637,3

En América la especies de castaño presentes son *Castanea dentata* y *Castanea pumila*, y en Asia *Castanea crenata* (también llamado *Castanea japonica*) y *Castanea mollissima*, pero es frecuente la existencia de todas las especies en regiones foráneas o en forma de híbridos entre ellas.

3.1.2. Origen y evolución histórica

El origen del castaño europeo y su dispersión es desde hace años fuente de discusión y numerosos trabajos de investigación, sin llegar de manera definitiva a una conclusión aceptada unánimemente. Si bien su origen caucásico está aceptado de forma general, su presencia en Europa en el Cuaternario y su posterior distribución no esta tan clara. Diversas teorías defienden el origen único del *Castanea sativa* en Europa oriental, y su distribución durante el Imperio Romano por el resto de Europa como árbol foráneo. Sin embargo, parece claro que las tendencias que se han desarrollado en los últimos años señalan la presencia de la especie en otras partes de Europa mucho antes de la expansión romana.

El cultivo del castaño en Europa cuenta con una larga tradición, como una especie sumamente adecuada para la obtención tanto de fruto como de madera. La primera referencia escrita se encuentra en "*De historia plantarum*" de Teofrasto, en el S.III a.C. Los romanos extendieron su cultivo en la mayor parte de sus dominios en Europa, siendo la base de la alimentación en muchos lugares (Conedera *et al*., 2004). En la Edad Media, continuó el interés en el cultivo del castaño, principalmente para la producción de fruto, extendiendo la especie hasta sus límites ecológicos (Pitte, 1986).

Pese a que la distribución y su presencia en Europa occidental tiene una fuerte base antrópica, existen evidencias que conducen a pensar en el castaño no como una especie foránea, sino autóctona en muchos lugares. En ecología, se considera refugio a aquellas zonas en las que un taxón sobrevivió durante el último período glacial (Bennet *et al*., 1991). Así, la recolonización del continente europeo en la etapa postglacial nació desde estas zonas. El estudio de estos refugios se lleva a cabo habitualmente a través del análisis de los registros fósiles de polen. Estudios de este tipo permiten asumir la presencia del castaño en muchos lugares de Europa durante la época glacial, si bien en muchos casos podría considerarse puntual. Krebs *et al*. (2004) indica así las zonas de refugio de *Castanea sativa* en Europa durante la última etapa glacial: la región Transcaucásica, noroeste de la península de Anatolia, la costa tirrena, noroeste y algunas zonas del sur de Italia, la costa cantábrica de la Península Ibérica y probablemente la península griega.

De cualquier modo, la expansión del castaño se vio favorecida por sus amplias aptitudes ecológicas y su versatilidad, así como los bienes que proporcionaba, tanto alimenticios como materiales. De esta forma, y aunque no existan claras evidencias de su presencia en épocas anteriores a la expansión antrópica y no pueda considerarse de forma estricta como una especie autóctona en muchas regiones, la amplísima experiencia en su cultivo que han proporcionado siglos de aprovechamientos amoldándose a diversas condiciones, permite considerar al castaño europeo como una especie perfectamente adaptada y naturalizada a las regiones donde, a día de hoy, existe de forma natural o cuenta con un importante aprovechamiento ya sea de su fruto o su madera.

3.1.3. La madera de castaño

La albura de la madera de castaño es blanco-amarillenta, distinguiéndose fácilmente del duramen. Los anillos de crecimiento, claramente apreciables, destacan por la anchura de la zona de primavera con respecto a la de verano. Los vasos son de gran diámetro en la zona de primavera y se disponen en bandas concéntricas, mientras que en la zona de verano son más finos y aparecen agrupados en bandas en dirección radial. Tanto los radios leñosos como el

parénquima no son visibles a simple vista. Su fibra es derecha y ligeramente ondulada (Vignote *et al.*, 2000).

Figura 3.1.3. Aspecto macroscópico de la madera de castaño (*Castanea sativa* Mill.)

El aserrado de la madera de castaño se realiza igual que las maderas blandas como los pinos en verde. En cambio los ángulos de diente, ataque y desahogo en el aserrado de la madera en seco han de ser similares al aserrado de maderas duras (Vignote *et al.*, 2000). El despiece tangencial permite la obtención del típico dibujo que forma la veta del castaño, el flameado, el cual supone un alto valor estético.

El secado de la madera de castaño debe realizarse de forma progresiva y cuidadosa para evitar, en la medida de lo posible, la aparición de fendas. Debido a esto, el correcto secado hasta contenidos de humedad cercanos al 12% conlleva una gran cantidad de tiempo y un riguroso control de las condiciones ambientales para evitar la aparición de fendas de secado y deformaciones dimensionales.

El clásico uso de la madera de castaño para apeas, postes y estacas, a partir de árboles con diámetros menores de 20 cm, es actualmente mínimo debido a la ausencia de mercado para estos productos. Diámetros superiores a 40 cm y fustes rectos permiten su empleo para el desenrollo o la fabricación de chapa, si bien la escasez de masas de castaño en España con diámetros tales y que reúnan las condiciones de gestión adecuadas, unida a la dificultad intrínseca que tiene esta madera para el control de su contenido de humedad y la aparición de fendas, hace que el porcentaje de madera de castaño destinada a tal fin sea muy pequeño.

El destino industrial de la gran mayoría de la madera de castaño, procedente de pies con diámetros superiores a 20 cm, es el aserrado. Es una madera apreciada en ebanistería, ya sea en forma de madera maciza o en chapa para recubrimiento de tableros, alcanzándose en éste último caso altos precios debido a la ya comentada escasez de madera apta para el desenrollo o la fabricación de chapa. De la madera aserrada con fin estructural, la práctica totalidad es utilizada como madera aserrada maciza, siendo escaso el porcentaje de madera de castaño empleada en la fabricación de madera laminada encolada. Actualmente las empresas españolas con capacidad de fabricación de madera laminada encolada de castaño se reducen a dos: *Gámiz* (Álava) y *SierloLam* (Asturias).

Las principales regiones productoras de madera de castaño en España son, principalmente, Asturias, Galicia y Cataluña. Del volumen total de cortas de madera de frondosas, el castaño supone en torno a un 2% (INE, 2009), teniendo en cuenta que gran parte del 98% representa cortas de eucalipto y chopo, con destinos eminentemente no estructurales, como la pasta de papel, maderas de pequeñas dimensiones o cultivos energéticos.

3.1.4. Uso estructural de la madera de castaño

Históricamente, la madera de castaño ha sido utilizada en España, especialmente en el norte, de diversas formas y con múltiples usos. Por ejemplo, su empleo como estacas debido a su buena durabilidad natural representa el más tradicional método de cerramiento de fincas en Asturias. La fabricación de muebles de forma artesanal, aunque a día de hoy su presencia sea casi vestigial, supone uno de las más nobles y reconocidas aptitudes de la madera de castaño debido a sus propiedades y sus valores estéticos.

Al igual que su valor en la fabricación de muebles y otros usos, el empleo histórico de la madera de castaño en elementos estructurales ha demostrado su valía debido a sus características de durabilidad y a sus propiedades mecánicas. Así queda evidenciado en multitud de construcciones realizadas hace décadas y que a día de hoy siguen en pie formando parte del patrimonio arquitectónico y cultural. Tal vez el ejemplo más notorio sean los innumerables hórreos y paneras que salpican la geografía de Asturias y Galicia, construidos casi en su totalidad con madera de castaño.

Las construcciones tradicionales del norte peninsular cuentan con gran número de tipologías y variaciones, con diferencias en el diseño de la planta, tipos de paredes, cerramientos y materiales exteriores de cubierta, por ejemplo. Pero si algo tienen en común es el tipo de madera empleado en el entramado estructural, siendo el roble y, en mayor medida, el castaño las especies que aglutinan la totalidad de las construcciones desde las primeras y más simples, como los *teitos* o las *pallozas,* hasta la amplia gama de casas tradicionales que actualmente siguen ocupando la mayor parte del territorio rural. El empleo de dichas especies resulta lógico al plantearse su abundancia en épocas anteriores, cuando la expansión de las coníferas y otro tipo de frondosas con teóricamente mayores rendimientos económicos aún no se había producido.

Como ya se ha dicho, tal vez el ejemplo más claro y documentado de uso de la madera de castaño como elemento estructural sea la figura del hórreo. Tomando distintos nombres y tipologías y diseminados por la cornisa cantábrica, especialmente en Galicia y Asturias, supone el paradigma de uso múltiple y versatilidad de la madera de castaño. Su discutido origen histórico parece tener las bases, según Ibáñez (2005), en una pequeña construcción hecha con varas entretejidas de avellano el cual servía como almacén de grano y otros productos agrícolas: el *carbaceiro*. La llegada de la romanización impulsó el desarrollo de muchas técnicas y tipologías estructurales, entre ellas la figura del hórreo, la cual parece tener su origen en este período a través de una evolución de las estructuras existentes. Ante esto, no resulta extraño que los romanos, difundidores del castaño por todo el imperio, emplearan tan versátil especie como pieza fundamental de sus construcciones.

Desde entonces se han ido diferenciando multitud de diseños y tipologías de hórreo, pero existe un esquema fundamental del cual sigue habiendo hoy en día miles de ejemplos en buen estado de conservación. Salvo excepciones geográficas donde los pilares son de arenisca, caliza o cuarcita, la tipología más extendida y primaria de hórreo cuenta con pilares de madera de castaño, aislados del suelo sobre bases de piedra. Al igual que los pilares, tanto las vigas inferiores como las superiores, como la estructura de la cubierta y los cerramientos laterales son, en un alto porcentaje, de madera de castaño.

Figura 3.1.4. Hórreo asturiano con la totalidad de sus elementos estructurales de madera de castaño. Fuente: www.smra.eu

Los distintos papeles en distintos elementos estructurales que el castaño es capaz de desempeñar en la figura del hórreo, además de la durabilidad que décadas de vida de muchos de ellos atesoran, demuestran que el empleo del castaño con estos fines estructurales no es casual ni únicamente debido a un mero motivo de accesibilidad a su madera en base a su abundancia, sino también por su aptitud.

La potencial variedad de productos que esta especie puede proporcionar, con unas buenas propiedades de durabilidad, aptitud estructural y estética, hace que la producción de madera de castaño sea una oportunidad, especialmente, para el futuro de las regiones donde éste crece naturalmente (Fiovaranti *et al*., 2010). El empleo de maderas autóctonas y con alta valía estructural, algo que durante siglos estuvo tan claro para muchas generaciones, parece haber perdido fuerza en las últimas décadas debido a multitud de factores, desde las evoluciones sociales que impulsaron el abandono rural, con los cambios de uso del suelo que conllevaron, hasta la globalización y estandarizado de los materiales empleados en construcción en pos de una mayor simplicidad y rendimientos productivos. No cabe duda de la mejora que supuso la entrada de nuevas especies y productos, con un amplio campo de aplicación en diversos usos con avances sustanciales en aptitud, rendimiento y durabilidad, pero aun así resulta paradójico que el empleo de ciertas especies con una inabarcable historia dentro de la arquitectura de nuestro país, como el castaño, pueda ser asimilado hoy día más a innovación que a uso normalizado. Sea como fuere, actualmente el sector es consciente de las potencialidades de especies como el castaño y, poco a poco, se abren campos de investigación que abarcan toda la cadena de valor desde el árbol hasta el producto final, siendo necesario en muchos casos el comienzo casi desde cero en determinados aspectos, como es el estudio de sus propiedades mecánicas y su caracterización estructural.

3.2. Normativa

3.2.1. Marco normativo de la madera estructural

La normalización en España de los productos industriales es canalizada a través de la Asociación Española de Normalización (AENOR), actualmente de carácter privado y proveniente del antiguo Instituto de Racionalización y Normalización del Trabajo (IRANOR). El Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre aprobado por el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial en España, ratifica a AENOR como responsable de la elaboración de las normas españolas (Normas UNE).

La actividad de normalización es desarrollada a través de los Comités Técnicos de Normalización (CTN), en los cuales se elaboran y aprueban los proyectos de normas que posteriormente serán publicadas como normas UNE, en función de las necesidades de cada sector. Los CNT están constituidos por un presidente, un secretario perteneciente a alguna asociación empresarial y una serie de vocales de todas aquellas entidades con interés en la normalización de un tema en concreto (fabricantes, centros de investigación, Administración, consumidores, AENOR,…).

La normalización europea es elaborada por el Comité Europeo de Normalización (CEN), a través de sus Comités Técnicos de Normalización (TCs). Esta normalización europea (EN) tiene como fin eliminar trabas técnicas y comerciales, exigiendo unos requisitos de calidad a productos, procesos y servicios de los diversos sectores industriales. Todos los países miembros de la Unión Europea están obligados a adoptar las normas EN y a retirar las normas nacionales divergentes con ellas. Las normas EN se traducen y codifican en cada país de forma similar, UNE-EN en el caso español. Cuando no existe suficiente consenso o experiencia sobre un determinado tema se pueden elaborar normas experimentales que se codifican como ENV. También existen normas armonizadas EN, elaboradas para el cumplimiento de las Directivas Europeas.

A nivel mundial las normas se canalizan a través de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Esta entidad, al igual que el CEN o AENOR está estructurada en Comités Técnicos donde se elaboran las normas ISO. Todas las normas tienen carácter voluntario, exceptuando aquellas integradas dentro de Reglamentos de obligado cumplimiento (por ejemplo las Normas Básicas de la Construcción). En el caso de la madera y productos derivados, los Comités Técnicos de Normalización españoles más destacados son: 011-Mobiliario, 048-Pinturas y Barnices, 049-Envases, Embalajes, Aspectos Horizontales y de Gestión Medioambiental, 056-Madera y corcho, 057-Celulosa y Papel, 120-Maquinaria para la Transformación de la Madera, 140-Eurocódigos Estructurales y 162-Gestión Forestal Sostenible. A su vez, el comité CNT 56 -"Madera y corcho", cuya Secretaría ostenta AITIM desde 1963, desarrolla su trabajo 6 subcomités:

- Subcomité 1 Producción forestal y madera aserrada.
- Subcomité 2 Tableros.
- Subcomité 3 Carpintería.
- Subcomité 4 Protección de la madera.
- Subcomité 5 Corcho.
- Subcomité 6 Estructuras de madera.

La competencia en normalización europea en relación a madera estructural es del CEN TC 124, con la elaboración de normas armonizadas relativas a aspectos

cualitativos de los productos y normas relativas a aspectos de ensayo y clasificación.

Este amplio conjunto de normas regulan todos los aspectos relacionados con la madera, a diversos niveles y en diferentes campos. Una parte sumamente importante dentro de todos estos ámbitos de regulación es la relacionada con la caracterización y clasificación de la madera para uso estructural, la cual se encuentra vinculada con los reglamentos de construcción a nivel estatal y europeo: Código Técnico de la Edificación y Eurocódigo 5 (EN 1995). La incorporación al mercado de nuevas especies y productos, y los avances en la investigación que hacen posible ahondar en el conocimiento de las propiedades de la madera, obligan a un gran dinamismo y una continua revisión de los procesos, criterios y especificaciones de estas normas referentes a caracterización y clasificación, tanto por parte de los propios comités normalizadores como por los organismos asociados.

3.2.2. Clasificación de la madera estructural

La alta variabilidad existente en las propiedades de las distintas especies y procedencias de la madera hace de su clasificación una labor compleja. Por este motivo, surgió la necesidad de la creación de un sistema de clasificación basado en distintos *rangos* de propiedades mecánicas, denominadas *clases resistentes*. Una clase resistente se encuentra definida por una serie de propiedades físicas y mecánicas de la madera, en la cual se pueden englobar poblaciones o lotes de madera con propiedades similares.

Tabla 3.2.1. Clases resistentes según la norma UNE-EN 338:2010.

	C14	**C16**	**C18**	**C20**	**C22**	**C24**	**C27**	**C30**	**C35**	**C40**	**C45**	**C50**	**D18**	**D24**	**D30**	**D35**	**D40**	**D50**	**D60**	**D70**
Resistencia (N/mm²)																				
$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4, 0	4,0	4,0	4, 0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4, 0	4,0	4,5	5,0
Rigidez (kN/mm²)																				
$E_{0,m}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	9,5	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	17,0	20,0
$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
$E_{90,m}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
G_m	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (kg/m³)																				
ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
ρ	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

Las clases resistentes se encuentran normalizadas a nivel europeo, y están definidas en la norma EN 338 (tabla 3.2.1). La asignación de una clase resistente a un lote o población de madera aserrada para uso estructural requiere una caracterización previa que permita conocer sus propiedades mecánicas con el margen de seguridad adecuado. Una vez caracterizado un número representativo de probetas del lote considerado, es posible asignar una clase resistente y tomar los valores de las propiedades correspondientes como referencia para el cálculo estructural. De este modo, se compone la lista de especies de madera de procedencia definida (generalmente de nivel nacional), con una clase resistente asignada, gracias al proceso previo de caracterización realizado.

En la clasificación de la madera surgen, además, otros aspectos a considerar. Debido a la ya comentada variabilidad dentro incluso de una misma procedencia, existen aspectos y propiedades que por su influencia negativa excluyen piezas de madera aserrada puntuales de poder ser clasificadas. Las diferencias de sitio y las condiciones ambientales influyen en el ritmo y forma de crecimiento del árbol. De forma aún más importante, la gestión selvícola llevada a cabo resulta determinante en relación a las singularidades que presente la madera y que influirán en sus propiedades una vez sea procesada para su empleo estructural. De este modo, singularidades como los nudos o desviaciones de la fibra suponen una merma de las propiedades resistentes, y son susceptibles de ser controladas o minimizadas desde una buena gestión selvícola cuando la madera aún forma parte del árbol en pie.

Pero no sólo las condiciones ambientales o los defectos derivados de una mala gestión selvícola (o la ausencia de ésta) producen una variabilidad de las propiedades de una madera dentro una procedencia concreta. Los procesos de transformación pueden acarrear, cuando no son realizados en las condiciones adecuadas, otros defectos que merman la calidad estructural de la madera. Deformaciones de las piezas por un aserrado deficiente, la aparición de fendas por un secado inadecuado o la presencia de agentes xilófagos dentro de la cadena de primera transformación, por ejemplo, suponen un efecto negativo que hace que la madera que cuenta con dichas singularidades no pueda ser clasificada en la clase resistente que teóricamente le correspondería por especie y procedencia.

Como herramienta de detección de estas piezas deficientes, surge la figura de las clasificaciones visuales. A diferencia de las normas de clases resistentes y caracterización, las normas de clasificación visual son normas a nivel nacional, y no de aplicación a nivel europeo. Todas estas normas comparten unos criterios de clasificación que tienen como fin detectar y evaluar aquellos aspectos visualmente cuantificables que supongan una variación de las propiedades mecánicas de la madera. Las singularidades anteriormente comentadas como tamaño de nudos, desviaciones de la fibra, fendas, deformaciones, etc… son evaluadas en base a unos criterios limitantes definidos en cada norma. De no cumplir dichos criterios, aquellas piezas de madera aserrada no pueden ser clasificadas en la clase visual correspondiente, y formarán parte de la *madera de rechazo*.

Además de esta discriminación por calidad que excluye a las piezas no válidas para su uso estructural, en muchos casos la clasificación visual permite la diferenciación de las piezas válidas en varias clases visuales, con diferente calidad y, por tanto, diferentes propiedades. Las clases de calidad visual definidas en cada norma estatal tienen su correspondencia en unas clases resistentes de la norma EN 338. La norma EN 1912 establece el nexo entre las clases visuales y las clases resistentes, de forma que si es evaluado visualmente un lote de madera de una procedencia

concreta a través de la norma de clasificación visual correspondiente, es posible asignar una clase resistente a nivel europeo.

Si bien el sistema de clasificación por clases resistentes ya supone una inevitable generalización y aproximación a las propiedades reales de la madera, existen además otros problemas asociados. Actualmente existe un gran número de especies de madera clasificadas y perfectamente caracterizadas con un uso muy extendido y una continua investigación en sus propiedades y las consiguientes revisiones normativas necesarias, pero aún existe un vacío en la clasificación de muchas especies, especialmente en frondosas.

El empleo como material estructural de estas especies de madera sin clase resistente asignada no se encuentra amparado por el marco normativo, y la consideración de unas propiedades mecánicas y el cálculo estructural consiguiente son, por tanto, aspectos que corren por cuenta propia del fabricante o constructor y los organismos técnicos a los que éste pueda recurrir para la caracterización del lote de madera concreto.

Así, la madera ya clasificada cuenta con un proceso simple y rápido a la hora de definir sus propiedades. Dado un lote de piezas de madera aserrada de una especie concreta y una procedencia determinada, basta con realizar la clasificación visual según la norma adecuada y establecer la correspondencia con su clase resistente (figura 3.2.1).

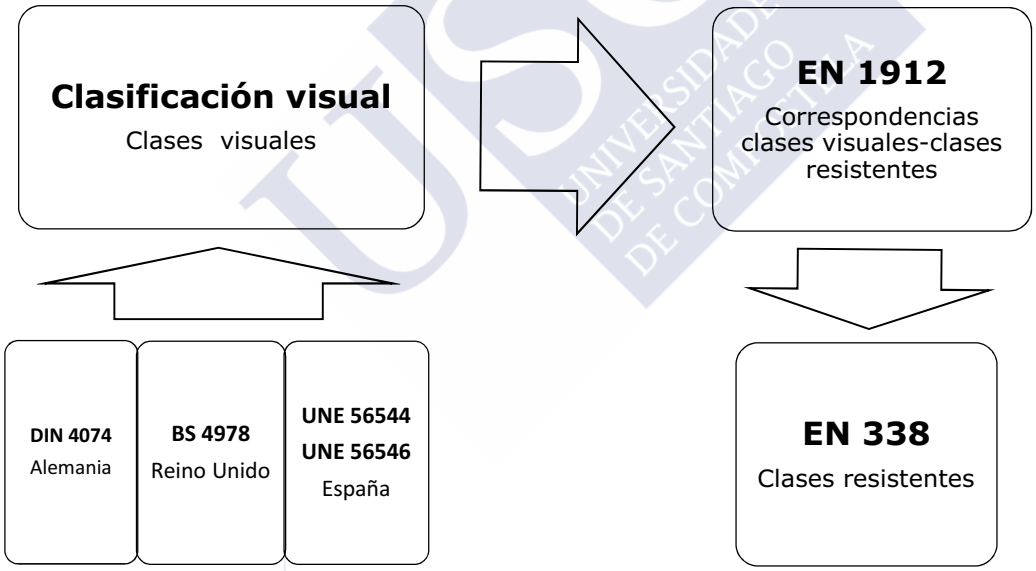


Figura 3.2.1. Esquema del proceso de asignación de clase resistente a madera estructural clasificada.

En cuanto a madera no clasificada, el proceso de caracterización estructural es básico para definir sus propiedades. Una clase resistente puede ser definida con los valores de tres parámetros fundamentales: módulo de elasticidad paralelo a la fibra, resistencia a flexión y densidad. Estas propiedades son determinadas siguiendo la metodología y criterios expuestos en la norma EN 408, la cual establece las condiciones y requisitos que han de cumplir los ensayos mecánicos a tal fin. Los valores obtenidos en este ensayo son empleados en el cálculo de los valores característicos, definitorios de la clase resistente. El cálculo de estos valores

característicos se lleva a cabo a través de la norma EN 384. De forma paralela, la aplicación de la normativa de clasificación visual resulta necesaria para cotejar y, si fuera necesario, plantear modificaciones en la clase o clase visuales en relación a los valores de sus propiedades y establecer la consiguiente correspondencia *clase visual–clase resistente* (figura 3.2.2).

Centrando la situación en España, únicamente existen cinco especies de procedencia nacional cuya madera se encuentre clasificada como material estructural: las cuatro principales especies de pino (*Pinus pinaster, Pinus radiata*, *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris*) y el eucalipto (*Eucalyptus spp*.). Especies de frondosas con una creciente demanda en el ámbito de la construcción, como el castaño, ven frenada la expansión y generalización de su uso debido, en parte, a esta falta de apoyo normativo en lo relativo a su empleo como madera estructural.

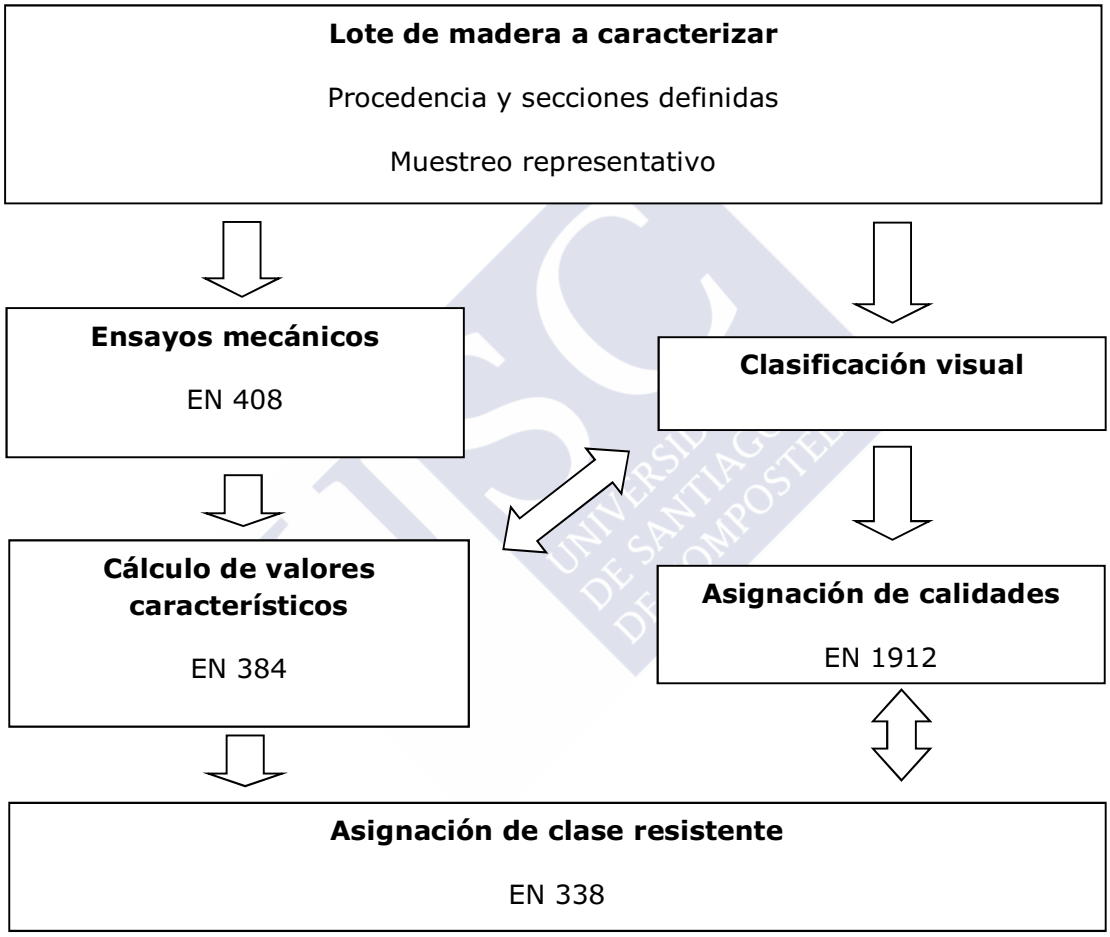


Figura 3.2.2. Esquema general del proceso de caracterización y asignación de clase resistente a madera estructural no clasificada

3.3. Determinación de las propiedades mecánicas de la madera

3.3.1. Ensayo mecánico

La determinación de las propiedades mecánicas requiere el estandarizado de las metodologías, con el fin de que todos los trabajos de caracterización se encuentren bajo el mismo marco de ensayo y con unos criterios unificados. La norma EN 408 expone, así, las metodologías de ensayo a nivel europeo para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada estructural.

La norma EN 408 incluye los métodos para la determinación de las siguientes propiedades: módulo de elasticidad en flexión, módulo de elasticidad transversal, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad en tracción paralela a la fibra, resistencia a tracción paralela a la fibra, módulo de elasticidad en compresión paralela a la fibra, resistencia a compresión paralela a la fibra, módulo de elasticidad en tracción perpendicular a la fibra, resistencia en tracción perpendicular a la fibra, módulo de elasticidad en compresión perpendicular a la fibra, resistencia a compresión perpendicular a la fibra y resistencia a cortante.

Los ensayos mecánicos definidos en dicha norma han estado sujetos a una continua evolución desde su aparición, junto con el comité CEN/TC 124, en 1987. La necesidad de una normalización de los procesos y criterios en relación a la madera aserrada para uso estructural, debido a la expansión y globalización del mercado de la madera fue el detonante para la creación de una base normativa común a nivel europeo. De este modo, una cuestión fundamental era la necesidad de establecer unos métodos de ensayo normalizados para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera, desde entonces regulados por la norma EN 408.

Lógicamente, toda la normativa referente a la madera estructural ha estado sometida a una ininterrumpida revisión y constantes modificaciones surgidas de la experiencia de su aplicación y las propuestas de mejora planteadas por los distintos organismos relacionados con la investigación en el campo de la madera estructural. La norma EN 408 no ha sido una excepción, con numerosos cambios y avances dentro de las metodologías y características de los ensayos.

Las primeras versiones de la norma contaban, en algunos aspectos metodológicos, con una falta de especificaciones concretas, y debían ser interpretadas asumiendo unas características de ensayo propias y no definidas de forma clara en la norma. Este hecho hizo que en diversos lugares se emplearan métodos de ensayo con ligeras pero importantes diferencias, lo cual resultaba incongruente con el concepto de normalización y homogeneización de ensayos. Además, según Ariza (2002), actualmente los ensayos normativos referentes a madera estructural se engloban en un llamado *nuevo enfoque*, dando una lógica y mayor importancia a las propiedades de la madera de tamaño estructural (con sus características) y no a las obtenidas a partir de madera limpia que trataban de comparar propiedades con otros materiales de mayor homogeneidad.

Los mayores cambios, debido a estas diferencias de criterios derivadas de la falta de objetividad normativa, se han producido en lo correspondiente al ensayo de determinación del módulo de elasticidad en flexión, uno de los parámetros fundamentales en la caracterización y clasificación de la madera estructural, junto con la resistencia a flexión y la densidad.

3.3.1.1. Módulo de elasticidad global y local

La primera cuestión a considerar en cuanto a la determinación del módulo de elasticidad es la diferencia entre *módulo de elasticidad global* y *módulo de elasticidad local*. Considerando un ensayo a flexión según la figura 3.3.1, similar al definido en la norma EN 408, las cargas que producirán la flexión se encuentran colocadas simétricamente en el tercio central de la luz.

Con esta configuración, el módulo de elasticidad global se calcula a partir de la deformación en flexión producida en el centro de la pieza, tomando como distancia de referencia la luz del ensayo, es decir, la distancia total entre los apoyos. El módulo de elasticidad local se calcula a partir de la deformación que se produce en el centro de la pieza tomando como distancia de referencia un tramo dentro del tercio central, es decir, entre los puntos de carga.

La diferencia entre ambos valores radica en el efecto que los esfuerzos cortantes tienen cuando se considera la distancia entre apoyos al calcular el módulo de elasticidad global, además de las posibles deformaciones ocurridas en los propios puntos de apoyo que distorsionan la medida de deformación en el centro de la pieza. Estos inconvenientes desaparecen con la configuración de ensayo del módulo de elasticidad local donde, al considerar una longitud de referencia dentro del tercio central, no existe la influencia del cortante ni el posible efecto de deformaciones en los apoyos, por lo que se considera un módulo de elasticidad *puro* o *real*. Aun así, el método de determinación del módulo de elasticidad local cuenta con ciertas cuestiones a considerar. Debido a que se utiliza una distancia de referencia pequeña, la precisión de los captadores de deformación debe ser elevada para una minimización del error de medición. El segundo inconveniente, y más importante, radica en la mayor complejidad de la configuración de los captadores en relación a la configuración del módulo de elasticidad global, lo cual aumenta el tiempo y el coste de los ensayos.

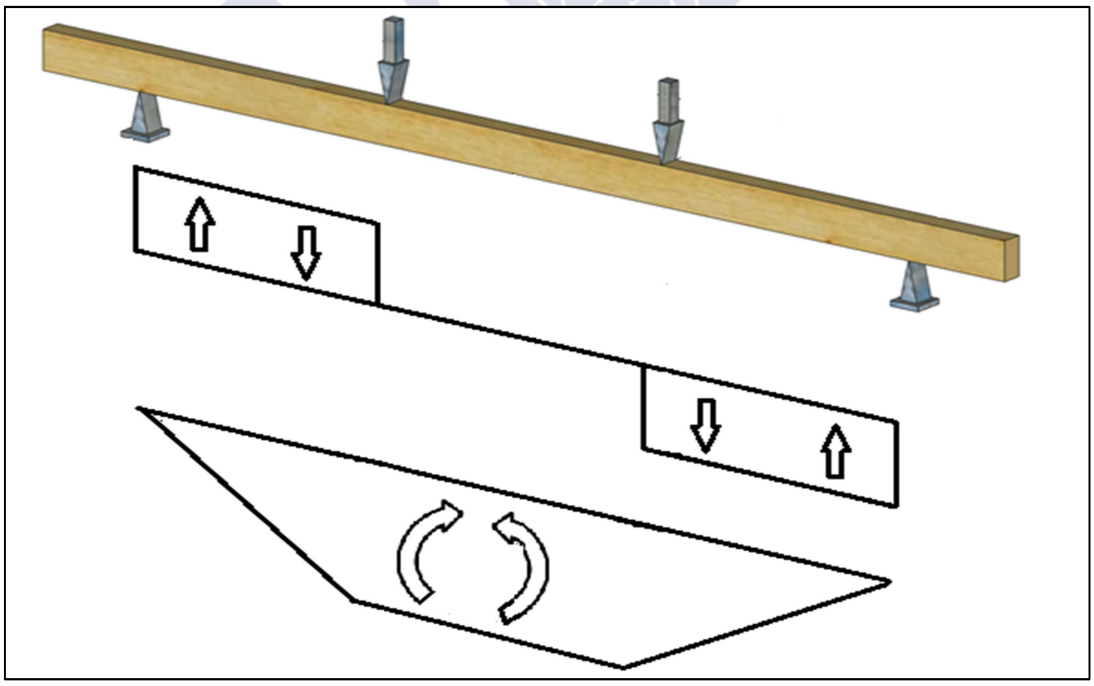


Figura 3.3.1. Diagrama cortante (arriba) y de momentos flectores (abajo) en una pieza a flexión según el ensayo definido en la norma EN 408.

Es precisamente en la configuración del ensayo del módulo de elasticidad donde se han producido los cambios más importantes dentro de la norma EN 408. Como ya se ha dicho, las primeras versiones de la norma no especificaban algunos aspectos metodológicos. Uno de ellos era la configuración de los captadores de deformación para el cálculo de elasticidad, de modo que no estaba especificado si debían ser colocados en la parte inferior de la pieza o en la fibra neutra. Tampoco se encontraba definido si la medición de la deformación se había de realizar, en caso de medir sobre la fibra neutra, sobre una de las caras de la pieza o sobre las dos.

Las modificaciones de la norma han llevado a la configuración actual del ensayo, con unas especificaciones concretas y una normalización común a nivel europeo. Así, son especificados de forma clara los ensayos para el cálculo de ambos módulos de elasticidad, global y local. Con dos puntos de carga centrados y situados a una distancia entre sí de seis veces la altura de la sección, el módulo de elasticidad global se determina a partir de la deformación medida en el canto traccionado (canto inferior) de la probeta tomando como referencia la distancia entre apoyos (dieciocho veces la altura de la sección). El módulo de elasticidad local se determina a partir de la deformación medida sobre la fibra neutra de ambas caras de la probeta, considerando una distancia de referencia de cinco veces la altura de la sección, dentro del tercio central. La metodología y expresiones de cálculo de la norma EN 408 vigente se encuentran detalladas en el apartado 4.11 del presente trabajo.

3.3.1.2. Resistencia a flexión

El cálculo de la resistencia a flexión, la otra propiedad mecánica fundamental a la hora de caracterizar una madera estructural, ha sufrido menos cambios a lo largo de las sucesivas revisiones de la norma. Dada la configuración del ensayo, con los puntos de carga situados en el tercio central, la rotura de la pieza ensayada se producirá en el punto de mayor momento flector, esto es, dentro del tercio central. Este hecho, que resulta indiscutible en materiales homogéneos, no siempre se cumple cuando se trata de madera. La presencia de irregularidades, defectos como nudos o desviaciones de fibra y la propia heterogeneidad de la madera provocan que, en ocasiones, la rotura de la probeta se produzca fuera del tercio central, es decir, en un punto con un momento flector menor al que existe dentro del mismo.

La norma EN 408 indica las expresiones matemáticas para el cálculo de la resistencia a flexión en base a la fuerza máxima aplicada en el ensayo en el momento de la rotura. Pero esta expresión asume que la rotura se producirá siempre dentro del tercio central, con lo que los valores de resistencia a flexión resultarán sobrestimados cuando la rotura se produzca fuera de la zona de máximo momento flector. Ante esta situación puede resultar necesario el planteamiento de un cálculo adecuado considerando la distancia desde el punto de rotura hasta el tercio central, de modo que se obtenga un resultado más realista en estas probetas. En el ya citado apartado 4.11 del presente trabajo se detalla la metodología y la expresión matemática para el cálculo de la resistencia a flexión según la norma vigente EN 408, así como la expresión para el cálculo cuando la rotura de la probeta se produce fuera del tercio central.

Newlin y Trayer (1924) (citados por Barret y Fewell (1990)) pusieron de manifiesto la influencia del tamaño de una pieza de madera en su resistencia a flexión. Acerca de este efecto han sido planteadas diversas teorías, entre las cuales se encuentra la *teoría del apoyo* (Newlin y Trayer, 1924), según la cual las fibras más comprimidas en un elemento a flexión (más cerca del borde comprimido) se encuentran

restringidas en su movimiento por el efecto de las menos tensionadas fibras más cercanas a la zona neutra. El efecto del tamaño se deriva de la mayor cercanía de las fibras de la zona neutra al borde comprimido en piezas de menor altura de sección, proporcionando mayores valores de resistencia que piezas con mayores dimensiones.

Otra teoría, definida por Weibull (1939), es la *teoría del eslabón más débil*, según la cual la resistencia de una pieza de madera se encuentra condicionada por el elemento o la zona más débil de la misma. En madera, piezas con un mayor volumen tendrían mayor probabilidad de tener un defecto pésimo (nudos, desviación de fibra, etc.) determinante para su resistencia (eslabón más débil). El empleo de esta teoría en el caso de esfuerzos de flexión en elementos de madera es altamente cuestionable (Rouger y Fewell, 1994), debido a que supone asumir que se trata de un material frágil y estadísticamente homogéneo. Si bien la madera no es, por definición, un material frágil ni homogéneo, las características de la madera estructural de castaño pueden acercarse en cierta medida a las suposiciones de esta teoría, asumiendo como rotura frágil la ocasionada por un defecto pésimo como un nudo (tipo de fallo en flexión muy habitual) y considerando la madera de castaño más homogénea en cuanto a la distribución aleatoria de estos defectos que la madera, por ejemplo, de muchas coníferas (con nudos agrupados debido al crecimiento en verticilos).

El efecto del tamaño en la resistencia es variable según la configuración del ensayo realizado para su determinación. Para evitar esto, la norma EN 408 define un método de ensayo en el cual se mantiene constante la relación *L/h*. Así, el efecto del tamaño de la pieza en su resistencia viene dado por la altura de la sección (*h*) y el canto (*b*). La norma EN 384 indica un factor k_h (ver apartado 4.13.2) ajustado para una altura de sección de 150 mm. Este factor asume que únicamente el valor de *h* tiene un efecto significativo en la resistencia a flexión, y no establece una relación con respecto al canto *b*. Si bien para diversas especies no se ha observado un efecto del tamaño del canto en su resistencia (Curry y Tory, 1976; Böstrom, 1994), existen trabajos que sí demuestran un efecto significativo (Madsen, 1992; Hermoso *et al*., 2002b), todos ellos con madera de coníferas.

3.3.1.3. Valores característicos de las propiedades mecánicas. EN 384

Las propiedades determinadas en el ensayo según la norma EN 408 proporcionan los valores del módulo de elasticidad y resistencia a flexión, en base a los datos experimentales obtenidos en dicho ensayo. El objetivo de caracterización de la madera estructural para su clasificación a nivel normativo requiere la aplicación de diversos parámetros correctores, es decir, el cálculo de los denominados *valores característicos*, los cuales sirven de valores de entrada para la asignación de clase resistente. La norma EN 384 define las expresiones matemáticas y las correcciones a realizar sobre los valores obtenidos en el ensayo de un lote o población determinada de madera estructural según la norma EN 408.

La aplicación de las distintas correcciones responde, en primer lugar, a la necesidad de llevar los valores de las propiedades determinadas a unas condiciones de referencia con el fin de hacerlos comparables entre sí. Sirva como ejemplo las correcciones que se definen en dicha norma con respecto al contenido de humedad de la madera, de forma que los valores obtenidos en ensayos realizados sobre probetas con un diferente contenido de humedad son todos ellos referenciados al 12%.

Además de la homogeneización en las condiciones de referencia, la norma EN 384 define otras correcciones derivadas de la necesidad de establecer un margen de seguridad adecuado a la hora de asignar unos valores a sus propiedades mecánicas a partir del ensayo de una muestra determinada. La aplicación de índices penalizantes en función del tamaño de muestra ensayada a partir de la cual se determinan la resistencia a flexión supone un claro ejemplo de este concepto de margen de seguridad.

En España, pueden destacarse varios trabajos más o menos recientes de caracterización de diferentes especies de coníferas: *Pinus sylvestris* (Malhotra, 2001; Hermoso *et al.*, 2002a, 2003), *Pinus pinaster* (Martínez, 1992; Carballo *et al.*, 2009b) y *Pinus nigra*, *Pinus radiata* y *Pinus sylvestris* de gran escuadría (Íñiguez, 2007). En cuanto a frondosas, encontramos los trabajos desarrollados por Fernández-Golfín *et al.* (2007) en la caracterización y estudio de las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus globulus*.

A pesar de no ser una especie caracterizada en España, la madera aserrada de castaño ha sido objeto de estudio en Italia, donde ya se ha realizado el proceso de caracterización e inclusión como material estructural en la norma EN 1912, a partir de los trabajos desarrollados por Togni (2009) y Brunetti *et al.* (2009), con unos antecedentes previos en el trabajo de Bonamini & Togni (1999). Existen trabajos adicionales relativos al estudio de las propiedades mecánicas de la madera de castaño (p.e. Branco et al., 2011; Faggiano et al., 2010b), si bien se encuentran en su mayoría referidos a ensayos con probetas de madera antigua y no con el objetivo de una caracterización estructural a gran escala.

3.3.2. Clasificación visual

Los ensayos para el cálculo de las propiedades mecánicas de la madera resultan necesarios a la hora de caracterizar una especie de madera que no se encuentra recogida en la normativa vigente con una clase resistente asignada, o para conocer el comportamiento mecánico de madera (ya clasificada o no) bajo determinadas condiciones como, por ejemplo, distintos contenidos de humedad o dimensiones fuera de los rangos que establece la normativa.

En especies de madera ya clasificadas, en las que previamente ya se ha realizado una caracterización y sus propiedades mecánicas son conocidas, resulta inmediata la asignación de una clase resistente. Aun así, no todas las piezas de madera de dicha especie son válidas para su uso estructural, como ya se ha dicho, debido a la existencia de singularidades que merman su aptitud o directamente las hacen inservibles a tal fin. Las diferentes normativas de clasificación visual existentes tienen como objetivo definir los criterios que permiten realizar esta clasificación, en base a una serie de singularidades y características de la madera. Las principales singularidades o propiedades de la madera con influencia en su calidad estructural son las siguientes:

Nudos: la presencia de nudos en la madera supone la existencia de un porcentaje de madera distinta a la que lo circunda, al tratarse del resultado de una zona de madera (rama) insertada en la pieza según dirección perpendicular y, por tanto, con distintas propiedades. Pero la mayor importancia de la presencia de los nudos es la desviación local de la fibra que se produce en sus proximidades. Debido a la distinta capacidad resistente de la madera según la dirección de la fibra, las zonas con dichas desviaciones locales, que pueden llegar a ser muy importantes, contarán con una menor resistencia que si la fibra estuviese orientada de forma paralela a la

dirección del esfuerzo (figura 3.3.2). Cuando una pieza entra en carga, la desviación de la fibra alrededor del nudo provoca, además de las tensiones paralelas a la fibra, otras en dirección perpendicular y de cortante (Baño *et al*., 2011).

Figura 3.3.2. Desviación local de la fibra alrededor de nudos

Las clasificaciones visuales se basan generalmente en la medición del diámetro del nudo mayor de la pieza, y se toma en relación a la dimensión sobre la que está situado (cara o canto de la pieza), aunque existen diferencias entre las distintas normas tanto en relación a la manera de medir el propio nudo como en el criterio limitante asignado a dicha medición.

Desviación general de la fibra: al igual que en caso de las desviaciones locales provocadas por la presencia de nudos, las desviaciones generales de la fibra merman las propiedades resistentes en la dirección longitudinal de la pieza, en mayor medida cuanto mayor sea el ángulo de desviación. Se trata de una singularidad con una gran variabilidad en función de la especie de madera evaluada (Figura 3.3.3).

Figura 3.3.3. Desviación general de la fibra

Gemas: la presencia de parte de la corteza en alguno de los bordes de la pieza forma las gemas. Lógicamente, el principal problema asociado a ellas es la pérdida de sección allí donde aparece, además de problemas de inestabilidad de la pieza. Se trata de un defecto asociado únicamente al proceso de aserrado, no siendo una característica intrínseca de la madera (Figura 3.3.4).

Figura 3.3.4. Gemas

Fendas: las hendiduras que aparecen en la madera, generalmente en dirección longitudinal, son evaluadas en las normas de clasificación visual en base a su longitud y profundidad. Las fendas en la madera, al igual que las gemas, no son una singularidad propia de la madera, y su aparición es teóricamente (aunque no siempre fácilmente) evitable con un proceso de secado adecuado (Figura 3.3.5).

Figura 3.3.5. Fendas

Deformaciones: las clasificaciones visuales evalúan las deformaciones existentes en las piezas de madera, tanto las deformaciones en relación a la cara y al canto de la pieza como otro tipo de irregularidades como abarquillados o alabeos. Las deformaciones son otro factor controlable con un aserrado adecuado y un correcto proceso de secado (Figura 3.3.6).

Figura 3.3.6. Deformación de cara

Pudriciones o daños de organismos xilófagos: lógicamente, las piezas de madera aserrada deterioradas por insectos xilófagos o pudriciones por hongos no resultan válidas para el uso estructural.

Otros: presencia de médula, madera de reacción y otros tipos de anomalías o características son evaluadas o no según la norma considerada, aunque todas ellas suelen compartir gran parte de los criterios.

La clasificación visual no tiene una normativa común a nivel europeo, de modo que está formada por diversas normativas elaboradas a nivel estatal, en base a criterios propios y adaptados a las propiedades de las especies de madera a clasificar en cada país. Aunque cuentan con una misma base general en cuanto a las singularidades de la madera evaluadas, existen diferencias tanto en la forma de evaluar dichas singularidades como en los límites que se consideran para la clasificación como material válido para uso estructural.

Dentro de las normas de clasificación visual europeas pueden citarse las siguientes: UNE 56544 y UNE 56546 (España), DIN 4074 (Alemania), BS 4878 (Reino Unido), NF B 52001 (Francia) y NS-INSTA 142 (Países nórdicos).

El objetivo final que todas las normas de clasificación visual tienen en común es la asignación de una clase visual en base a estas singularidades. En ocasiones esta clasificación visual se limita a establecer dos categorías, madera válida para uso estructural y madera de rechazo, pero en otras se establecen varias clases visuales correspondientes, dentro de la madera válida para uso estructural, a diferentes calidades y, por tanto, propiedades mecánicas. Tal y como se ha dicho en el apartado 3.2.2 del presente trabajo, las diferentes clases visuales asignadas tienen su correspondiente asignación de clase resistente según la norma EN 1912.

La normativa de clasificación visual española cuenta con dos versiones, la correspondiente a madera de coníferas (UNE 56544) y la correspondiente a madera de frondosas (UNE 56546). La norma UNE 56544 establece dos clases visuales, ME-1 y ME-2 (además de una tercera MEG para gran escuadría) para la madera de coníferas, además de la madera considerada de rechazo. La norma UNE 56546, por su parte, únicamente contempla una categoría, MEF (madera estructural de frondosa).

Centrándose en la norma de clasificación visual para frondosas UNE 56546, es necesario destacar que sus criterios y categorías se encuentran definidos en base a las características de la madera del género *Eucalyptus*, única especie de madera de frondosa de procedencia española clasificada con una clase resistente europea (D40). Lógicamente, la aplicación de esta norma a madera de otras especies no resulta válida, siendo necesaria la adecuación de los criterios que ésta expone a la hora de considerar madera de rechazo o madera apta para uso estructural, y teniendo en cuenta que la norma únicamente avala la clasificación de madera de eucalipto.

Si bien la normativa de clasificación de coníferas es aplicable a diversas especies debido a la relativa homogeneidad en los parámetros de crecimiento y singularidades dentro de las coníferas, no ocurre así con la madera de frondosas, donde la variabilidad entre especies es mucho mayor, con diferencias claras y determinantes que hacen inadecuada la generalización de la norma a todas las especies de este grupo.

La adecuación de la normativa de clasificación visual a una determinada especie ha de ser evaluada de forma paralela a la realización de la caracterización estructural. La aplicación de la norma con los criterios vigentes pondrá de manifiesto las posibles carencias o aspectos inadecuados para la especie de madera en cuestión, si existiesen, de modo que sea posible plantear las modificaciones en los criterios y limitaciones para que la normativa visual se encuentre adaptada y cumpla el objetivo de una clasificación lo más objetiva y realista posible.

De este modo, los procesos de caracterización han de estar forzosamente ligados al estudio de la clasificación visual que se adecúe a la estimación de las propiedades mecánicas de la especie y procedencia de la que se trate. Trabajos como el de Díez *et al*. (2000), comparando normas de clasificación aplicadas a *Pinus nigra*, además de los ya citados de Fernández-Golfín *et al*. (2007) acerca de la caracterización de la madera de *Eucalyptus globulus* de procedencia española y de Íñiguez (2007) sobre la caracterización de madera estructural de gran escuadría tres especies de pino, ponen de manifiesto esta necesaria complementación entre clasificación visual y caracterización mecánica. En cuanto a frondosas, cabe citar el trabajo de Riesco *et al*. (2011), el cual plantea las bases para la posible futura elaboración de una clasificación visual de madera de roble y la posterior asignación de clase visual-clase resistente.

La aplicación de clasificaciones visuales a la madera es método más antiguo de clasificación y el de aplicación más extendida, por cuestiones obvias de sencillez y operatividad, a lo cual ayuda la existencia de diversas normas en constante evolución. Pero si bien la agrupación en clases resistentes ya supone una generalización en las propiedades de la madera, este hecho se ve potenciado además con la clasificación visual, que cuenta además con un grado de subjetividad no despreciable y provoca una importante falta de resolución a la hora de clasificar la madera de forma objetiva.

La aplicación de métodos alternativos de determinación de las propiedades de la madera que complementen a las clasificaciones visuales supone un aspecto fundamental en la situación actual de la clasificación estructural. Un campo de desarrollo de suma importancia al respecto es el correspondiente a los métodos no destructivos.

3.3.3. Técnicas no destructivas

3.3.3.1. Definición y clasificación

Los métodos de ensayo no destructivos (NDT *Non-destructive testing*) se definen como técnicas que permiten examinar los materiales o sus componentes sin que se vea afectada ninguna de sus propiedades, su integridad y su utilidad final. Los métodos NDT se pueden utilizar para detectar, localizar, medir y evaluar defectos, para determinar propiedades de los materiales o para garantizar su adecuado comportamiento en uso.

La ya comentada clasificación visual puede ser considerada como la primera y más extendida técnica no destructiva. Existen además sistemas de clasificación mecánica basados en la medición de deformaciones dentro del propio proceso de transformación. Ambos se encuentran ampliamente generalizados y cuentan con respaldos normativos en cuanto a su aplicación y criterios de clasificación.

De forma paralela y creciente han ido desarrollándose otros métodos no destructivos, los cuales no cuentan con normativas específicas pero sí con una amplia experiencia en su desarrollo e investigación. La estimación de algunas propiedades de la madera en base a diversos parámetros físicos es posible con un alto grado de precisión gracias a la experiencia obtenida en las últimas décadas y constituye hoy día una herramienta importantísima en todos los ámbitos relacionados con la madera estructural.

Existen gran cantidad de técnicas no destructivas, aplicables a diversos materiales, basadas en diferentes propiedades o fenómenos físicos y con distintos objetivos. Dentro de las técnicas aplicables a la madera, las técnicas no destructivas más importantes se muestran clasificadas en la tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1. Resumen de técnicas no destructivas aplicadas en madera

Métodos acústicos	Técnica de ultrasonidos
	Onda de impacto
	Análisis de vibraciones
Métodos mecánicos	Pruebas de carga
	Clasificación mecánica
	Sondeo con penetrómetro
	Sondeo con taladro
	Arranque de tornillo
Métodos electromagnéticos	Xilohigrómetros de resistencia eléctrica
	Microondas
	Termografía
	Espectroscopía de infrarrojo cercano- NIR
Métodos nucleares	Rayos X
	Rayos Gamma
	Resonancia magnética

Los métodos acústicos son, tras la clasificación visual, los que cuentan con una mayor experiencia en su utilización y aplicación a diversos materiales. El estudio del comportamiento de las ondas acústicas en hormigón, por ejemplo, lleva décadas de

desarrollo, aunque favorecido por las propiedades intrínsecas del material, más homogéneas que la madera.

La base de los métodos acústicos no destructivos se asienta sobre las condiciones teóricas de estudio de las propiedades elásticas de un material. Dado el carácter anisótropo de la madera, resulta necesaria la definición de las relaciones entre las propiedades de rigidez según la dirección considerada.

El análisis más simple de las propiedades elásticas corresponde a materiales sólidos isótropos, esto es, con las mismas propiedades sea cual sea la dirección considerada. Las relaciones básicas definitorias de estas propiedades elásticas son (Bucur, 2006):

$$\mu = \frac{E}{2(1+\upsilon)} \qquad [3.1]$$

$$\lambda = \frac{E \cdot \upsilon}{2(1+\upsilon)\cdot(1-2\upsilon)} \qquad [3.2]$$

$$K = \frac{E \cdot \upsilon}{3(1-2\upsilon)} = \lambda + \frac{2}{3}\mu \qquad [3.3]$$

donde E es el módulo de Elasticidad longitudinal, μ es el módulo de cortante, υ es el coeficiente de Poisson y K es el módulo de compresibilidad, siendo λ la primera constante de Lamé.

Para un sólido isótropo, la rigidez se define:

$$C_{11} = C_{22} = C_{33} = \lambda + 2\,\mu \qquad [3.4]$$

$$C_{12} = C_{23} = C_{13} = \lambda \qquad [3.5]$$

$$C_{44} = C_{55} = C_{66} = \mu \qquad [3.6]$$

Un material ortótropo, como la madera, cuenta con tres planos perpendiculares con diferentes propiedades elásticas. La matriz de rigidez de un material ortótropo cuenta con nueve constantes independientes:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \qquad [3.7]$$

Así, la matriz definida en términos de módulos de Elasticidad longitudinal o módulos de elasticidad longitudinal (E) y módulos de cortante o módulos de elasticidad tranversal (G), con los tres ejes definidos como longitudinal (L), radial (R) y tangencial (T), quedaría expresada:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\upsilon_{LR}}{E_R} & -\frac{\upsilon_{LT}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\upsilon_{RL}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\upsilon_{RT}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\upsilon_{TL}}{E_L} & -\frac{\upsilon_{TR}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \quad [3.8]$$

En resumen, al asumir su condición de material ortótropo, el comportamiento mecánico de la madera queda caracterizado en un sistema de coordenadas rectangular, con 12 parámetros definitorios: tres módulos de elasticidad longitudinal (E_L, E_R y E_T), tres módulos de cortante (G_L, G_R y G_T) y seis coeficientes de *Poisson* (υ_{LR}, υ_{RL}, υ_{LT}, υ_{TL}, υ_{RT} , υ_{TR}).

La construcción de la matriz de rigidez requiere ensayos para determinar el comportamiento del material según diferentes ángulos con respecto a la dirección de la fibra. Una vez obtenidos, el cálculo de los módulos de elasticidad longitudinal y coeficientes de *Poisson* es posible mediante relaciones sencillas (Bucur, 2006). A pesar de que se refiere a medios infinitos, esta base teórica puede aplicarse al estudio de un material de dimensiones finitas siempre y cuando la dimensión transversal sea más pequeña que la longitud de onda (Graff, 1991).

La velocidad de propagación de una onda longitudinal (V_L) en un sólido isótropo e infinito se encuentra directamente asociada a las constantes elásticas:

$$V_L = \sqrt{\frac{E_{11}}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad [3.9]$$

donde ρ es la densidad, siendo μ y λ las constantes de Lamé.

De este modo, el módulo de elasticidad puede ser calculado según la expresión siguiente:

$$E = \rho \cdot V^2 \quad [3.10]$$

donde

E es el módulo de elasticidad longitudinal

ρ es la densidad y

V es la velocidad de propagación de onda.

Además de la estimación de las propiedades mecánicas de la madera, el empleo de ondas acústicas resulta una potente herramienta a la hora de evaluar otras características, como la presencia de defectos internos. La sensibilidad de un método acústico para detectar singularidades o defectos en la madera depende de la longitud de la onda empleada. Longitudes de onda mayores (frecuencias bajas)

permiten evaluar distancias mayores. Sin embargo, la capacidad de detección de singularidades o discontinuidades en la madera se reduce. Longitudes de onda pequeñas (frecuencias altas) permiten detectar discontinuidades de la madera menores que pueden no ser detectadas con los métodos con ondas de longitudes mayores, pero sacrificando alcance en la medición. Resulta obvia la necesidad de decidir el tipo de método y onda a emplear en función de las características de las muestras o piezas de madera a ensayar y de la finalidad de dicho ensayo, pudiendo ser la estimación de propiedades o la detección de daños o singularidades.

3.3.3.2. Método de ultrasonidos

Una onda ultrasónica es aquella cuya frecuencia se encuentra por encima del umbral de audición humano, es decir, aquella onda con una frecuencia mayor de 20 kHz. El rango de frecuencias ultrasónicas llega a valores de hasta 10^6 kHz. Este amplio rango de frecuencias permite su aplicación en multitud de campos, pudiendo ser empleado en el análisis de elementos de muy pequeñas dimensiones (hasta $10x8^{-4}$ cm con las frecuencias mayores).

La medición de la velocidad de onda ultrasónica en la madera, considerado como un material ortótropo, es la base de la evaluación no destructiva de sus propiedades elásticas y viscoelásticas. Las ondas se caracterizan por la dirección de propagación y el desplazamiento de las partículas del material. Para ondas longitudinales la trayectoria de desplazamiento de las partículas es en la misma dirección que la propagación, mientras que para ondas transversales es perpendicular a la dirección de propagación. En las ondas superficiales Rayleigh, la trayectoria de desplazamiento de las partículas es elíptica en el plano perpendicular a la superficie evaluada y paralela a la dirección de propagación de la onda (Bucur, 2006).

En medios dispersivos, la velocidad de onda ultrasónica depende de la frecuencia, y pueden ser medidas dos velocidades: velocidad de fase (v_f) y velocidad de grupo (V_g) (velocidad del conjunto de ondas). La relación entre ambas velocidades se encuentra ampliamente desarrollada por Guilbot (1992), y puede ser resumida por la ecuación:

$$v_f = \frac{V_g}{1 - \frac{f}{V_g} \cdot \frac{dV_g}{df}} = \frac{\omega}{k} \qquad [3.11]$$

donde

$\omega = 2\pi \cdot f$; f = frecuencia; λ = longitud de onda; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Cuando $k = k(\omega)$ y V está en función de la frecuencia, el medio se considera dispersivo. La dispersión puede ser inducida por la geometría de la probeta a evaluar, la naturaleza del material, las singularidades presentes, la absorción de energía por el material durante la propagación, etc. La determinación de las velocidades de fase y de grupo en sólidos dispersivos mediante métodos experimentales ha sido abordada, entre otros, por Sachse y Pao (1978) y Sahay et al. (1992).

Para el estudio de las propiedades de la madera mediante el empleo de ultrasonidos, pueden ser considerados dos tipos de ensayos fundamentales: técnica

de inmersión o técnica de transmisión. La técnica de inmersión resulta más adecuada para ensayos de laboratorio y probetas de pequeñas dimensiones, de modo que las condiciones de contorno pueden ser exhaustivamente controladas (Bucur, 2006). Sin embargo, por cuestiones obvias de operatividad, la técnica de transmisión directa es empleada en el estudio de madera estructural, no siempre ligada a tamaños adecuados al ensayo o condiciones de laboratorio controladas. Sandoz (1989, 1994, 1996) indica la adecuación de esta técnica para la evaluación de las propiedades elásticas de madera de tamaño estructural.

La velocidad de onda ultrasónica puede ser medida a partir de la emisión de pulsos y está relacionada con el tiempo de transmisión y la longitud del elemento a evaluar. La medición de la velocidad de onda ultrasónica mediante transmisión directa se realiza a partir de una señal eléctrica transmitida desde el elemento generador hasta el transductor emisor y transformado en un pulso ultrasónico. El pulso viaja a través del material y es recibido por el transductor receptor, y es transformado nuevamente en una señal eléctrica, permitiendo medir el tiempo entre la emisión y la recepción. La técnica resulta simple y muy precisa (error menor del 1%) (Bucur, 2006).

Los transductores incorporan un elemento piezoeléctrico que convierte la señal eléctrica en vibración mecánica, generando la onda. El efecto inverso es aplicado para la detección de la onda emitida en el transductor receptor. El elemento activo de un transductor piezoeléctrico es un disco de material cerámico (titanato de bario, titanato-zirconato, metaniobato, etc.) con una buena combinación de propiedades mecánicas, eléctricas y piezoeléctricas (Bucur, 2006).

Los transductores empleados en las técnicas de ultrasonidos deben tener una buena sensibilidad y resolución, permitir su uso en diversas condiciones y características de la muestra y ser adecuados al empleo en situaciones de ruido externo. Por otra parte, un correcto acople entre los transductores y el material resulta fundamental para evitar problemas de distorsión y atenuación de la onda ultrasónica.

La medición del tiempo (t) que emplea el primer frente de onda en recorrer la distancia entre los palpadores (d) permite calcular su velocidad de transmisión (ecuación 3.12).

$$V = \frac{d}{t} \qquad [3.12]$$

De acuerdo con la ecuación 3.10 del presente apartado, es posible estimar el módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad estimado a partir de la velocidad de transmisión de onda se denomina módulo de elasticidad *dinámico*, diferenciándose del módulo de elasticidad estático o *real,* obtenido mediante ensayos mecánicos. Este módulo de elasticidad dinámico depende de la densidad de la madera, parámetro de difícil estimación fuera de laboratorio, por lo que frecuentemente se emplea únicamente la velocidad de transmisión como variable a relacionar con el módulo de elasticidad estático y otras propiedades mecánicas.

El tiempo medido es el empleado por la onda ultrasónica en recorrer la distancia más corta entre los palpadores. Esto es rigurosamente cierto en un material sin discontinuidades o irregularidades. Pero cuando en el interior de la madera se

presentan singularidades tales como fendas o nudos, el tiempo de transmisión medido es el correspondiente a la onda que sortea dichas irregularidades, no siendo el correspondiente a la distancia más corta entre palpadores. Aquí radica la importancia de definir el objetivo del ensayo. Para evaluar las propiedades mecánicas, en especial el módulo de elasticidad, el cual no tiene una relación directa con la cantidad de nudos u otras irregularidades de la madera, el empleo de unas frecuencias altas supondría que la onda tendría una velocidad menor al existir muchos defectos detectados a sortear, con la posible subestimación de dicho módulo de elasticidad. Sin embargo, si lo que se pretende es detectar dichas singularidades y otros daños, el empleo de frecuencias altas permitiría afinar en su detección.

Las técnicas no destructivas basadas en ultrasonidos comenzaron a utilizarse para la evaluación de las propiedades en metales. Ya en los años 30 comenzaron a aplicarse al hormigón para la detección de irregularidades, inspección de elementos estructurales o medida de dimensiones. La expansión de estos métodos se vio potenciada por la aparición en los años 70 de equipos portátiles y de sencilla aplicación, como el *Pundit*, desarrollado en Holanda (Delibes, 1984). En la década de los 50 empezó a aplicarse la técnica de ultrasonidos a la caracterización de la madera estructural, siendo en los años 70 cuando se planteó su uso para inspección y evaluación de estructuras existentes (Pellerin y Ross, 2002). Actualmente, el campo de aplicación de las técnicas no destructivas (y especialmente los ultrasonidos) es tremendamente amplio en el contexto de la madera estructural (Beall, 2002; Brashaw et al., 2009). Ejemplos de aplicaciones con gran desarrollo en la actualidad son la estimación de propiedades de madera libre de defectos (Machado *et al*., 2009), de madera puesta en obra o con cierta antigüedad (Ceccotti y Togni, 1996; Bertolini *et al*., 1998; Arriaga *et al*., 2009; Faggiano *et al*., 2010a), evaluación de otros productos derivados de la madera (Kawamoto y Williams, 2002; Dill-Langer *et al*., 2005a, 2005b; Grimberg *et al*., 2005; Sanabria *et al*., 2010) o la detección de singularidades o defectos (Aicher *et al*., 2002; Hasenstab y Osterloh, 2009; Mariño *et al*., 2010).

Infinidad de trabajos de investigación relacionan la velocidad de onda ultrasónica con las propiedades de la madera. Así, pueden encontrarse coeficientes de determinación de entre 0,45 y 0,75 en relaciones lineales entre las velocidades de transmisión de onda ultrasónica y las propiedades mecánicas, siendo mayores con respecto al módulo de elasticidad que con respecto a la resistencia, pudiendo encontrarse correlaciones de hasta 0,98 en probetas libres de defectos (Pellerin y Ross, 2002). Las correlaciones con la resistencia a flexión son menores y con una mayor variabilidad, debido a la influencia de multitud de singularidades en el valor de resistencia a flexión que son difícilmente detectables y evaluables por éstos métodos.

La adecuación del empleo de los ultrasonidos para la estimación del módulo de elasticidad, especialmente en coníferas, queda patente en diversos trabajos realizados tanto dentro como fuera de España. Ejemplos de los más recientes son Halabe et al. (1996), Sandoz *et al.* (2002), Acuña *et al*. (2004, 2006), Arriaga *et al*. (2006), Hermoso *et al*. (2007), Kalinasari *et al.* (2008) y Carballo *et al*. (2009a). Además, se ha profundizado en la aplicación de estas técnicas en madera estructural de gran escuadría, como se puede constatar en los trabajos de Arriaga *et al*. (1992, 2005) e Íñiguez (2007). Además, cabe destacar los trabajos desarrollados por Gonçalves *et al.* (2011a, 2011b) en madera de eucalipto y otras frondosas brasileñas relacionados con la estimación de los parámetros elásticos de la madera y la detección de huecos internos mediante ultrasonidos.

La estimación de otros parámetros mecánicos de la madera resulta más complicada que la estimación del módulo de elasticidad. Existen estudios orientados a la combinación de diversos parámetros visuales con los parámetros obtenidos a partir de métodos basados en ultrasonidos con el fin de establecer modelos que permitan mejorar las estimaciones de la resistencia a flexión (Fernández-Golfín *et al*., 2007), si bien sin alcanzar las correlaciones obtenidas con el módulo de elasticidad.

3.3.3.3. Método de onda de impacto

Se denominan métodos de onda de impacto a aquellos en los que no se evalúa la velocidad de transmisión de onda ultrasónica (con una frecuencia superior a 20 kHz) generada mediante un acelerómetro piezoeléctrico, sino la velocidad de onda sónica (con una frecuencia entre 20 Hz y 20 kHz), generada mediante el impacto, por ejemplo, de un martillo.

La principal diferencia con la técnica de ultrasonidos previamente explicada radica en la frecuencia. Las frecuencias mayores consideradas cuando se emplean ultrasonidos resultan más adecuadas, como ya se ha dicho, para la detección de defectos o características de un tamaño reducido. El empleo de frecuencias menores, como las de las ondas sónicas, impide un análisis a tan reducida escala del material, pero permite a su vez estudiar longitudes mayores.

Cuando el objetivo consiste en definir de forma experimental las propiedades básicas de un material, como conocer las propiedades elásticas de una determinada especie de madera mediante el estudio de la matriz de los módulos de elasticidad longitudinal en todas sus posibles direcciones, no cabe duda que el método de ultrasonidos resulta más adecuado, al proporcionar una mayor resolución en el análisis del material, así como el control de las condiciones de contorno del experimento. El empleo de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos permite realizar una estimación de las propiedades elásticas con un alto grado de precisión.

Obviamente el avance y desarrollo de técnicas para esta evaluación *básica*, muy relacionada con la comparación teórica-experimental resulta fundamental para el conocimiento del material, especialmente cuando se trata de un material tan especial como la madera. Pero al afrontar la caracterización a escala estructural existen otros parámetros que hacen variar las condiciones experimentales y no son siempre controlables. La estimación de las propiedades mecánicas de la madera real, con sus singularidades y propiedades a nivel estructural, resulta muy diferente a la realizada en condiciones de laboratorio con un objetivo más teórico.

En este caso, el empleo de técnicas sónicas, con un alcance de onda mayor y una menor resolución, permite estudiar elementos estructurales y conseguir una estimación más *global* de las propiedades elásticas, sin tanta influencia de las singularidades (como nudos o fendas) y proporcionando unos resultados más acordes a la escala en la que se define el ensayo.

La decisión del empleo de una u otra técnica no siempre resulta fácil, existiendo determinadas situaciones en las que no es posible discernir qué tipo de ensayo resulta más conveniente. El objetivo final es el que determina la técnica más apropiada, siendo habitual que el análisis mediante ambas técnicas resulte necesario para cotejar los resultados y para una evaluación más completa del material.

La técnica de onda de impacto empezó a ser utilizada en madera en los años 50, siendo desarrollada por Ross y Pellerin de la Washington State University, en Estados Unidos (Bucur, 2006). Desde entonces, esta técnica ha sido ampliamente utilizada tanto en la evaluación de las propiedades de la madera en árboles en pie (Knowles *et al*., 2004, Wu *et al*., 2011) como en la evaluación de madera en rollo y madera aserrada (Wang *et al.*, 2002; Dickson *et al.*, 2004), así como el estudio de madera con altos contenidos de humedad (Halabe *et al.*, 1995). En España, y más recientemente, pueden destacarse los trabajos de Íñiguez (2007) e Íñiguez *et al.* (2009) en la evaluación de las propiedades de la madera estructural de conífera.

3.3.3.4. Factores influyentes en la velocidad de onda

Además de las propiedades elásticas de la madera, de la densidad y de las singularidades presentes en la misma, existen otros factores que influyen en la velocidad de transmisión de onda.

La temperatura influye en la velocidad de transmisión de la onda, de forma que un aumento de temperatura supone velocidades de transmisión menores, siendo el efecto más importante en contenidos de humedad de la madera mayores. Se estima que la variación de la velocidad se sitúa en torno al 0,07-0,08% por cada variación de 1ºC de temperatura y para un contenido de humedad del 12% (Sandoz, 1989). En condiciones de laboratorio, la variación de temperatura es baja, por lo que la influencia en la velocidad de transmisión es despreciable.

Otro factor con influencia en la velocidad de onda es el nivel de tensión de la pieza a evaluar (Bucur, 1979). Esta influencia ha sido estudiada por diversos autores, deduciendo variaciones de 0,06-0,08% para tensiones de tracción y compresión axial de alrededor de 20 N/mm^2 (Sasaki y Ando, 1998). Dada la escasa influencia, se trata de un factor generalmente despreciable, más aún en ensayos experimentales en laboratorio con la inexistencia de tensiones en las probetas.

La velocidad de transmisión de onda disminuye progresivamente en función del contenido de humedad desde el estado seco hasta el punto de saturación de la fibra (Ross y Hunt, 2000; De Oliveira *et al*., 2005; cit. por Mansilla *et al*., 2009) Así, Sandoz (1989) indica disminuciones del 0,8% en la velocidad de transmisión de onda por cada 1% de aumento del contenido de humedad, dentro del rango del 5 al 30%. Esta relación permite incluso el control del secado de la madera evaluando el tiempo de tránsito de onda (Simpson y Wang, 2001). El acondicionado de la madera hasta el contenido de humedad del 12% no es siempre sencillo, y según la especie considerada, imposible, con lo que resulta frecuente diferencias de contenido de humedad entre muestras de madera igualmente acondicionadas de hasta el 4% o mayores. Estas diferencias de humedad provocan influencias en la velocidad de transmisión de un 3% o mayores, por lo que resulta necesaria su corrección a contenidos de humedad de referencia.

La disposición de la fibra con respecto a la dirección de propagación de la onda tiene un claro efecto en las variables evaluadas (Schajer y Orhan, 2005), pudiendo haber diferencias de 4 ó 5 veces menos velocidad en dirección perpendicular a la fibra (Esteban, 2003). Debido a esto, la inclinación de la fibra con respecto a la dirección longitudinal también tendrá influencia en la velocidad de transmisión de la onda. Esta variación de la velocidad no es constante a medida que se aumenta el ángulo de desviación con respecto a la dirección de la fibra, siendo menor a un 2% si dicho ángulo es de 15º o menos (Bucur, 1984). En el trabajo de Acuña et al. (2007) se muestra el estudio de la velocidad de onda ultrasónica en las diferentes

direcciones (longitudinal y transversal), para diferentes especies de coníferas y frondosas.

Debido a la baja transmisión de los ultrasonidos en el aire, cualquier separación o discontinuidad entre la superficie del palpador y de la madera supondrá lecturas erróneas debido a un registro deficiente de la energía emitida y recibida. El empleo de geles en materiales como hormigón es muy frecuente, si bien en madera lo más habitual es la realización de orificios del mismo tamaño que los palpadores cónicos, lo cual asegura un contacto y una presión correctos entre el palpador y la madera (Figura 3.3.7).

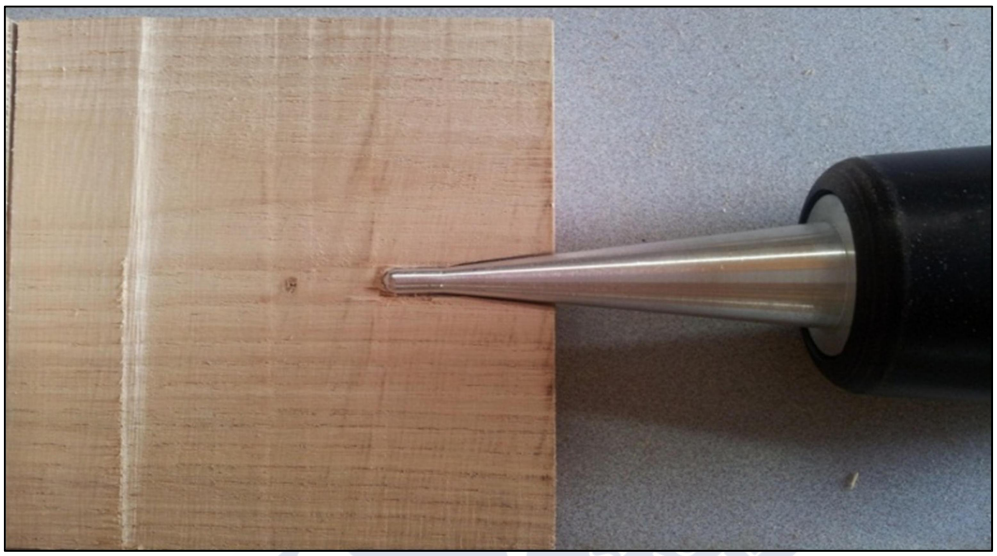


Figura 3.3.7. Acople entre palpador de ultrasonidos y la superficie de la madera

La geometría de la pieza a evaluar tiene un efecto en las condiciones de propagación de la onda, tal y como describe Bucur (2006). Así, en piezas con relaciones entre las dos dimensiones de la sección (b/h) mayores la velocidad de onda es menor (figura 3.3.8).

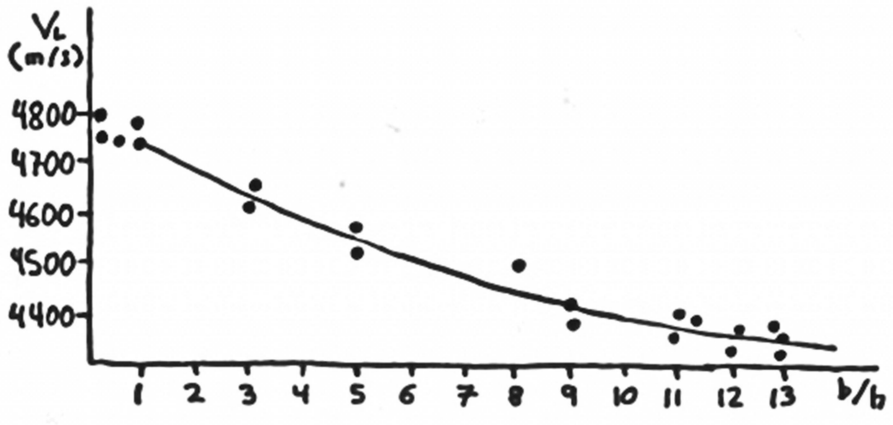


Figura 3.3.8. Influencia del tamaño de sección en la velocidad de onda (Bucur, 2006)

La relación experimental entre la densidad de la madera y la velocidad de la onda resultó estadísticamente significativa al 5% para más de 40 especies de coníferas y frondosas en los trabajos desarrollados por Barducci y Pasqualini (1948). La

relación empírica entre estas variables no resulta especialmente importante, aunque en general valores de velocidad pequeños corresponden a altas densidades.

3.3.3.5. Tipos de medidas

Los resultados más fiables mediante técnicas sónicas no destructivas se consiguen colocando los palpadores enfrentados, esto es, sobre las testas en piezas prismáticas con una dimensión mucho mayor que las otras dos, como es una típica pieza aserrada de madera estructural. La medida así obtenida del tiempo de transmisión es la *medida directa*, cuya distancia de referencia para el cálculo de la velocidad es la longitud total de la probeta (*L*) (figura 3.3.9).

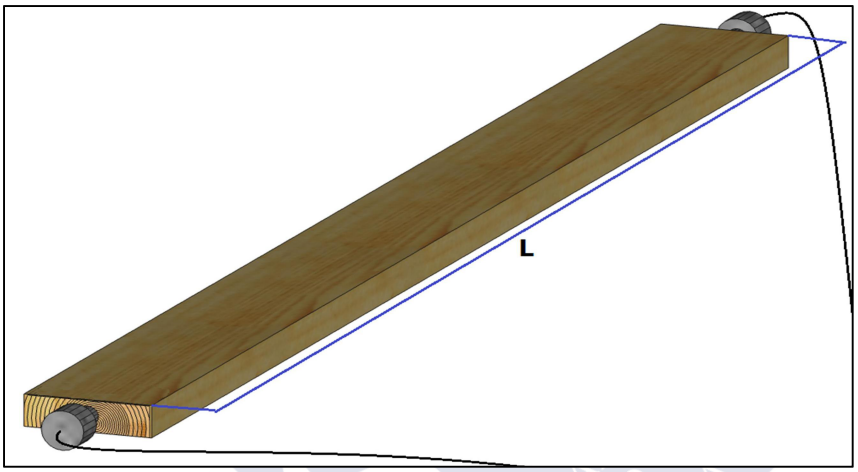


Figura 3.3.9. Configuración del ensayo para la medición directa

Sin embargo existen situaciones, sobre todo al evaluar madera en obra, donde el acceso a las testas es difícil o imposible. Como ya se ha explicado, la velocidad de onda se ve influenciada por la inclinación de la fibra y la dirección de emisión de la onda. Las *medidas semidirectas* o *indirectas* (figura 3.3.10), resultan necesarias cuando no es posible realizar una medición directa testa-testa. Si bien el error experimental es mayor, debido a la menor amplitud de onda recibida y la inclinación con respecto a la fibra, éste puede ser minimizado empleando ángulos de inserción pequeños de los palpadores en la madera.

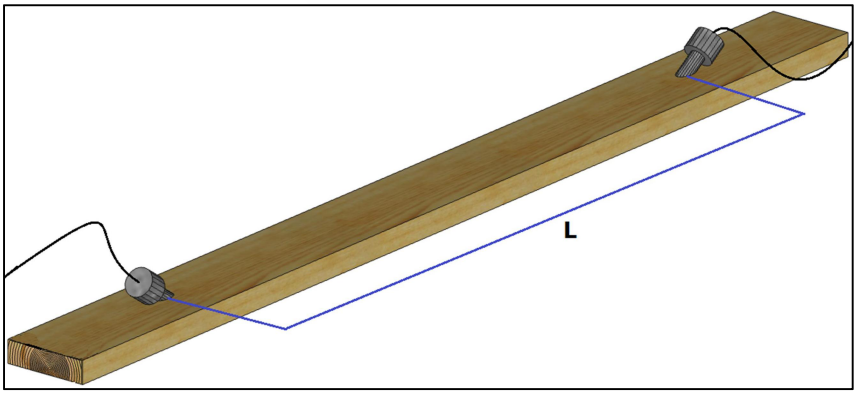


Figura 3.3.10. Configuración del ensayo para la medición indirecta

3.3.3.6. Análisis de vibraciones

Sobue (1986) introdujo un método para el cálculo del módulo de elasticidad mediante la *Transformada Rápida de Fourier*. Las propiedades elásticas de un material se encuentran íntimamente ligadas a las frecuencias naturales de vibración. Así, conocidas sus dimensiones y su densidad resulta posible la estimación del módulo de elasticidad. Las relaciones matemáticas entre las frecuencias naturales de vibración y el módulo de elasticidad se encuentran enunciadas para medios sólidos, homogéneos, isótropos y perfectamente elásticos. Aunque estas condiciones no se cumplen en su totalidad para materiales heterogéneos como la madera, las expresiones teóricas pueden ser aplicadas igualmente cuando las dimensiones de la pieza a evaluar son grandes en relación al tamaño de los elementos que lo constituyen (Malhotra y Carino, 2003).

Considerando una pieza prismática con una dimensión mucho mayor que las otras dos (clásica geometría de elementos de madera estructural), es posible considerar dos direcciones de excitación del elemento, los cuales producirán diferentes modos de vibración. Si la excitación se produce en la dirección perpendicular al eje longitudinal de la pieza, se provocan los modos de flexión (figura 3.3.11).

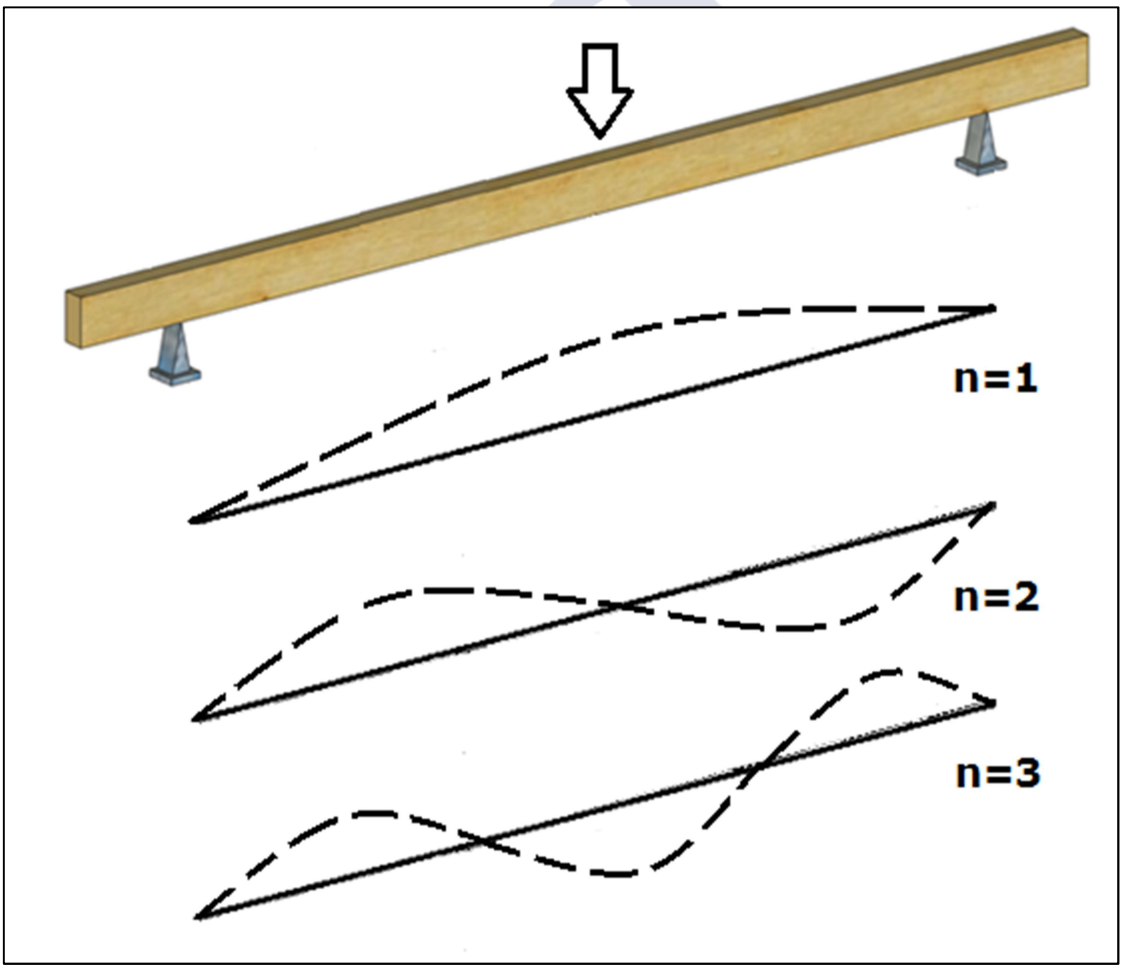


Figura 3.3.11. Modos de flexión (modos 1, 2 y 3)

La teoría de Timoshenko describe la vibración de un elemento barra prismático en flexión mediante la ecuación diferencial:

$$EI\frac{\delta^4 y}{\delta x^4}+\rho A\frac{\delta^2 y}{\delta t^2}-\rho I\left(1+\frac{E}{\beta G}\right)\frac{\delta^4 y}{\delta x^2 \delta t^2}+\frac{\rho^2 I}{\beta G}\frac{\delta^4 y}{\delta t^4}=0 \qquad [3.13]$$

donde

E es el módulo de elasticidad longitudinal

I es el momento de inercia de la sección

y es el desplazamiento

x es la coordenada longitudinal

ρ es la densidad

A es el área de la sección transversal

t es el tiempo

β es el factor de cortante

G es el módulo de elasticidad transversal

Ante la complejidad de la solución de la ecuación de Timoshenko, la ecuación de Euler proporciona una mucho más sencilla (Young y Budynas, 2002):

$$EI\frac{\delta^4 y}{\delta x^4}+\rho A\frac{\delta^2 y}{\delta t^2}=0 \qquad [3.14]$$

La cual tiene como solución:

$$E=\left(\frac{2f_n}{\gamma_n \pi}\right)\frac{mL^3}{I} \qquad [3.15]$$

donde

E es el módulo de elasticidad longitudinal

f_n es la frecuencia de vibración del modo n

m es la masa de la pieza

L es la longitud

Y_n es constante igual a $(n+0.5)^2$ para $n \geq 1$ donde n es el modo de vibración

I es el momento de inercia de la sección

Si la excitación no se produce en la dirección transversal al eje longitudinal de la pieza, sino en su misma dirección, se producirá una vibración longitudinal (figura 3.3.12).

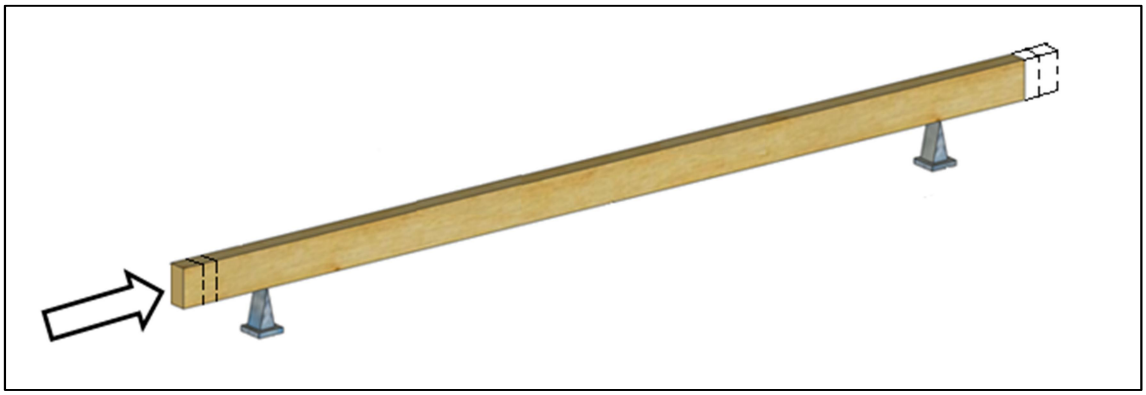


Figura 3.3.12. Vibración longitudinal

Al resolver la ecuación de propagación de ondas planas longitudinales en una barra de sección constante, se obtiene la ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad (*E*):

$$E = (2Lf)^2 \rho \qquad [3.16]$$

donde

E es el módulo de elasticidad

L es la longitud

f es la frecuencia natural de vibración longitudinal

ρ es la densidad

El empleo de las frecuencias naturales de vibración para la estimación de las propiedades elásticas de la madera se encuentra presente en gran cantidad de trabajos de caracterización de madera estructural. A modo de resumen pueden citarse diversos estudios, sobre todo acerca de madera de coníferas: desde James (1961) en el estudio de la influencia del contenido de humedad en la frecuencia de vibración, pasando por Halabe *et al*. (1995) y la evaluación de madera de pino; Divos y Tanaka (1997) en relación a la estimación de las propiedades resistentes de la madera de pino radiata mediante regresión múltiple; Dickson *et al*. (2004) sobre la caracterización mecánica igualmente de madera de *Pinus radiata* con diversas técnicas de análisis de vibraciones; Casado *et al*. (2007) con madera de pino silvestre; Íñiguez (2007) en la caracterización de madera aserrada de gran escuadría de cuatro especies de pino; y más recientemente trabajos como los de Divos y Sismandy (2010) con el estudio de vibraciones relacionadas con las propiedades mecánicas en madera estructural de alerce y Olsson *et al.* (2010) enfocando el análisis de las frecuencias de vibración a la estimación de la resistencia a flexión en madera de abeto. Además, el empleo de estas técnicas permite la evaluación de la rigidez de estructuras completas (Crews *et al*., 2003) mediante la evaluación de las frecuencias naturales de vibración.

3.4. Conclusiones a los antecedentes

El castaño (*Castanea sativa* Mill.) es una especie de capital importancia en ciertas regiones españolas, especialmente en el norte, donde las características ambientales y climáticas son idóneas para su desarrollo. Los siglos de empleo de su madera como material estructural ponen de manifiesto su aptitud y justifican el calificativo de *árbol versátil* por excelencia.

Pero a día de hoy, dentro del entramado técnico y legal en el que se mueve el sector de la construcción no tienen cabida las validaciones de un material (en este caso de una especie de madera) en base a meros datos históricos más o menos subjetivos. La necesidad de que todas las especies de madera empleadas actualmente como material estructural se enmarquen en el contexto normativo vigente, cumpliendo así todos los requisitos de calidad y seguridad establecidos, hace que sea requerido un proceso de caracterización y un estudio detallado de sus propiedades.

El proceso de caracterización de una especie de madera tiene tres puntos o vías fundamentales. Dos de ellos son necesariamente obligatorios y enmarcados en el contexto normativo europeo relativo a madera estructural: la caracterización mediante ensayos mecánicos destructivos y la clasificación visual. La tercera vía, aunque a día de hoy no resulte necesaria estrictamente, supone un complemento imprescindible desde un punto de vista práctico: la aplicación de técnicas no destructivas.

El breve repaso por algunos de los trabajos más importantes realizados dentro de nuestras fronteras y fuera de ellas acerca de la caracterización de especies de madera con fin estructural permite hacerse una idea de la relevancia de estos trabajos y la influencia directa que tienen sobre el mercado de la madera, al ofrecer nuevos materiales y productos *normativamente aceptados*. Además, los trabajos de caracterización revisados llevan asociados un análisis de la normativa de clasificación visual aplicable, o la modificación o creación de nuevos criterios normativos para realizarla.

En cuanto a la aplicación de técnicas no destructivas, la bibliografía potencialmente revisable resulta inabarcable. En esta Tesis Doctoral se han seleccionado los trabajos más cercanos, en cuanto a criterios temporales y geográficos. Obviamente, los trabajos publicados más recientemente y por investigadores de nuestro país han sido los primeros y más profundamente estudiados, sin excluir una buena cantidad de trabajos foráneos o muy alejados en el tiempo (debido a que la aplicación de estas técnicas comenzó antes de mediados del siglo XX) con metodologías y resultados relevantes e imprescindibles.

Una vez claro el contexto bibliográfico de las técnicas y métodos de ensayo, la aplicación de lo estudiado al caso concreto de la madera de castaño no resultó tan directa. Gran parte de los trabajos publicados están referidos a madera de coníferas, a día de hoy con gran importancia comercial. Las referencias a la caracterización de madera de frondosas son más escasas, y especialmente en relación a la madera de castaño, encontrándose para esta especie trabajos puntuales (casi nunca referidos a madera *comercial* de tamaño estructural) y únicamente una referencia a la caracterización mecánica de su madera en recientes trabajos italianos.

Siendo conscientes de todo lo expuesto en los antecedentes de este trabajo, la caracterización de la madera de castaño de procedencia española para su uso estructural (con su inclusión en la normativa nacional y europea) debe suponer un valor añadido a la especie (con una importantísima superficie forestal en el noroeste) y una ampliación del abanico de posibilidades para el sector de la madera, el cual necesita, conocedores del contexto económico y empresarial actual, un aumento de la versatilidad y diversificación de productos.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

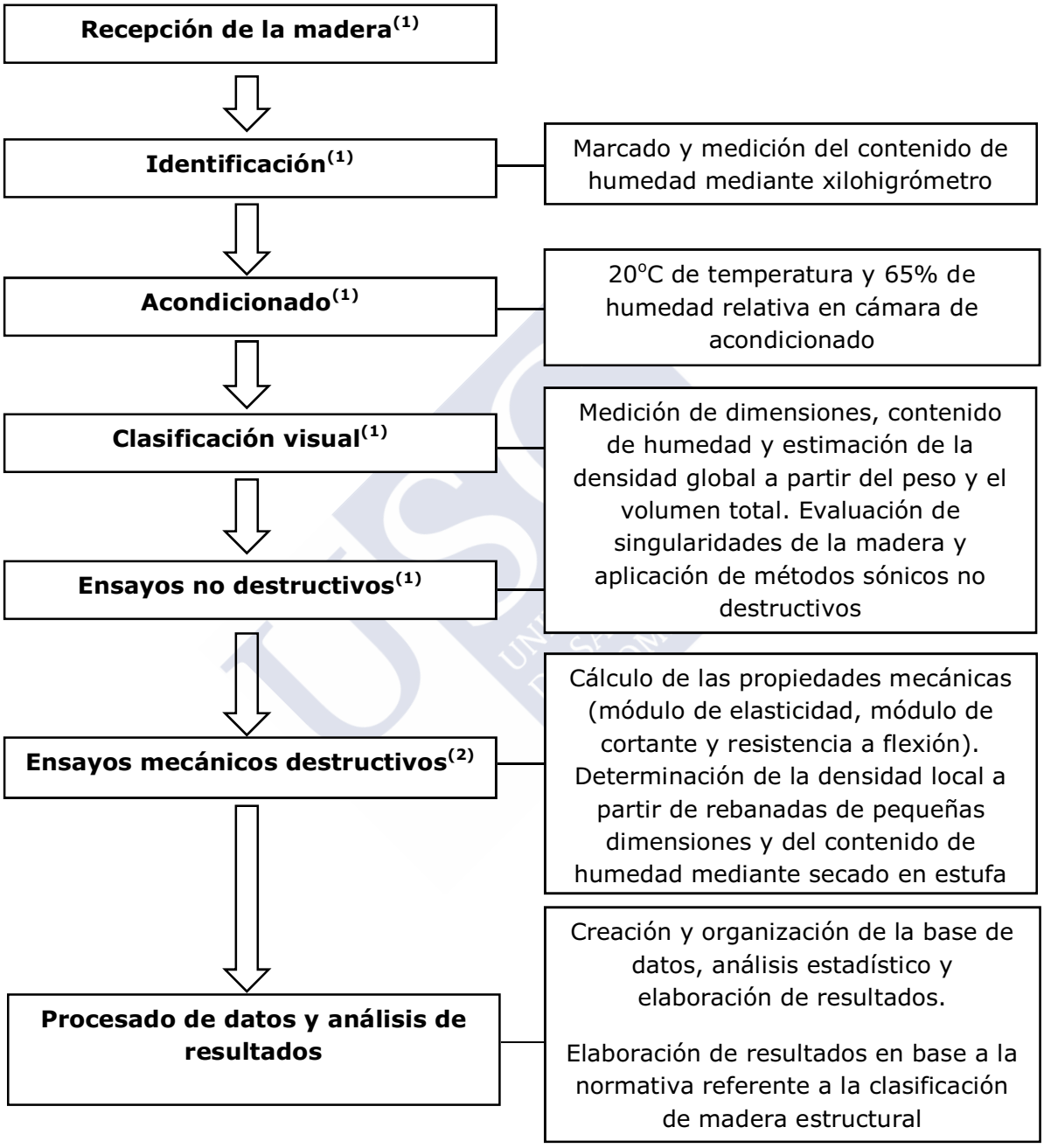
MATERIALES Y METODOLOGÍA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1. Esquema general de los ensayos

El siguiente esquema representa los procesos generales llevados a cabo desde la recepción de la madera, indicando el orden de cada uno de los diferentes ensayos, los cuales se encuentran detallados en apartados posteriores.



(1) Realizado en el Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS)

(2) Realizado en el Laboratorio de Madera Estructural PEMADE (Universidad de Santiago de Compostela)

4.2. Materiales

4.2.1. Material de ensayo

El conjunto de muestras objeto de estudio se compone de un total de 981 piezas de madera aserrada estructural de castaño (*Castanea sativa* Mill.), con tres tamaños de sección (40x100x2500 mm, 40x150x3500 mm y 70x150x3500 mm). La madera tiene su origen en 5 procedencias españolas: Asturias, Extremadura, Castilla y León, Cataluña y Galicia.

Figura 4.2.1. Material de ensayo

La selección de las regiones de procedencia de la madera, así como el número de piezas de cada una de ellas, fue realizada a partir de los últimos datos disponibles de cortas de madera de castaño en el momento de la realización del muestreo (junio 2009). Los datos de cortas de castaño de los tres últimos años disponibles, así como el total del trienio, se muestran en la tabla 4.3.1.

Tabla 4.2.1. Cortas de madera de castaño (m^3 cc) por Comunidad Autónoma (INE, 2009)

Comunidad Autónoma	2003	2004	2005	Total trienio	%
Asturias	42921	44955	50036	137912	49
Extremadura	9904	1245	10493	21642	8
Castilla y León	3519	3767	2618	9904	4
Cataluña	11789	16072	22783	50644	18
Galicia	9899	7100	43089	60088	21
Total	78032	73139	129019	280190	100

El número final de piezas empleadas fue definido en base a los datos de cortas expuestos, a la disponibilidad del material de las secciones consideradas y las condiciones y plazos de suministro de la madera de los aserraderos de cada zona (Tabla 4.2.2 y Figura 4.2.2).

Tabla 4.2.2. Número de piezas ensayadas (*n*) por Comunidad Autónoma

Comunidad Autónoma	n	%
Asturias	490	50
Extremadura	94	10
Castilla y León	49	5
Cataluña	188	19
Galicia	160	16
Total	**981**	**100**

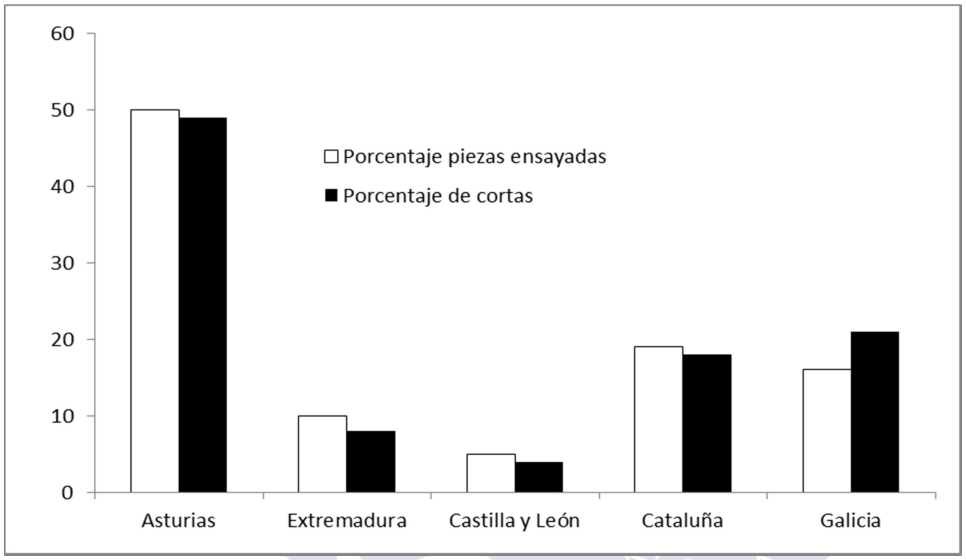


Figura 4.2.2. Gráfico de porcentaje de volumen de corta-piezas ensayadas

Las secciones a emplear fueron consideradas en base a las dimensiones comerciales más frecuentes. Las piezas no fueron seleccionadas ni clasificadas previamente por calidad (salvo grandes defectos que excluyeran a las piezas de su aptitud comercial) con el fin de abarcar toda la variabilidad presente en el mercado.

Los aserraderos suministradores de la madera fueron *Maderas Ángel Suárez S.L.*, *Maderas Siero S.A.* y *Maderas La Sierra* en Asturias; *Maderas Paco* en Cáceres; *Maderas Cascón S.L.* en Castilla y León; *Madegesa S.A.* en Cataluña y *Madefon S.C.* en Galicia.

El número total de piezas ensayadas por procedencia y sección se muestran en la tabla 4.2.3:

Tabla 4.2.3. Número de piezas de madera aserrada estructural de castaño ensayadas, por procedencia y sección.

Comunidad Autónoma	Sección I (40x100 mm)	Sección II (40x150 mm)	Sección III (70x150 mm)	Total
Asturias	166	163	161	490
Extremadura	45	49	-	94
Castilla y León	49	-	-	49
Cataluña	63	61	64	188
Galicia	49	56	55	160
Total	**372**	**329**	**280**	**981**

4.2.2. Identificación de la muestra

Tras la recepción, las piezas fueron identificadas mediante un código único, de forma que cada pieza estuviese identificada por procedencia, sección y un código numérico específico. De este modo, las piezas fueron identificadas mediante un código genérico de forma "*P S n*", donde "*P*" indica la procedencia (*A*: Asturias; *E*: Extremadura; *L*: Castilla y León; *C*: Cataluña y *G*: Galicia), "*S*" indica la sección (*I*: sección 40x100 mm; *II*: sección 40x150 mm y *III*: sección 70x150 mm) y "*n*" es el número específico de probeta (*01, 02, ... , n*). A modo de ejemplo, la probeta de código de identificación *AI43* correspondería con la probeta número 43 de procedencia asturiana y de sección *b*x*h* igual a 40x100 mm (sección I).

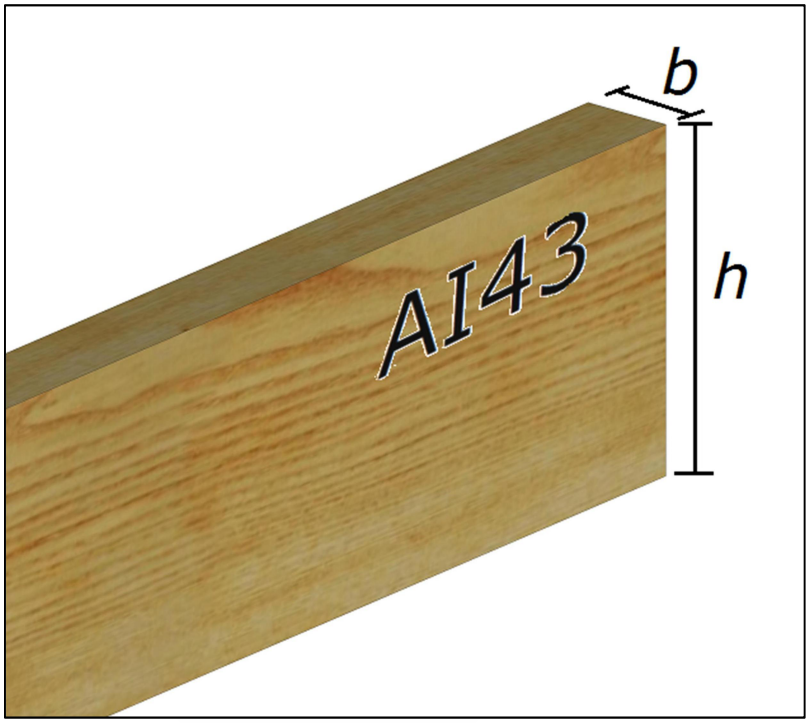


Figura 4.2.3. Identificación de las muestras

El código de identificación de cada pieza fue mantenido en todas las fases y ensayos, incluyendo las probetas de pequeñas dimensiones o rebanadas extraídas de las piezas originales, con el objetivo de simplificar la base de datos y minimizar errores en el procesado de los mismos.

4.3. Equipos utilizados

4.3.1. Cámara de acondicionado

Para el acondicionado de la madera fue empleada una cámara climática modular marca *INELTEC* (figura 4.3.1), con un volumen total de 21 m^3, dotado de equipo frigorífico, sistema de humidificación, resistencia de calor y equipo informático en comunicación con el autómata de control de humedad relativa y temperatura. Los rangos de uso de la cámara en cuanto a temperatura y humedad relativa son 0-80 (±2)^{o}C y 10-98 (±3)% HR respectivamente.

Figura 4.3.1. Cámara de acondicionado

4.3.2. Xilohigrómetro

El contenido de humedad fue estimado en las distintas fases de ensayos mediante xilohigrómetro Gann RTU 600 (figura 4.3.2). Fue realizada una calibración del equipo mediante el contraste con el contenido de humedad en un lote suplementario de probetas de madera de castaño determinado mediante secado en estufa (según la norma UNE-EN 13183-1). La relación lineal entre ambos valores de contenido de humedad permitió establecer un valor de corrección a aplicar en el empleo del xilohigrómetro en madera de castaño (ver *Anexo I. Calibración del xilohigrómetro*).

Figura 4.3.2. Xilohigrómetro RTU 600 (Gann)

4.3.3. Instrumentos de medición

Para la medición de dimensiones y singularidades durante la clasificación visual fueron empleados diversos instrumentos: escuadras graduadas y flexómetros (con precisión de 1 mm), barras metálicas de 2 m de longitud para la medición de las deformaciones y trazador para la medición de la desviación de fibra. La desviación de fibra fue evaluada, además, mediante el equipo comercial *Metriguard Model 511*, el cual se basa en la medición de la dirección de máxima permisividad eléctrica. El equipo expresa la desviación de fibra en grados sexagesimales, con una precisión de 0,1°.

Figura 4.3.3. Instrumentos de medida y equipo de medición de la desviación de fibra *Metriguard 511*.

4.3.4. Equipos no destructivos

Para el desarrollo de los ensayos no destructivos fueron empleados cuatro equipos basados en métodos sónicos. Los ensayos no destructivos fueron realizados en el Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS).

4.3.4.1. Equipo de ultrasonidos Sylvatest Trio

El equipo empleado en la medición de la velocidad de onda ultrasónica fue el *Sylvatest Trio*, de *CBS-CBT* (figura 4.3.4). El equipo está compuesto por una unidad central con *display* de control y visualización de datos, dos transductores de emisión y recepción de la señal ultrasónica y cables de conexión a la unidad central. El procesado de datos se realiza mediante el software del fabricante *Sylvacom*. Utiliza una frecuencia de onda de 22 kHz y tiene un rango de longitud aplicable de entre 80 cm y 20 m. La colocación de los transductores requiere un pretaladro para un contacto óptimo con la madera y una correcta transmisión de la onda ultrasónica. Las variables de salida del equipo son el tiempo de transmisión de onda, en microsegundos (μs), la velocidad de transmisión de onda ultrasónica, en metros por segundo (m/s) y la amplitud máxima del pico de energía, en milivoltios (mV).

Figura 4.3.4. *Sylvatest Trio* (*CBT-CSB*)

4.3.4.2. Equipo de onda de impacto Microsecond Timer

Los ensayos no destructivos basados en la medición de la velocidad de transmisión de onda sónica generada por impacto fueron realizados con el equipo *Microsecond Timer*, de *Fakopp* (figura 4.3.5). El equipo cuenta con la unidad central, dos sensores modelo *SD20* con su correspondiente cable de transmisión de datos a la unidad central y un martillo de impacto. El rango de temperatura de funcionamiento del equipo es 0-40°C. La variable de salida del equipo es el tiempo de transmisión de onda de impacto entre ambos sensores, expresada en microsegundos (µs), con un error de ±3 µs.

Figura 4.3.5. *Microsecond Timer* (*Fakopp*)

4.3.4.3. Equipo de medición de onda de vibración Portable Lumber Grader

El equipo *Portable Lumber Grader*, de *Fakopp* (figura 4.3.6), fue empleado para la determinación de la frecuencia de vibración longitudinal, a partir de la cual es posible calcular la velocidad de transmisión de onda. El equipo cuenta con una balanza con capacidad máxima de 125 kg (precisión de 1 g) y un micrófono unidireccional de sensibilidad -57 dB, con un rango de frecuencia 100-15000 Hz y un rango de temperatura de funcionamiento de 5-45°C, además de un martillo de impacto con una masa dentro del rango 0,1-3% de la masa de la pieza de madera analizada. Los datos son gestionados informáticamente mediante el software del fabricante, si bien las variables de salida fundamentales que aporta el equipo son la frecuencia de vibración longitudinal y la masa de la probeta.

Figura 4.3.6. Equipo *Portable Lumber Grader* (*Fakopp*)

4.3.4.4. Equipo de medición de onda de vibración Hitman HM200

El equipo *Hitman Director HM200*, de Fibregen (figura 4.3.7), es un equipo no destructivo basado en la medición de la velocidad de onda de vibración longitudinal a través de la madera generada a partir del impacto con un martillo. Destinado a un ámbito más práctico (mediciones en obra o industria) y no tan ligadas a condiciones de laboratorio, como pueden ser los equipos anteriormente descritos, el *Hitman Director HM200* cuenta con una robustez significativamente superior y unos rangos ambientales de aplicación menos limitantes, así como una metodología de ensayo más rápida y simple. La variable de salida directa del equipo es la velocidad de onda, en km/s.

Figura 4.3.7. Equipo *Director HM200* (*Fibergen*)

4.3.5. Banco de ensayos universal

Los ensayos mecánicos fueron realizados en el laboratorio PEMADE, en la Escuela Politécnica Superior de Lugo (Universidad de Santiago de Compostela), en un banco de ensayos múltiple con cuatro actuadores, de 200 y 600 kN, de la firma *MicroTest* (figura 4.3.8).

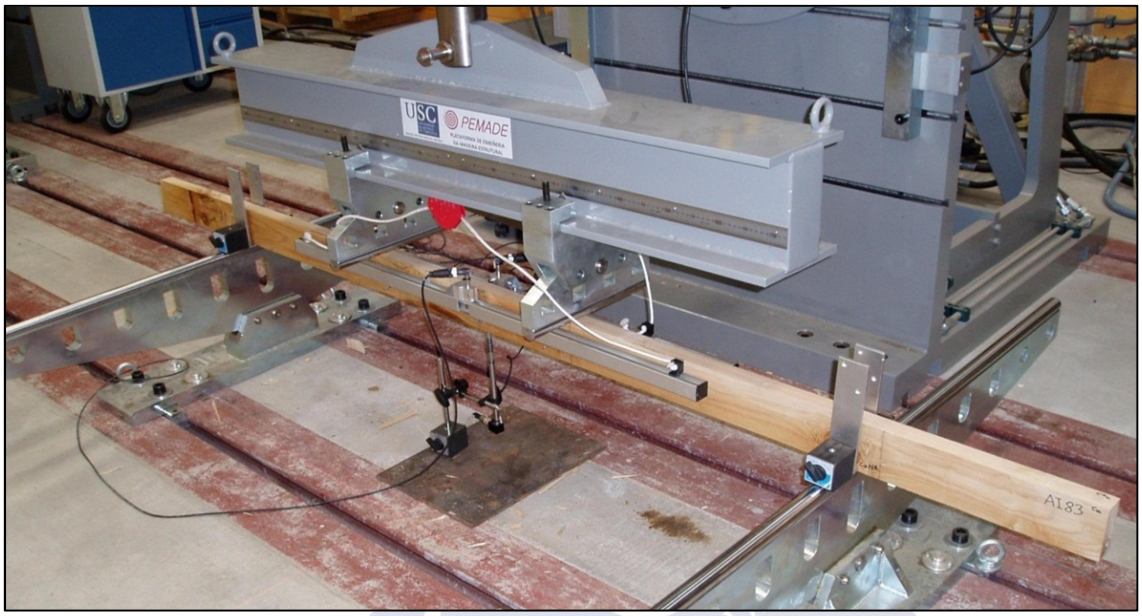


Figura 4.3.8. Banco de ensayos universal para la realización de los ensayos mecánicos destructivos

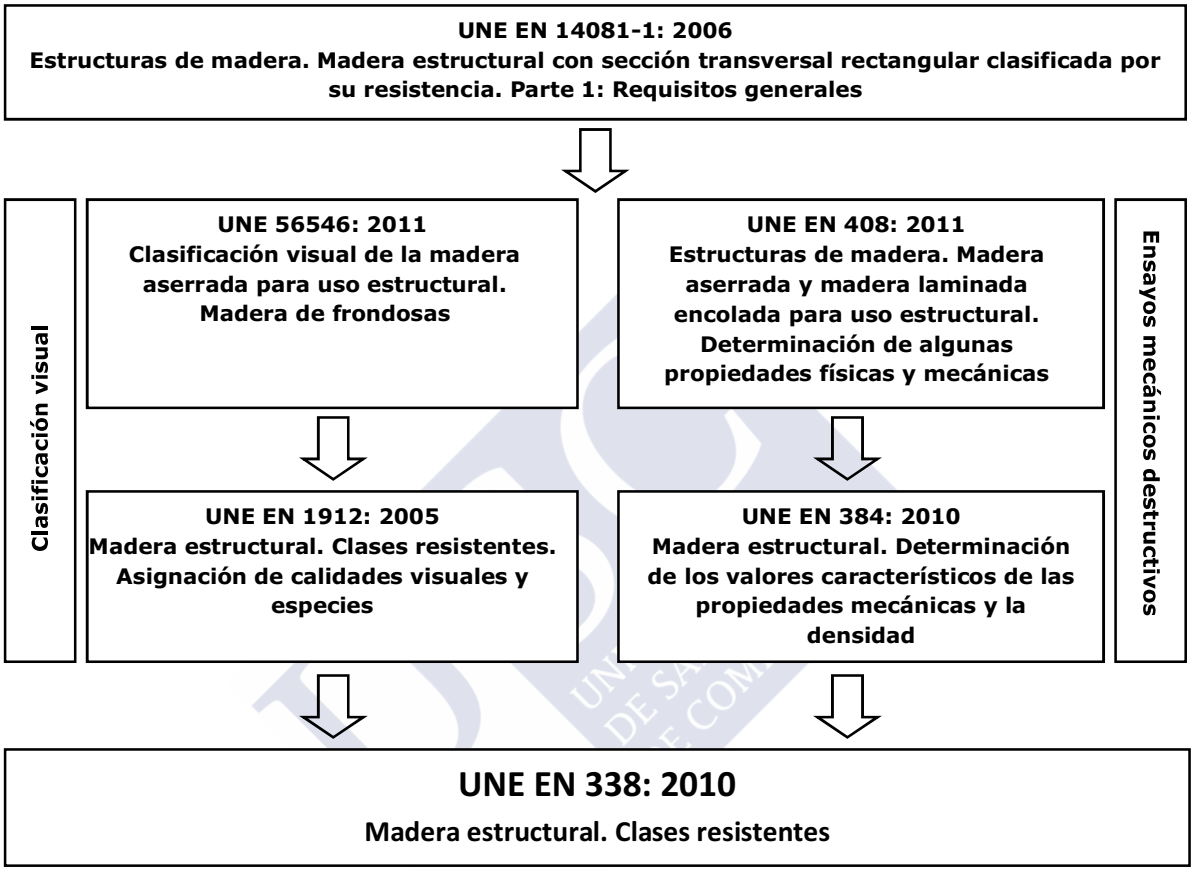
4.3.6. Estufa de secado

El cálculo del contenido de humedad fue realizado mediante el secado en estufa (figura 4.3.9) capaz de mantener una temperatura de 103±2ºC y que cuenta con circulación libre del aire en su interior, tal y como se exige en la norma EN 13183-1.

Figura 4.3.9. Estufa de secado

4.4. Normativa de referencia

El proceso de caracterización llevado a cabo se enmarca dentro del contexto normativo presentado en el apartado 3.2 del presente trabajo. A modo de resumen, el esquema siguiente relaciona de forma básica las normas cuyos requisitos y metodologías fueron aplicados a la clasificación visual y los ensayos mecánicos destructivos llevados a cabo para la caracterización de la madera aserrada estructural de castaño:



4.5. Acondicionado de la madera

La madera fue recibida desde los aserraderos con un cierto grado de secado al natural o en cámara. A pesar de ello, el contenido de humedad de los lotes procedentes de los distintos aserraderos contaba con una alta heterogeneidad, por lo que todas las piezas fueron sometidas a un acondicionado en cámara (ver apartado *4.3.1. Cámara de acondicionado*) a una temperatura ambiental de 20^{o}C y una humedad relativa del 65%, con el objetivo de conseguir un contenido de humedad homogéneo siempre por debajo del 20% y lo más próximo posible al 12%. Las piezas de madera fueron convenientemente apiladas y separadas mediante rastreles dentro de la cámara, consiguiendo una circulación del aire completa y homogénea.

El contenido de humedad inferior al 20% es un requisito indispensable para la clasificación en seco según la norma UNE 56546. Por otro lado, el contenido de humedad de referencia según normativa para los ensayos mecánicos es el 12%, por lo que se asume este mismo valor como referencia para el resto de ensayos no destructivos. La importancia de homogeneizar el contenido de humedad de todas las piezas a un valor lo más cercano posible al 12% radica en la minimización de las correcciones necesariaspara llevar los valores de sus propiedades al valor de referencia y hacer comparables los resultados de los diferentes ensayos. Las diferentes correcciones aplicadas en cada ensayo para llevar los valores de las distintas propiedades a la referencia del 12% de contenido de humedad se detallan en cada uno de los correspondientes apartados.

Figura 4.5.1. Acondicionado de la madera en cámara

La homogeneización del contenido de humedad de la madera evaluada conllevó tiempos de acondicionado relativamente largos, debido a las limitaciones espaciales y logísticas y, sobre todo, a la dificultad de secado de la madera de castaño, la cual requiere un secado gradual bajo unas condiciones controladas para minimizar la aparición de fendas y deformaciones. La madera fue acondicionada previamente a la clasificación visual, los ensayos no destructivos y los ensayos mecánicos.

4.6. Determinación del contenido de humedad y la densidad

4.6.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera fue controlado a lo largo de todo el proceso, desde su recepción hasta el momento de ensayo. Fueron definidas dos variables, una de ellas correspondiente al contenido de humedad en el momento de la clasificación visual y los ensayos no destructivos, y otra al contenido de humedad en el momento del ensayo mecánico. Estas dos variables fueron las empleadas para las correcciones de los parámetros de cada uno de los correspondientes ensayos.

El contenido de humedad de la madera en el momento de la clasificación visual y los ensayos no destructivos (H_{xil_c}) fue estimado mediante xilohigrómetro (ver apartado 4.3.2), según lo establecido en la norma EN 13183-2.

Figura 4.6.1. Medición del contenido de humedad
mediante xilohigrómetro (EN 13183-2)

El contenido de humedad en el momento de los ensayos mecánicos (H_{est}) fue determinado mediante secado en estufa según lo establecido en la norma EN 13183-1, a partir de rebanadas extraídas de las piezas después de la realización del ensayo a flexión.

$$H_{est} = \frac{m_H - m_0}{m_0} x100 \qquad [4.1]$$

donde

m_H= masa de la rebanada con un contenido de humedad H

m_0= masa de la muestra anhidra

Dado que la clasificación visual y los métodos no destructivos son herramientas de clasificación eminentemente prácticos, resulta coherente asociar los resultados obtenidos de ellos a un contenido de humedad estimado mediante xilohigrómetro, equipo con la misma finalidad práctica. El contenido de humedad estimado mediante xilohigrómetro se consideró lo suficientemente preciso debido a la calibración realizada en paralelo con una muestra suplementaria de madera de castaño (ver apartado *4.3.2* y *Anexo I*).

4.6.2. Densidad

Según la fase de los ensayos y el método de estimación empleado, fueron consideradas dos variables relativas a la densidad:

La denominada densidad global (Den_{Glo}) fue calculada a partir del peso y el volumen total de la probeta en el momento de la clasificación visual y los ensayos no destructivos. Así, Den_{Glo_sc} es la densidad global de la pieza con un contenido de humedad H_{xil_c}, y Den_{Glo_c} es la densidad corregida a la humedad de referencia del 12%.

La densidad local (Den_{Loc}) fue calculada a partir de las rebanadas libres de defectos extraídas de las piezas posteriormente al ensayo mecánico, lo más cerca posible a la sección de rotura, según lo establecido en la norma EN 408. Del mismo modo que ocurre con la densidad global se definieron dos variables: Den_{Loc_sc} es la densidad local de la rebanada con un contenido de humedad H_{est}, y Den_{Loc_c} es la densidad corregida a la humedad de referencia del 12%.

Figura 4.6.2. Determinación de peso y dimensiones para el cálculo de la densidad local

La corrección de los valores de densidad fue realizada en ambos casos según lo establecido en la norma EN 384, reduciendo su valor un 0,5% por cada 1% de contenido de humedad de la madera por encima del 12% y viceversa.

4.7. Clasificación visual

Para la clasificación visual fueron seguidos los procedimientos de medición de las singularidades de la madera descritos en las normas EN 1310 y UNE 56546. Así, fueron medidas las siguientes características y singularidades en cada una de las piezas evaluadas:

4.7.1. Contenido de humedad de referencia

El contenido de humedad fue estimado según la norma EN 13183-2, tal y como se explica en el apartado 4.6 del presente trabajo. Según la norma UNE 56546, un lote de madera se denomina "clasificado en seco" (*CS* o *DG-DRY GRADED*) cuando el contenido de humedad medio es igual o inferior al 20% sin que ninguna medida exceda el 24%, condiciones que se cumplieron en todos los lotes de madera de castaño objeto de estudio.

4.7.2. Dimensiones

La altura (h) y la anchura (b) de la pieza se definen como la dimensión mayor y menor, respectivamente, de la sección transversal. Estas dimensiones fueron medidas de acuerdo a lo especificado en la norma EN 1309-1, y cumplieron con las tolerancias especificadas en la norma EN 336. La clasificación se realiza en relación a las dimensiones nominales (h_{nom} y b_{nom}), entendiéndose por dimensión nominal la dimensión declarada de la pieza para un contenido de humedad del 20%. Para madera de frondosas se considera que, en el rango de humedad entre el 20% y el 30%, las dimensiones de la sección (*h* y *b*) de una pieza de madera se incrementa un P% por cada 1% de incremento de contenido de humedad y que, análogamente, por debajo de un contenido de humedad del 20%, dichas dimensiones se ven reducidas en un P% por cada 1% de descenso en el contenido de humedad de la madera. El valor de P depende de la especie:

Eucalipto: P=0,30
Roble: P=0,30
Castaño: P=0,26

En el caso concreto de la madera de castaño, Dieste et al. (2013) indican un contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra del 20,8%, muy inferior al valor de 30% que se atribuye de forma general. Esto tiene influencia en las correcciones de las dimensiones en piezas con un contenido de humedad por encima del 20-21%, las cuales no se incrementarían al estar por encima del punto de saturación de la fibra. En el presente trabajo este hecho no presenta trascendencia debido a que todas las piezas (salvo casos puntuales) se encontraron por debajo del 20% de contenido de humedad, inferior en todos los casos al punto de saturación de la fibra.

4.7.3. Singularidades

Nudos

Los nudos fueron medidos perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza (figura 4.7.1).

Los nudos con diámetro inferior a 10 mm fueron despreciados, excepto en el caso que fueran pasantes, entendiendo como nudo pasante aquel que se manifiesta al menos en dos superficies opuestas. Tampoco fueron considerados los nudos superficiales de la cara interna (cara más cercana a la médula y la contiene o está muy próxima a ella).

La corteza presente en el nudo, además de las irregularidades de la fibra alrededor del mismo, fue incorporada en la medida del diámetro. Los orificios dejados por nudos saltadizos se evaluaron como si fueran nudos.

Los nudos que se manifiestan en dos superficies contiguas (nudos de arista) fueron medidos en aquella que lo corta más perpendicularmente (figura 4.7.2). En caso de duda, se evaluó en la superficie que resultase más desfavorable

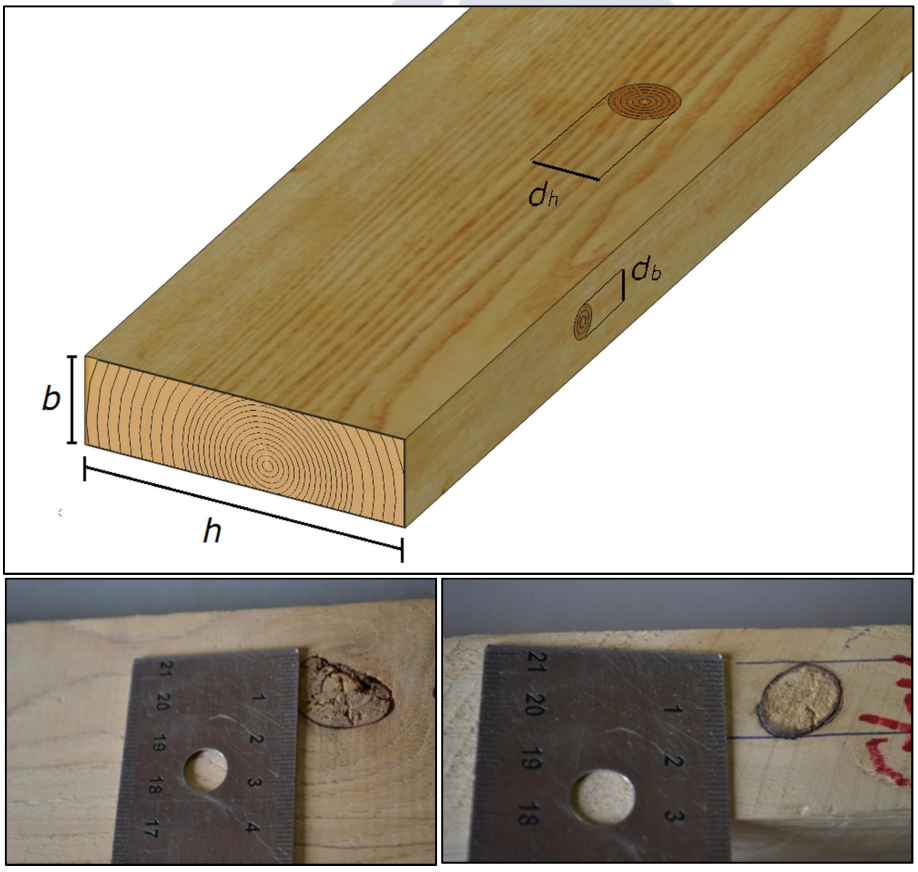


Figura 4.7.1. Medición de nudos de cara (d_h) y de canto (d_b)

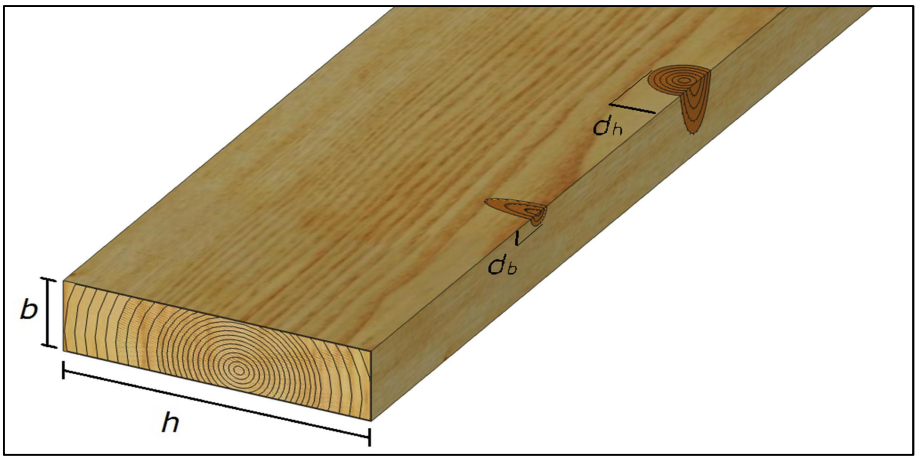


Figura 4.7.2. Medición de nudos de arista

Se denominan nudos agrupados a aquellos cuya distancia entre sus centros, medida según el eje longitudinal de la pieza, sea menor o igual que 150 mm, o menor o igual a *h* cuando ésta sea menor de 150 mm. Cuando los nudos agrupados no se solapaban sobre la dirección perpendicular al eje longitudinal de la pieza, fueron medidos mediante la suma de sus diámetros. Si se solapaban, fueron medidos globalmente (figura 4.7.3).

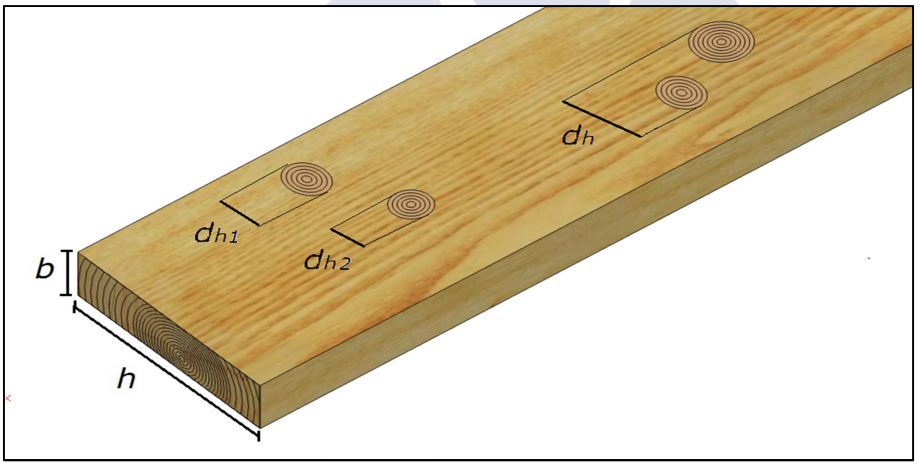


Figura 4.7.3. Medición de nudos agrupados

Fendas

Las fendas (separación de las fibras en dirección longitudinal) fueron evaluadas midiendo su longitud y su profundidad, y definiendo si se trataba de fendas de cara, de canto o de testa, y si eran pasantes o no. La profundidad fue medida mediante una galga de 0,2 mm de espesor. No fueron consideradas aquellas fendas (no pasantes) con una longitud inferior la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y un m, o aquellas fendas con una anchura menor de 1 mm. La profundidad de las fendas fue evaluada según la figura 4.7.4. Las fendas pasantes de testa fueron evaluadas mediante la medición de su longitud.

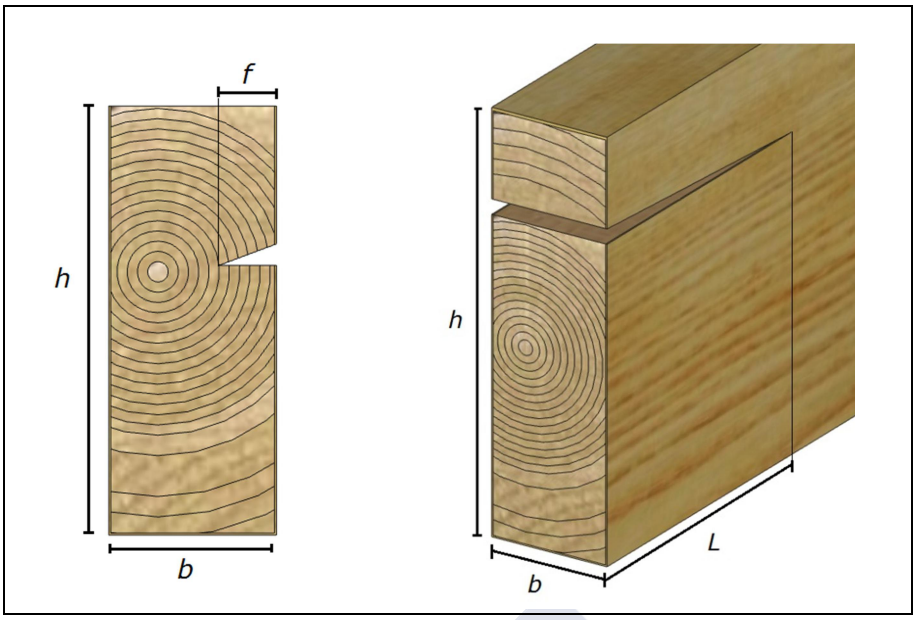


Figura 4.7.4. Medición de fendas no pasantes (izquierda) y pasantes (derecha)

Acebolladuras

Fue evaluada la presencia de acebolladuras (separaciones totales o parciales entre dos anillos de crecimiento contiguos) en la sección transversal visible de las testas de cada pieza.

Desviación de la fibra

La desviación de la fibra con respecto al eje longitudinal de la pieza evaluada fue la desviación general, y no la local debida a la presencia de nudos. El método empleado para su medición fue el descrito en la norma EN 1310 mediante el uso de trazador sobre una longitud de referencia de 1 m (figura 4.7.5). De forma paralela, fue empleado el equipo *Metriguard 511* (ver apartado 4.3.3), considerando como valor final de desviación de la fibra el más desfavorable de ambas mediciones.

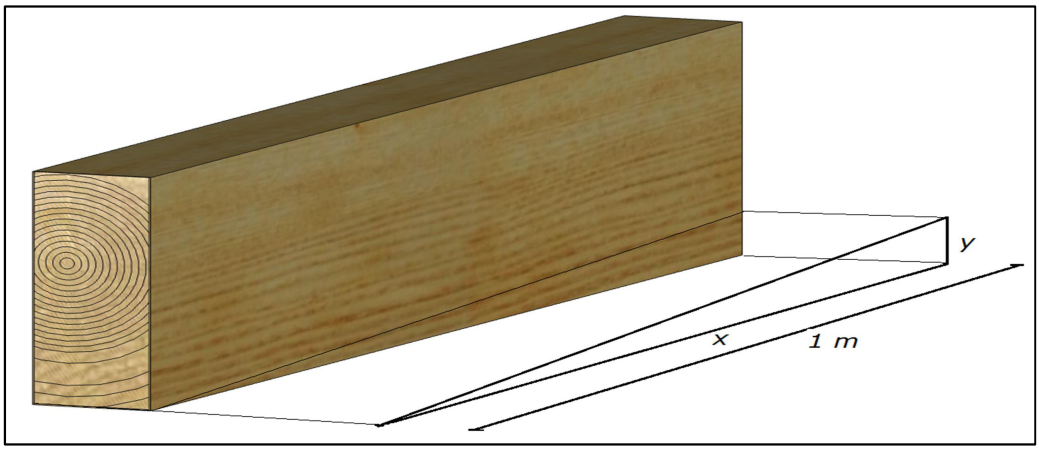


Figura 4.7.5. Medición de la desviación general de la fibra

Gemas

Las gemas (superficie original redondeada original del tronco, con o sin corteza, que se manifiesta sobre las aristas de la pieza de madera aserrada) fueron evaluadas mediante la medición de sus dimensiones: longitud (L) y tamaño relativo transversal en relación a las dimensiones de la sección (g).

De este modo, la evaluación de las gemas en la sección transversal se realizó de acuerdo al parámetro g:

$$g = máx.\left(\frac{h-h_1}{h}, \frac{b-b_1}{b}, \frac{b-b_2}{b}\right)$$

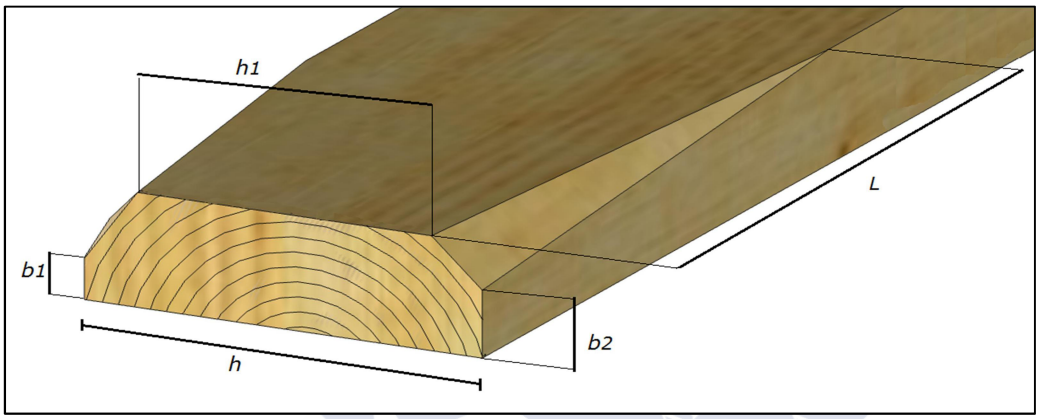


Figura 4.7.6. Medición de gemas

Alteraciones biológicas

Fue evaluada la presencia de pudriciones o ataques de insectos xilófagos.

Deformaciones

Las deformaciones fueron evaluadas tomando como referencia un tramo de 2 m de longitud de la pieza, según lo indicado en la norma EN 1310. Fueron evaluadas las curvaturas de cara y canto (parámetro x e y de la figura 4.7.7 respectivamente), el alabeo (parámetro z de la figura 4.7.7) y el abarquillado (parámetro w de la figura 4.7.7).

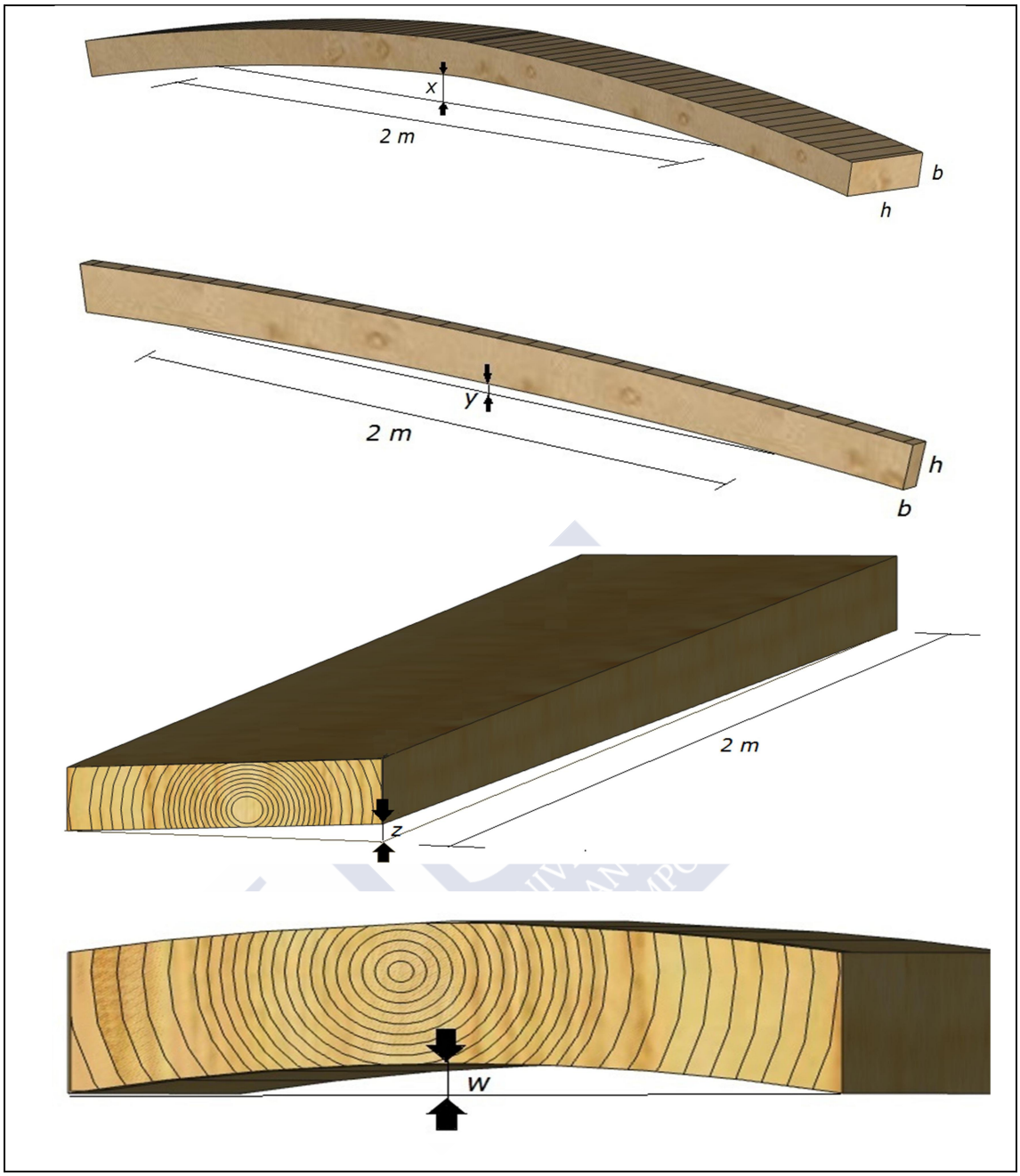


Figura 4.7.7. Medición de las deformaciones. De arriba abajo: deformación de cara, deformación de canto, alabeo y abarquillado.

Otros aspectos

Además de las características anteriormente descritas, fueron evaluados y registrados otros aspectos relacionados con la calidad visual que pudieran tener influencia de las propiedades mecánicas o estéticas (manchas, texturas anormales, etc…).

4.7.4. Especificaciones de clasificación

En una primera clasificación, fueron tenidos en cuenta los criterios expuestos en la norma UNE 56546:2011 para madera de frondosas (tabla 4.7.1).

Tabla 4.7.1. Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular de madera de eucalipto (b ≤ 60 mm y h ≤ 200 mm)

CRITERIOS DE CALIDAD			MEF
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤1/3 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤1/2 de "b"
Fendas	De secado[1][2]	Pasantes de testa	L (longitud) ≤ "h"
		Resto	F (profundidad) ≤ 1/2 de "b"
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas
Acebolladuras			No permitidas
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10%)
Gemas -Longitud -Dimensión relativa			≤1/4 de "L" g ≤1/4
Médula			No permitida
Alteraciones biológicas - Pudrición -Insectos xilófagos			 No se admite No se admiten ataques activos, Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
Deformaciones máximas[1][3] -Curvatura de cara -Curvatura de canto -Alabeo -Abarquillado			 10 mm cada 2 m 8 mm cada 2 m 1 mm cada 25 mm de "h" y para 2 m de longitud Sin limitación

(1) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo

(2) Referidas a un 20% de contenido de humedad. No se tienen en cuenta aquellas fendas que tengan una longitud inferior a la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.

(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad. Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecte a la estabilidad de la construcción (porque pueda corregirse durante la fase de montaje) y exista acuerdo exprese al respecto entre el suministrador y el cliente.

A pesar de encontrarse definidos para la madera de eucalipto, estos criterios fueron adoptados debido a que son los únicos presentes en la normativa nacional para la clasificación de madera de frondosas. Una vez clasificadas las piezas, y posteriormente a los ensayos destructivos y la determinación de sus propiedades mecánicas, fueron establecidos unos nuevos criterios de clasificación adaptados a la madera de castaño, evaluando los porcentajes de rechazo y las propiedades mecánicas según las nuevas especificaciones limitantes consideradas.

4.8. Técnicas no destructivas

Fueron llevados a cabo diversos ensayos mediante técnicas sónicas no destructivas, con el objetivo de evaluar la velocidad de transmisión de onda. Estos ensayos fueron realizados inmediatamente después de la clasificación visual, y previamente a los ensayos mecánicos destructivos. Todos los equipos utilizados se encuentran detallados en el apartado 4.3.4 del presente trabajo.

4.8.1. Ultrasonidos

Para la medición de onda ultrasónica fue empleado el equipo *Sylvatest Trio*, de *CBS-CBT*. Para la realización del ensayo fue necesario un taladro de los orificios de ubicación de los sensores mediante la broca específica proporcionada por el fabricante. Fueron realizadas dos tipos de mediciones en cada una de las piezas: medición directa (con los sensores colocados sobre las testas de las piezas) y medición indirecta (con los sensores colocados sobre las caras) (figura 4.8.1). En la medida directa la longitud de referencia de medida fue la longitud de la pieza, mientras que en las indirectas se consideró una distancia de referencia igual a 18 veces la altura de la sección, medida sobre una de las caras de la pieza.

Figura 4.8.1. Medición de onda ultrasónica mediante el equipo *Sylvatest Trio*.
Medición directa (izquierda) e indirecta (derecha)

Las variable de salida obtenida en las mediciones directas fue el tiempo de transmisión de onda (T_{ud}), en µs. Consecuentemente, la variable de tiempo de transmisión obtenida de las mediciones indirectas fue T_{ui}. El cálculo de las velocidades de transmisión de onda ultrasónica en las medidas directas en indirectas (V_{ud_sc} y V_{ui_sc} respectivamente) fueron calculadas a partir del tiempo de transmisión medido y la distancia entre sensores.

4.8.2. Ondas de impacto

Mediante el equipo *Microsecond Timer*, de *Fakopp*, fue evaluada la transmisión de onda sónica. La realización de este ensayo fue similar al realizado con ultrasonidos en cuanto a la disposición de forma directa e indirecta de los sensores. En cambio, no fue necesaria la realización de taladros debido a que los sensores son fijados mediante clavado en la madera. La emisión de la onda se realiza mediante el golpeo del sensor de inicio con un martillo (figura 4.8.2).

La variable de salida del equipo es el tiempo de transmisión de onda T_{id} y T_{ii}, en medición directa e indirecta respectivamente. El cálculo de las velocidades de transmisión de onda (V_{id_sc} y V_{ii_sc}, en medida directa e indirecta respectivamente) fue realizado a partir de la medición de los tiempos de transmisión de onda y la distancia entre sensores.

Figura 4.8.2. Medición de onda de impacto mediante el equipo Microsecond Timer. Medición directa (izquierda) e indirecta (derecha)

4.8.3. Análisis de vibraciones

Fueron utilizados dos equipos para la medición de la velocidad de trasmisión de onda a partir de la frecuencia de vibración longitudinal: *Portable Lumber Grader* (*PLG*) de *Fakopp*, y *HM200* de *Fibergen*.

La configuración del ensayo con el equipo *PLG* consta de dos apoyos donde se coloca la pieza de madera, y que a su vez sirve de báscula para la medición del peso y la estimación de la densidad. En un extremo de la pieza se coloca un micrófono y se golpea en la testa opuesta con un martillo de masa conocida facilitado por el fabricante (figura 4.8.4). El micrófono se encuentra conectado a un PC para el procesado de datos y la obtención de la frecuencia de vibración longitudinal (*Frec*). La velocidad de transmisión de onda (V_{v_sc}) fue calculado a partir de la expresión:

$$V_{v_sc} = 2 \cdot L \cdot Frec \qquad [4.2]$$

donde

L = longitud de la pieza, en m
Frec = frecuencia de vibración longitudinal, en Hz

El equipo *HM200* de *Hitman* tiene un empleo más sencillo, con aplicación eminentemente práctica. La variable de salida del equipo es la velocidad de transmisión de onda (V_{h_sc}), siendo necesaria la introducción del dato de longitud de la probeta en el equipo previamente a la medición. En ensayo consiste en el golpeo de una de las testas mediante un martillo. La medición de la onda es realizada con el sensor del equipo apoyado sobre la misma testa del golpeo (Figura 4.8.3).

Figura 4.8.4. Análisis de vibraciones mediante el equipo PLG

Figura 4.8.3. Medición de la velocidad de onda mediante el equipo Hitman Director HM200

4.8.4. Corrección de la velocidad de transmisión de onda

Las diferentes velocidades de transmisión de onda fueron medidas a un contenido de humedad H particular de cada pieza. Las velocidades de onda ultrasónica y onda de impacto fueron corregidas a un contenido de humedad de referencia, reduciendo su valor un 0,8% por cada 1% de porcentaje de contenido de humedad por encima del 12%.

La velocidad de onda obtenida a partir del método de vibraciones fue corregida reduciendo su valor un 1,2% por cada 1% de porcentaje de contenido de humedad por encima del 12% (Brancheriau, 2002; Brancheriau y Bailleres, 2002).

Así, fueron definidas 6 nuevas variables correspondientes a las velocidades de transmisión de onda de cada uno de los ensayos corregidas al 12% de contenido de humedad de referencia:

Ultrasonidos: V_{ud_c} y V_{ui_c} (medida directa e indirecta respectivamente)

Onda de impacto: V_{id_c} , V_{ii_c} (medida directa e indirecta respectivamente)

Vibraciones: V_{v_c} (PLG) y V_{h_c} (HM200)

4.8.5. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico

El cálculo del módulo de elasticidad dinámico fue realizado a partir de las variables de velocidad de transmisión de onda corregidas al 12% de contenido de humedad y de la densidad global corregida al 12% de contenido de humedad (Den_{glo12}). A partir de las ecuaciones [3.10 y 3.17] (apartado 3.3.3) se define la expresión para el cálculo del módulo de elasticidad dinámico (E_{din}):

$$E_{din} = Den_{glo12} \cdot V_{_c}^{\,2} \qquad [4.3]$$

donde

Den_{glo12} = densidad corregida al 12% de contenido de humedad

$V_{_c}$ = velocidad de transmisión de onda corregida al 12% de contenido de humedad

De este modo, fueron obtenidos los diferentes valores del módulo de elasticidad dinámico en función del tipo de ensayo no destructivo realizado:

Ultrasonidos: E_{din_ud} y E_{din_ui} (medida directa e indirecta respectivamente, Sylvatest)

Onda de impacto: E_{din_id} , E_{din_ii} (medida directa e indirecta respectivamente, Microsecond Timer)

Vibraciones: E_{din_v} (PLG) y E_{din_h} (HM 200)

4.8.6. Parámetros de clasificación visual

Se establecieron una serie de parámetros visuales para su combinación con las variables de las técnicas no destructivas para la estimación de las propiedades mecánicas. Se consideraron algunos de los parámetros visuales existentes en la normativa de clasificación visual española UNE 56546, y fueron definidos además diversos índices de nudosidad específicos. Estos parámetros visuales se presentan en la tabla 4.8.1:

Tabla 4.8.1. Variables visuales e índices de nudosidad considerados en el análisis

Símbolo	Definición	Fuente
CKDR	Índice concentrado de diámetro de nudos [ecuación 4.4]	Bibliografía/Equipo PLG
N_u	Número de nudos por metro lineal	Definidos específicamente en el presente trabajo
K	Diámetro medio de todos los nudos en relación a la dimensión de la cara (h)	Definidos específicamente en el presente trabajo
K_h	Máximo diámetro de nudo en relación a la dimensión de la cara (h)	UNE 56546
K_b	Máximo diámetro de nudo en relación a la dimensión del canto (b)	UNE 56546
K_c	Máxima relación diámetro de nudo/dimensión de la cara (h) dentro del tercio central.	Definidos específicamente en el presente trabajo
K_p	Mayor diámetro relativo de cara dentro del tercio central en relación a su distancia al borde traccionado [ecuación 4.5]	Definidos específicamente en el presente trabajo
K_t	Presencia de nudo cortado en la cara traccionada dentro del tercio central (Categórica)	Definidos específicamente en el presente trabajo
K_{cm}	Presencia de nudo en la cara comprimida dentro del tercio central (Categórica)	Definidos específicamente en el presente trabajo
P	Presencia de médula (Categórica)	UNE 56546
Gd	Desviación general de la fibra (%)	UNE 56546

Todos los índices de nudosidad fueron calculados considerando los diámetros de los nudos medidos perpendicularmente a la dirección longitudinal de la pieza. El índice *CKDR* es el índice concentrado de diámetro d**e** nudos, considerando los 15 cm de la longitud de la pieza con más nudosidad, y es empleado como parámetro de corrección para el módulo de elasticidad dinámico obtenido a partir del equipo PLG (Divos y Sismandy, 2010).

$$CKDR = \frac{\sum d_i}{2 \cdot (b + h)} \qquad [4.4]$$

donde d_i es el diámetro de los nudos en los 15 cm más desfavorables de la pieza; y *b* y *h* son las dimensiones de canto y cara respectivamente, en mm

El índice k_p hace referencia al tamaño relativo de los nudos con respecto a la dimensión de la cara de la probeta, aumentando además cuanto más cercano se encuentre a la zona de máxima tracción (canto inferior).

$$K_p = \left(\frac{d}{h}\right) / dist \qquad [4.5]$$

donde *d* es el diámetro de nudo dentro del tercio central, *h* es la dimensión de la cara y *dist* es la distancia desde el nudo hasta el borde traccionado de la pieza, en mm

El resto de variables fueron obtenidas de la norma de clasificación visual española UNE 56546 o definidos específicamente, al igual que k_p, en base a las características de los nudos (tamaño, superficie ocupada, situación en la probeta, etc…).

4.9. Ensayo mecánico

Los ensayos destructivos para la determinación de las propiedades mecánicas fueron llevados a cabo según lo establecido en la norma EN 408. La determinación de la densidad de acuerdo con esta norma se encuentra detallada en el apartado 4.6. La máquina universal de ensayos empleada se encuentra detallada en el apartado 4.3.5 del presente trabajo.

Fueron realizados tres ensayos, en los cuales fueron obtenidas las siguientes propiedades mecánicas: módulo de elasticidad global y local (E_{glo} y E_{loc} respectivamente), resistencia a flexión (f_m) y módulo de cortante (G). La madera fue acondicionada previamente a los ensayos con el objetivo de alcanzar un contenido de humedad cercano al 12%.

4.9.1. Módulo de elasticidad global

La configuración del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global se representa en la figura 4.9.1:

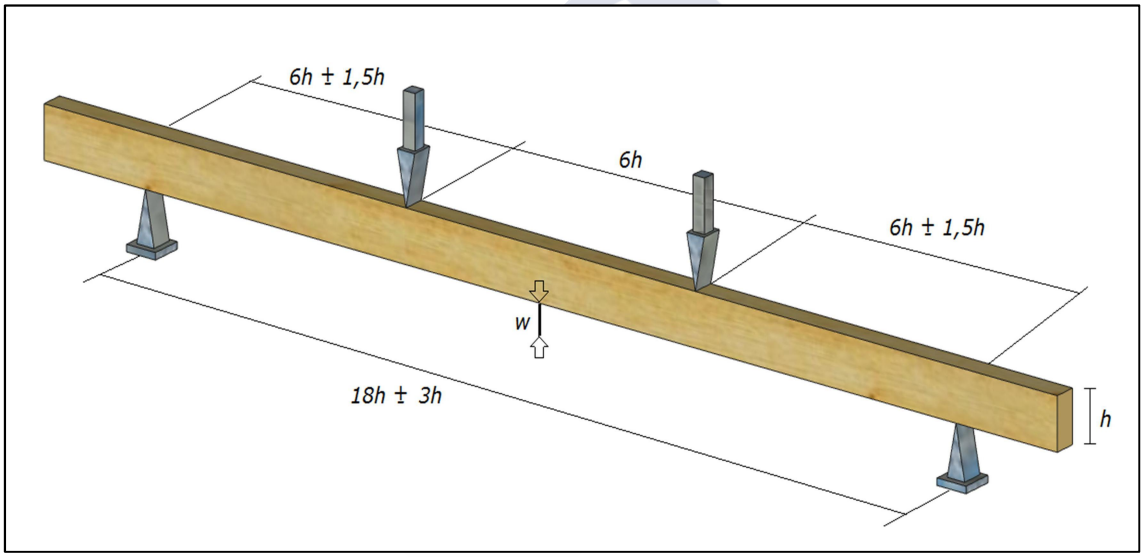


Figura 4.9.1. Configuración del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global según la norma EN 408

La probeta fue cargada en flexión sobre dos puntos simétricos separados una distancia igual a 6 veces la altura de la sección (6h), con una luz igual a 18 veces la altura de la sección (18h). La carga se aplicó a velocidad constante, siempre menor a 0,003h mm/s.

La medición de la deformación (w) fue realizada en el centro de la luz y sobre el canto traccionado (parte inferior de la probeta), en un tramo comprendido entre $0{,}1F_{max,est}$ y $0{,}4_{Fmax,est}$, siendo $F_{max,est}$ la carga máxima estimada del material ensayado, obtenida de ensayos preliminares.

El módulo de elasticidad global (E_{glo}) se calculó mediante la fórmula:

$$E_{glo} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3\left(2\frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh}\right)} \qquad [4.6]$$

donde

a = distancia entre un punto de carga y el apoyo más cercano, en mm

l, h y b = luz en flexión, altura y anchura de la sección respectivamente, en mm

F_2-F_1 = incremento de carga sobre la línea de regresión, con un coeficiente de regresión de 0,99 o mejor, en N

w_2-w_1 = incremento de la deformación correspondiente al tramo F_2-F_1, en mm

G = módulo de elasticidad transversal medio, en N/mm^2 (si no se conoce se toma como infinito)

El módulo de elasticidad global (E_{glo}) fue corregido al contenido de humedad de referencia, aumentando un 1% por cada variación del 1% de contenido de humedad por encima del 12% y viceversa. Se definió así la variable módulo de elasticidad global corregido (E_{glo12})

4.9.2. Módulo de elasticidad local

El procedimiento operatorio y la configuración del ensayo es similar al ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global, salvo por la colocación de los extensómetros para la medición de la deformación y la distancia base de medida. Para la determinación del módulo de elasticidad local, la deformación debe medirse sobre la fibra neutra, en un tramo centrado dentro del tercio central de la luz y con una longitud igual a 5 veces la altura de la sección (5h) (figura 4.9.2).

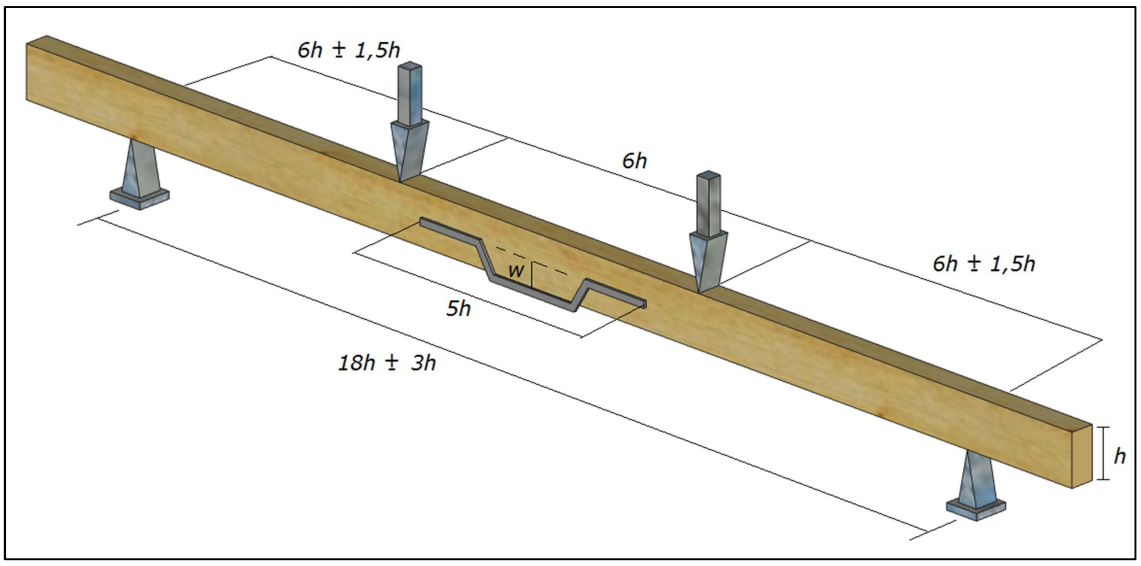


Figura 4.9.2. Configuración del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad local según la norma EN 408

Se colocaron dos captadores de deformación, uno en cada cara de la probeta, tomando como valor final de deformación el valor medio de ambas medidas.

El módulo de elasticidad local (E_{loc}) se calculó mediante la fórmula:

$$E_{loc} = \frac{a l_1^2 (F_2 - F_1)}{16 I (w_2 - w_1)} \qquad [4.7]$$

donde

a = distancia entre un punto de carga y el apoyo más cercano, en mm

l_1= longitud base de medida (5h), en mm

I = momento de inercia, en mm^4

F_2-F_1 = incremento de carga sobre la línea de regresión, con un coeficiente de regresión de 0,99 o mejor, en N

w_2-w_1 = incremento de la deformación correspondiente al tramo F_2-F_1, en mm

El módulo de elasticidad local (E_{loc}) fue corregido al contenido de humedad de referencia, aumentando un 1% por cada variación del 1% de contenido de humedad por encima del 12% y viceversa. Se definió así la variable módulo de elasticidad local corregido (E_{loc12}).

4.9.3. Módulo de elasticidad transversal

El módulo de cortante o módulo de elasticidad transversal fue calculado siguiendo los procedimientos de ensayo según la norma EN 408 mediante el método de la luz única. Para ello, la probeta fue cargada en su punto central con una luz igual a la distancia base de medida empleada en el cálculo del módulo de elasticidad local (5h). De este modo, el módulo de elasticidad aparente ($E_{m,app}$) se calculó mediante la expresión:

$$E_{m,app} = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{48 (w_2 - w_1)} \qquad [4.8]$$

donde

l_1= longitud base de medida (5h), en mm

F_2-F_1 = incremento de carga sobre la línea de regresión, con un coeficiente de regresión de 0,99 o mejor, en N

w_2-w_1 = incremento de la deformación correspondiente al tramo F_2-F_1, en mm

El módulo de elasticidad transversal fue calculado según la expresión:

$$G = \frac{k_G h^2}{l_1^2 \left[\frac{1}{E_{m,app}} - \frac{1}{E_{m,l}} \right]} \qquad [4.9]$$

donde

k_G= 1,2 para secciones rectangulares o cuadradas

h = altura de la sección, en mm

l_1 = luz en flexión, en mm

$E_{m,app}$= módulo de elasticidad aparente, en N/mm2

E_{loc}= módulo de elasticidad local, en N/mm2

4.9.4. Resistencia a flexión

La configuración del ensayo para la determinación de la resistencia a flexión es similar a la correspondiente a los ensayos para la determinación del módulo de elasticidad global y local.

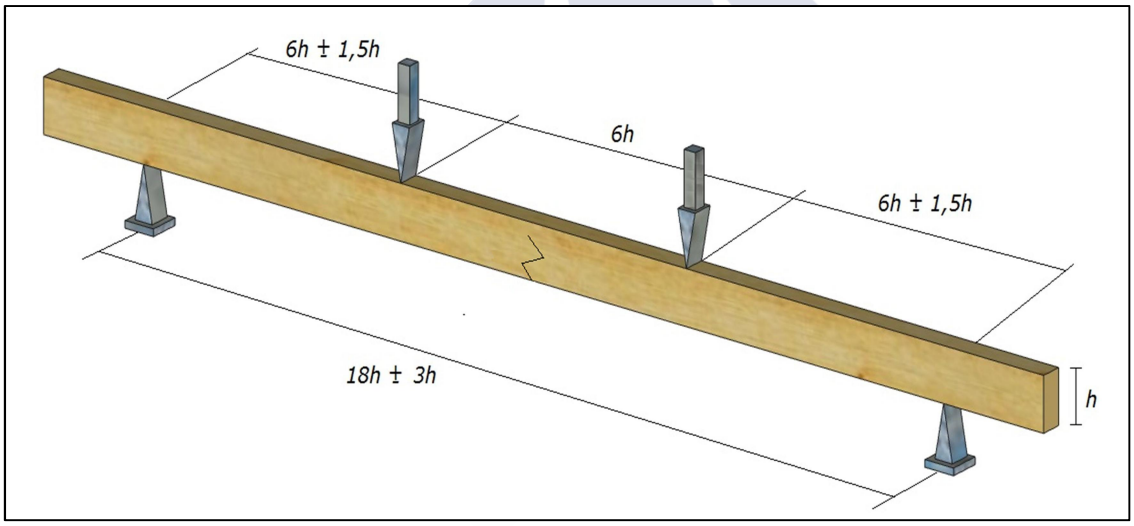


Figura 4.9.3. Configuración del ensayo para la determinación de la resistencia a flexión según la norma EN 408

La resistencia a flexión (f_m) se calculó según la ecuación:

$$f_m = \frac{3F_{máx}a}{bh^2} \qquad [4.10]$$

donde

a = distancia entre un punto de carga y el apoyo más cercano, en mm

$F_{máx}$ = carga máxima de flexión, en N

h y b = altura y anchura de la sección, respectivamente, en mm

La ecuación 4.11 asume que la rotura de la pieza siempre se produce dentro del tercio central, sobrestimando el valor de la resistencia a flexión de las piezas cuyo punto de rotura se produjese en un lugar fuera de éste (tramo de máximo momento flector). Para obtener los valores reales de resistencia a flexión en las piezas con roturas fuera del tercio central se calculó variable f_{m_c} (resistencia a flexión corregida) mediante la expresión:

$$f_{m_c} = \frac{3F_{máx}}{bh^2}\left(\frac{L}{2} - y\right) \qquad [4.11]$$

donde

$F_{máx}$ = carga máxima de flexión, en N

L, h y b = luz de ensayo, altura y anchura de la sección respectivamente, en mm

y = distancia desde el punto de rotura hasta el centro de la pieza

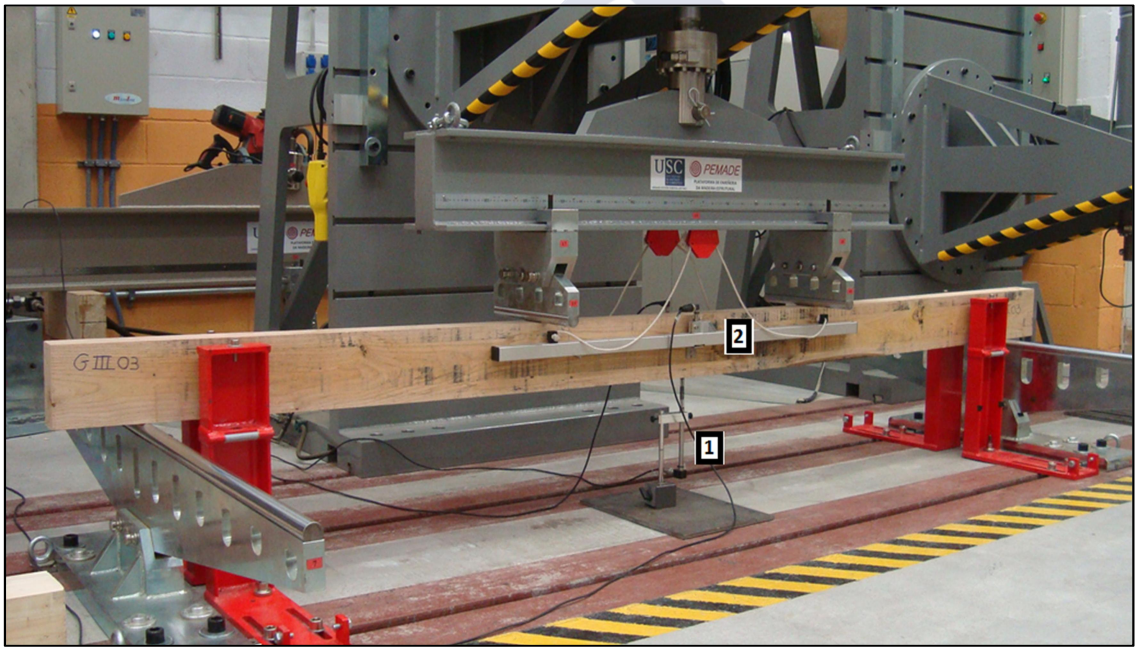


Figura 4.9.4. Configuración del ensayo conjunto para la determinación del módulo de elasticidad global (extensómetro 1), módulo de elasticidad local (extensómetro 2) y resistencia a flexión según la norma EN 408.

Los ensayos correspondientes a la determinación del módulo de elasticidad global, local y resistencia a flexión fueron realizados conjuntamente. Los captadores de deformación fueron colocados según la figura 4.9.4, siendo retirados al alcanzarse una carga superior a 0,4Fmáx. Una vez retirados los captadores de deformación, se prosiguió cargando la probeta hasta su rotura.

Tanto el valor de la carga definida para la retirada de los extensómetros como el valor de la velocidad de desplazamiento del cabezal fueron determinados a partir de ensayos preliminares.

4.10. Análisis estadístico

4.10.1. Estadísticos descriptivos

A continuación se muestran los estadísticos descriptivos empleados, presentes en los diversos análisis y grupos de resultados referidos a las distintas variables estudiadas.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad [4.12]$$

Donde n es el número total de probetas analizadas de la muestra/población y x_i es el valor individual de la variable x de cada probeta.

Media ponderada

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad [4.13]$$

Donde x_i es el valor de la variable x de cada probeta y w_i es la variable de ponderación, en este caso el número de probetas de cada muestra.

Desviación típica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{N}} \qquad [4.14]$$

Donde x_i es el valor de la variable x de cada probeta, $\bar{x}$ es la media de la variable x y N es el número total de la muestra/población.

Coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \qquad [4.15]$$

Donde σ es la desviación típica de y $\bar{x}$ es la media de la variable x.

4.10.2. Test de normalidad

La comprobación de la normalidad de las distribuciones de las variables analizadas fue realizada mediante el test no paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov*, el cual se basa en la comparación de la distribución acumulada de los datos observados con la de una distribución dada, en este caso la normal, midiendo la máxima distancia entre ambas curvas. Fue empleado el test de *Kolmogorov-Smirnov* debido a resultar más adecuado que otros al tratar muestras grandes (>50) y su menor sensibilidad a las variaciones en las observaciones extremas.

De este modo, en el test de Kolmogorov-Smirnov fueron obtenidas dos variables: el estadístico *Z*, calculado a partir de la mayor diferencia entre la función de distribución de la muestra y la función de distribución normal (Ecuación [4.15]) y el valor de significación, siendo rechazada la hipótesis de normalidad cuando éste resulta menor de 0,05.

$$Z_{k-S} = máx\left|D_i\right|\sqrt{n} \qquad [4.16]$$

4.10.3. Análisis de varianza

Fueron realizados análisis de varianza para comparar varios grupos en las variables cuantitativas. En concreto, las diferentes variables fueron analizadas en función de los grupos definidos por los distintos tamaños de sección y los grupos correspondientes a las procedencias, para detectar las diferencias significativas existentes entre sus medias.

La comparación de medias fue realizada mediante el test de la *Diferencia Mínima Significativa* (*DMS*), adoptando un valor de significación de 0,05 por debajo del cual se aceptaron diferencias significativas en las medias de la variable considerada bajo el factor considerado.

4.10.4. Modelos de regresión

Los modelos de regresión fueron llevados a cabo a partir de regresión lineal y múltiple, de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon \qquad [4.17]$$

Donde Y es la variable dependiente o explicada, $X_1, X_2, \ldots, X_n$ son las variables independientes o explicativas, β_0 es el término constante, β_1, $\beta_2, \ldots$, β_n son los parámetros de las variables independientes y ε es el término aleatorio.

Las regresiones múltiples fueron realizadas mediante el método de regresión paso a paso o *stepwise regression,* en la cual se definen qué variables deben entrar en el modelo en base a una significación dada.

4.11. Procedimiento normativo de caracterización estructural

Como ya se ha expuesto, el proceso de caracterización se basa en un conjunto de normas que definen, en todos los pasos, los requisitos, condiciones y metodologías de ensayo. El presente apartado describe paso a paso dicho proceso seguido para la caracterización de la madera aserrada de castaño de procedencia española, detallando el cálculo de los valores característicos que finalmente definirán la clase resistente a asignar.

4.11.1. Muestreo

Según lo indicado en la norma EN 384, las muestras han de ser tomadas de una población de madera clasificada visualmente. Al no existir en la normativa nacional una clasificación adecuada a la madera de castaño (la norma UNE 56546 se encuentra adaptada para madera del género *Eucalyptus*), la población de madera de castaño fue clasificada según los criterios específicamente definidos en base al estudio detallado de las propiedades mecánicas y la influencia de las singularidades (apartado 4.7 del presente trabajo).

La muestra para el ensayo fue representativa de la población en cuanto a la procedencia de la madera, las dimensiones y la calidad. Cada muestra proviene de una sola procedencia. Muestras diferentes de una misma procedencia tienen tamaño de sección distinto, y viceversa (ver apartado 4.2.1). En total, fueron consideradas 12 muestras, a partir de probetas de 5 procedencias distintas y 3 tamaños de sección. El número de probetas de cada muestra fue de al menos 40, según lo exigido en la norma EN 384.

4.11.2. Ensayos mecánicos y cálculo de valores característicos

Los ensayos mecánicos fueron realizados según la norma EN 408, de acuerdo con lo detallado en el apartado 4.9 del presente trabajo. A partir de los valores del módulo de elasticidad global, resistencia a flexión y densidad obtenidos fueron calculados los valores característicos requeridos para la asignación de clase resistente: $E_{0,medio}$, f_k y ρ_k.

4.11.2.1. Valor característico medio del módulo de elasticidad en flexión

El módulo de elasticidad considerado fue el módulo de elasticidad global, calculado según la ecuación correspondiente de la norma EN 408. Según la misma norma, esta ecuación ha de aplicarse tomando como valor de *G* (módulo de cortante) igual a infinito cuando el objetivo es la asignación de clase resistente.

El módulo de elasticidad requerido es el libre de cortante (módulo de elasticidad pura), por lo que no es aplicable el módulo de elasticidad global (*E*) directamente obtenido en los ensayos. La norma EN 384 establece la ecuación de corrección necesaria:

$$\bar{E} = \left[\sum E_i / n\right] 1,3 - 2,69 \qquad [4.18]$$

donde

E_i es i-esimo valor del módulo de elasticidad global desde 1 hasta n

n es el número de probetas de la muestra

Por otro lado, el valor individual de cada probeta fue corregido a la humedad de referencia del 12%, a razón de un 1% por cada variación del 1% de contenido de humedad, de forma que aumente si los datos son corregidos para un contenido de humedad mayor. Aquellas probetas con un contenido de humedad por encima del 18% fueron corregidas desde este valor, y no desde el contenido de humedad real, según lo definido en la norma EN 384.

Una vez corregidos los datos a las condiciones de referencia (efecto cortante y contenido de humedad), el valor característico final se calculó mediante la expresión establecida en la norma EN 384, la cual resulta la media ponderada por el tamaño de las muestras:

$$E_{o,medio} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j} \qquad [4.19]$$

donde

$\bar{E}_j$ es el valor medio del módulo de elasticidad de la muestra j (ecuación 4.17)

n_j es el número de probetas de la muestra j

4.11.2.2. Valor característico de la resistencia a flexión

El valor de la resistencia a flexión de cada probeta se calculó según lo detallado en el apartado 4.9.3 del presente trabajo. El valor característico del 5º percentil de la resistencia a flexión de cada muestra (f_{05}) se determinó de acuerdo con la norma EN 384 mediante método no paramétrico. Según esto, se debe obtener el valor f_{05} del percentil 5 clasificando todos los resultados de ensayo de una muestra en orden creciente. El quinto percentil es el valor por debajo del cual se encuentra el 5% de los resultados. Si este valor no se corresponde con un resultado de ensayo real se requiere la interpolación entre dos resultados de ensayo adyacentes.

Los valores de resistencia a flexión de cada muestra (f_{05}) fueron corregidos por las dimensiones de la sección transversal y la luz de ensayo, según la norma EN 384, dividiendo entre el factor k_h, para llevar los valores a un canto de referencia de 150 mm:

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \qquad [4.20]$$

donde

h es el canto nominal de las probetas cada muestra

El valor medio de la resistencia a flexión todas las muestras ($\overline{f}_{05}$) fue obtenido mediante la media ponderada de los valores corregidos de cada muestra (f_{05}). La norma EN 384 indica que en el caso de que 1,2 veces el menor valor de f_{05} fuera inferior al valor medio $\overline{f}_{05}$, debe ser redefinida la población para eliminar el valor menor o bien tomar como valor de $\overline{f}_{05}$ igual a 1,2 veces el menor de los valores de f_{05}.

Además, el valor de $\overline{f}_{05}$ fue corregido en función del tamaño de muestra y el tipo de clasificación (visual o mecánica), mediante los factores k_s y k_v:

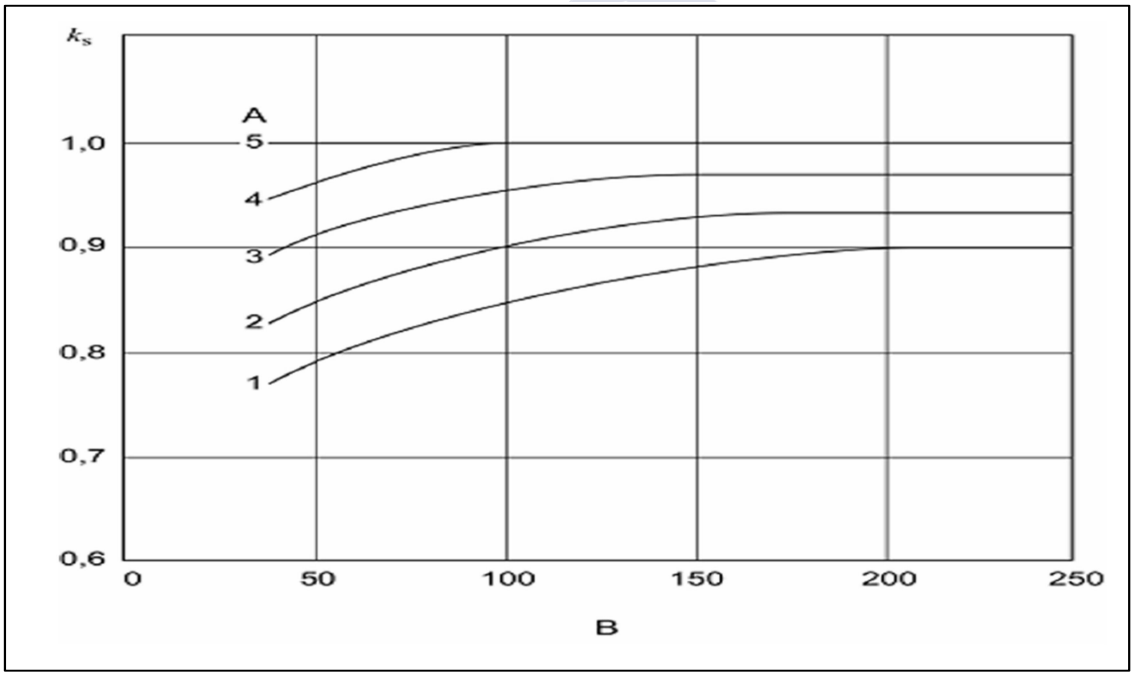


Figura 4.11.1. Gráfico para la determinación del factor ks. A: número de muestras; B: número de probetas en la muestra más pequeña

k_v toma un valor igual a 1 según lo establecido en la norma EN 384, por tratarse de muestras clasificadas visualmente y no mediante clasificación mecánica.

Así, el valor característico de la resistencia a flexión f_k fue calculado según la expresión:

$$f_k = \overline{f}_{05} \cdot k_s \cdot k_v \qquad [4.21]$$

4.11.2.3. Valor característico de la densidad

El valor de densidad fue calculado según lo detallado en el apartado 4.8 del presente trabajo, en lo relativo a la densidad denominada local, aplicando la corrección necesaria para corregir los valores al contenido de humedad de referencia del 12%. Así, la densidad media corregida al 12% Den_{Loc12} de cada muestra toma la definición ρ para el apartado de caracterización normativa.

Fueron calculados los valores del 5º percentil de la densidad de cada muestra (ρ_{05}) mediante una estimación no paramétrica. Finalmente, el valor característico de la densidad ρ_k fue calculado mediante la media ponderada del 5º percentil de cada muestra, según lo establecido en la norma EN 384:

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j} \qquad [4.22]$$

donde

ρ_{05} es el valor del 5º percentil de la densidad de la muestra j

n_j es el número de probetas de la muestra j

4.11.3. Asignación de clase resistente

Empleando como parámetros de entrada el valor característico medio del módulo de elasticidad en flexión ($E_{0,medio}$), el valor característico del 5º percentil de la resistencia a flexión (f_k) y el valor característico del 5º percentil de la densidad (ρ_k), fue asignada la clase resistente correspondiente según las definidas en la norma EN 338 (ver apartado 3.2.2 del presente trabajo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se detallan los resultados elaborados a partir de los datos obtenidos en el proceso de caracterización de la madera de castaño de procedencia española, la aplicación de técnicas no destructivas y el estudio de la normativa relacionada.

Se muestran, en primer lugar, los resultados referentes a las propiedades mecánicas, mediante el análisis estadístico de los datos y el estudio de la variabilidad de las mismas en función de la procedencia de la madera y el tamaño de la sección. Una vez analizadas las propiedades de forma independiente, se estudiaron las relaciones entre ellas, definiendo modelos de regresión explicativos de la correlación entre las variables y comparándolas, cuando proceda, con relaciones similares ya definidas en la normativa aplicable.

Una vez conocidas y evaluadas las propiedades mecánicas, se abordó el análisis y modificación o adaptación de la norma de clasificación visual vigente (UNE 56546) a la madera de castaño y sus características. De este modo, fueron definidos criterios de clasificación visual específicos para esta especie.

La amplia base de datos obtenida mediante ensayos experimentales no destructivos permitió evaluar diversos aspectos relativos a los equipos sónicos empleados, como la construcción de modelos predictivos para las propiedades mecánicas y su empleo en combinación con parámetros visuales para complementar y mejorar la objetividad de la clasificación.

Finalmente se detallan los resultados de la caracterización normativa, cuyo proceso metodológico y requisitos se detallan en el apartado 4.13, aportando las especificaciones de clasificación y los valores característicos que permitieron asignar una clase resistente.

5.1. Descriptivos de la muestra

5.1.1. Dimensiones

La tabla 5.1.1 indica el número de probetas y las dimensiones medias de cada muestra, entendiéndose por muestra el grupo de piezas de cada tamaño y procedencia. Las características de las muestras, sin similitudes en la combinación procedencia y tamaño de sección, cumplen con la definición de muestra establecida en la norma EN 384. Esta clasificación por el factor muestra permite el posterior proceso de caracterización normativa de las propiedades mecánicas (apartado 5.5).

Tabla 5.1.1. Número de piezas y dimensiones medias de cada muestra

Muestra	Código	Procedencia	n	*b* (mm)	*h* (mm)	*L* (mm)
1	AI	Asturias	166	39	98	2503
2	AII	Asturias	163	39	147	3501
3	AIII	Asturias	161	66	145	3506
4	EI	Extremadura	45	41	98	2516
5	EII	Extremadura	49	41	147	3519
6	LI	Castilla y León	49	39	98	2497
7	CI	Cataluña	63	40	101	2501
8	CII	Cataluña	61	40	150	3513
9	CIII	Cataluña	64	71	150	3505
10	GI	Galicia	49	40	100	2540
11	GII	Galicia	56	40	149	3542
12	GIII	Galicia	55	70	148	3667
		Total	**981**			

5.1.2. Contenido de humedad

La tabla 5.1.2 recoge el contenido de humedad medio de cada muestra, medido mediante xilohigrómetro H_{xil_sc} (EN 13183-2) y mediante secado en estufa H_{est} (EN 13183-1). El valor del contenido de humedad medido mediante xilohigrómetro fue corregido a partir de la calibración realizada, definiendo así la variable H_{xil_c}.

El contenido de humedad estimado mediante xilohigrómetro y el medido mediante secado en estufa no fueron realizados en el mismo momento y lugar, por lo cual no son variables comparables ni válidas para establecer una correlación entre ellas. La Figura 5.1.1. presenta un diagrama de barras para el contenido de humedad de la madera según los dos métodos de medición para cada muestra. El grado de precisión y la correlación entre la medición del contenido de humedad mediante métodos eléctricos y mediante secado en estufa fueron obtenidos a partir de la muestra independiente empleada en la calibración del xilohigrómetro (ver anexo I).

Tabla 5.1.2. Contenido de humedad de las muestras según medición con xilohigrómetro sin corregir (H_{xil_sc}), corregido (H_{xil_c}) y mediante secado en estufa (H_{est}).

		H_{xil_sc} (%)			H_{xil_c} (%)			H_{est} (%)		
Muestra	**n**	**Valor medio**	**min**	**max**	**Valor medio**	**min**	**max**	**Valor medio**	**min**	**max**
1	166	14,5	10,8	27,2	11,8	8,1	24,5	12,9	8,9	22,5
2	163	15,2	10,8	26,0	12,5	8,1	23,3	14,3	11,0	20,0
3	161	14,7	9,6	22,0	12,0	9,6	19,3	15,5	11,8	21,5
4	45	14,9	12,6	18,1	12,2	9,9	15,4	12,0	10,5	15,4
5	49	16,3	12,1	19,8	13,6	9,4	17,1	12,3	11,1	14,2
6	49	14,2	13,7	19,9	13,8	11,0	17,2	14,4	13,1	17,2
7	63	11,4	10,6	12,2	8,7	7,9	9,5	11,2	10,3	12,4
8	61	12,0	10,7	13,3	9,3	8,0	10,6	11,6	10,5	12,7
9	64	14,5	11,6	18,4	11,8	8,9	15,7	13,9	11,2	20,4
10	49	19,1	15,7	30,0	16,4	13,0	27,3	17,2	13,6	30,0
11	56	21,4	15,0	50,1	18,7	12,3	>30	20,1	14,5	41,7
12	55	23,4	15,6	57,9	20,7	12,9	>30	21,4	15,1	34,8

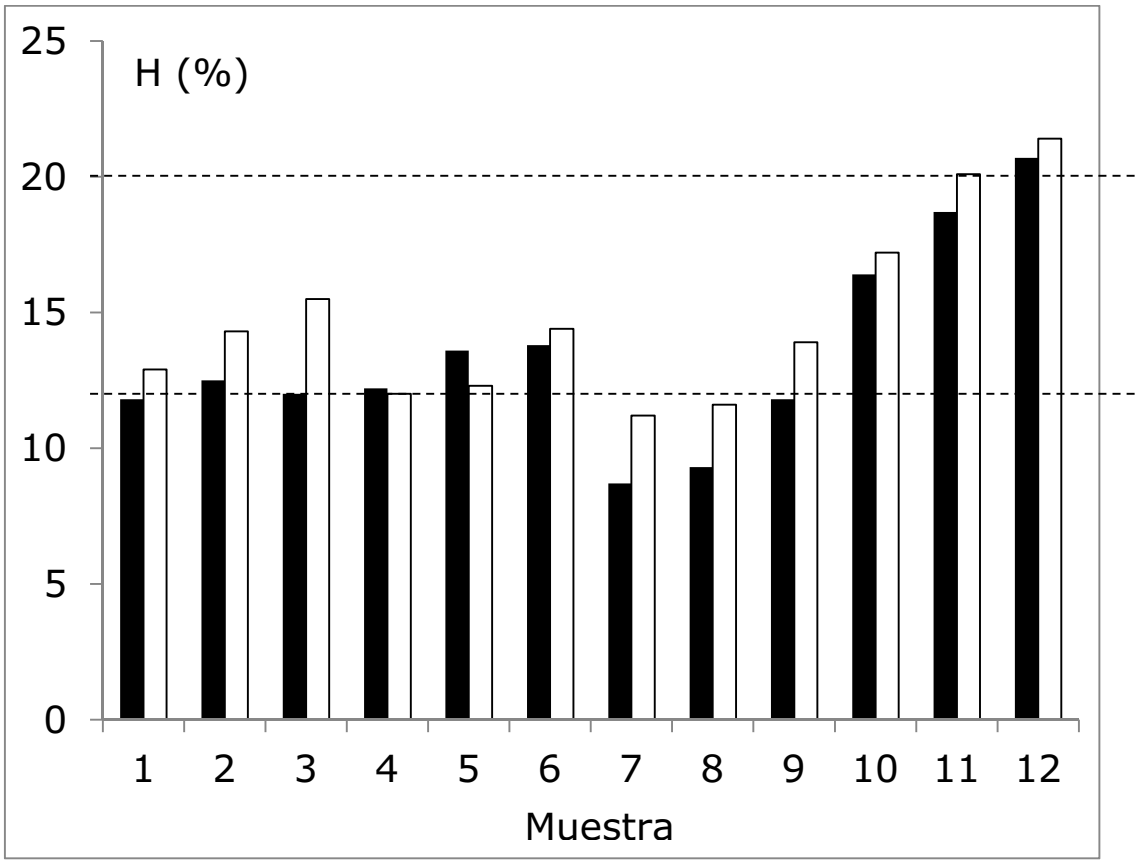


Figura 5.1.1. Contenido de humedad mediante xilohigrómetro H_{xil_c} (color negro) y mediante secado en estufa H_{est} (color blanco) por muestra

5.2. Propiedades mecánicas y densidad

5.2.1. Test de normalidad

Previamente al análisis estadístico de las propiedades mecánicas, fue realizado un test para comprobar el ajuste de la distribución de las diferentes variables a una distribución normal. Esta comprobación fue realizada para los subgrupos clasificados por procedencia, para los subgrupos clasificados según la sección de la probeta y para el conjunto de todas las muestras. Los resultados obtenidos a través de la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) se muestran en las tablas 5.2.1 - 5.2.3.

Tabla 5.2.1. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c}), por procedencia

		Den_{Glo12}	Den_{Loc12}	E_{glo12}	E_{loc12}	f_m	f_{m_c}
Asturias							
Parámetros normales	Media	586,308	585,42	12,70	11,60	49,05	47,85
	Desviación típica	46,8305	48,30	1,94	1,53	13,60	14,20
Diferencias más extremas	Absoluta	0,050	0,027	0,050	0,032	0,034	0,032
	Positiva	0,050	0,027	0,050	0,032	0,034	0,032
	Negativa	-0,027	-0,016	-0,036	-0,024	-0,024	-0,029
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,099	0,605	1,107	0,706	0,749	0,697
Sig. asintót. (bilateral)		**0,179**	**0,858**	**0,173**	**0,701**	**0,629**	**0,716**
Extremadura							
Parámetros normales	Media	589,872	610,68	13,84	12,61	55,40	52,83
	Desviación típica	40,7085	45,75	2,00	1,56	15,19	15,82
Diferencias más extremas	Absoluta	0,055	0,065	0,092	0,054	0,044	0,048
	Positiva	0,055	0,065	0,047	0,043	0,036	0,048
	Negativa	-0,041	-0,052	-0,092	-0,054	-0,044	-0,040
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,534	0,629	0,894	0,523	0,425	0,464
Sig. asintót. (bilateral)		**0,938**	**0,824**	**0,402**	**0,947**	**0,994**	**0,982**
Castilla y León							
Parámetros normales	Media	613,49	621,93	11,64	10,77	53,35	52,00
	Desviación típica	43,3996	46,61	1,63	1,49	12,80	13,04
Diferencias más extremas	Absoluta	0,120	0,077	0,110	0,049	0,078	0,080
	Positiva	0,120	0,077	0,110	0,049	0,058	0,067
	Negativa	-0,071	-0,064	-0,087	-0,041	-0,078	-0,080
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,843	0,441	0,634	0,346	0,544	0,559
Sig. asintót. (bilateral)		**0,475**	**0,990**	**0,816**	**1,000**	**0,928**	**0,914**
Cataluña							
Parámetros normales	Media	569,903	565,13	13,12	11,66	49,20	47,73
	Desviación típica	29,9675	35,13	1,98	1,55	13,77	14,38
Diferencias más extremas	Absoluta	0,036	0,043	0,078	0,067	0,055	0,061
	Positiva	0,036	0,043	0,078	0,067	0,045	0,049
	Negativa	-0,034	-0,031	-0,043	-0,046	-0,055	-0,061
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,500	0,594	1,070	0,912	0,755	0,839
Sig. asintót. (bilateral)		**0,964**	**0,872**	**0,202**	**0,376**	**0,618**	**0,482**
Galicia							
Parámetros normales	Media	582,015	575,01	9,81	10,02	40,76	39,57
	Desviación típica	47,9157	43,65	2,13	1,60	10,32	10,69
Diferencias más extremas	Absoluta	0,050	0,041	0,047	0,043	0,049	0,054
	Positiva	0,050	0,041	0,047	0,043	0,044	0,054
	Negativa	-0,035	-0,024	-0,032	-0,023	-0,049	-0,044
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,632	0,521	0,597	0,545	0,621	0,687
Sig. asintót. (bilateral)		**0,820**	**0,949**	**0,868**	**0,928**	**0,836**	**0,733**

Tabla 5.2.2. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c}), por tamaño de sección

		Den_{Glo12}	Den_{Loc12}	E_{loc12}	E_{glo12}	f_m	$f_{m\ c}$
Sección I							
Parámetros normales	Media	586,308	588,73	12,56	11,43	54,30	52,76
	Desviación típica	46,6364	51,47	2,18	1,66	14,81	15,34
Diferencias más extremas	Absoluta	0,040	0,043	0,036	0,037	0,029	0,031
	Positiva	0,040	0,043	0,036	0,037	0,029	0,031
	Negativa	-0,029	-0,019	-0,028	-0,030	-0,024	-0,023
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,770	0,807	0,681	0,708	0,557	0,599
Sig. asintót. (bilateral)		**0,594**	**0,532**	**0,743**	**0,698**	**0,916**	**0,866**
Sección II							
Parámetros normales	Media	580,94	584,42	12,46	11,40	45,38	44,243
	Desviación típica	39,17	44,69	2,32	1,78	12,14	12,39
Diferencias más extremas	Absoluta	0,037	0,046	0,019	0,038	0,035	0,042
	Positiva	0,036	0,046	0,019	0,038	0,035	0,042
	Negativa	-0,037	-0,027	-0,015	-0,022	-0,026	-0,023
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,675	0,832	0,349	0,685	0,642	0,767
Sig. asintót. (bilateral)		**0,753**	**0,493**	**1,000**	**0,736**	**0,804**	**0,599**
Sección III							
Parámetros normales	Media	585,098	575,59	12,04	11,41	44,64	43,17
	Desviación típica	47,1748	42,78	2,45	1,66	11,68	12,55
Diferencias más extremas	Absoluta	0,076	0,064	0,076	0,053	0,065	0,065
	Positiva	0,076	0,064	0,042	0,029	0,053	0,050
	Negativa	-0,054	-0,045	-0,076	-0,053	-0,065	-0,065
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,272	1,067	1,266	,879	1,084	1,084
Sig. asintót. (bilateral)		**0,079**	**0,205**	**0,081**	**0,423**	**0,190**	**0,190**

Tabla 5.2.3. Test de normalidad de las variables densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c}), para todas las probetas

Todas las procedencias y secciones							
		Den_{Glo12}	Den_{Loc12}	E_{glo12}	E_{loc12}	f_m	$f_{m\ c}$
Parámetros normales	Media	584,16	583,45	12,38	11,41	48,55	47,16
	Desviación típica	44,45	47,05	2,32	1,70	13,84	14,31
Diferencias más extremas	Absoluta	0,042	0,031	0,023	0,019	0,028	0,030
	Positiva	0,042	0,031	0,013	0,019	0,028	0,030
	Negativa	-0,023	-0,017	-0,023	-0,015	-0,019	-0,026
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,319	0,955	0,723	0,610	0,880	0,948
Sig. asintót. (bilateral)		**0,062**	**0,321**	**0,673**	**0,851**	**0,422**	**0,331**

Tanto las pruebas de contraste de la normalidad (con todos los valores de significación del estadístico *F* en la prueba de *K-S* por encima de 0,05) como las comprobaciones gráficas mediante histogramas permiten aceptar que todas las variables analizadas se ajustan a una distribución normal, requisito para la fiabilidad de los análisis de varianza y otros procedimientos estadísticos.

Las figuras 5.2.1 a 5.2.6 muestran los histogramas de frecuencias de las variables densidad global (Den_{Glo12}), densidad local (Den_{Loc12}), módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}), resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c}), considerando todos los datos de la población.

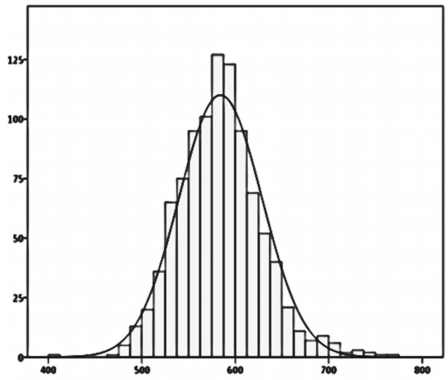


Figura 5.2.1. Histograma de frecuencias de la variable densidad global (Den_{Glo12})

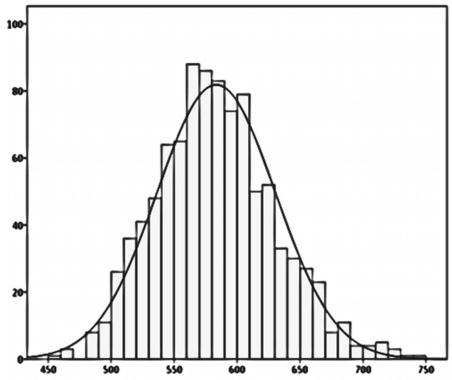


Figura 5.2.2. Histograma de frecuencias de la variable densidad local (Den_{Loc12})

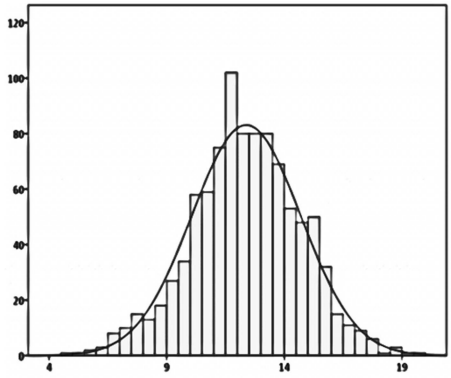


Figura 5.2.3. Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12})

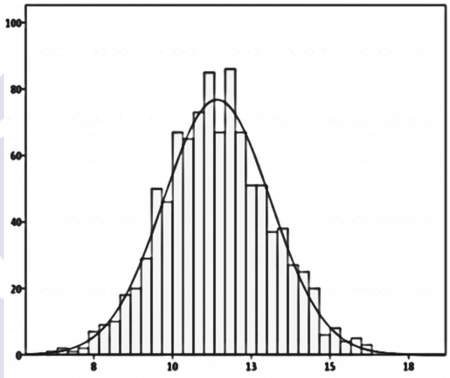


Figura 5.2.4. Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global (E_{glo12})

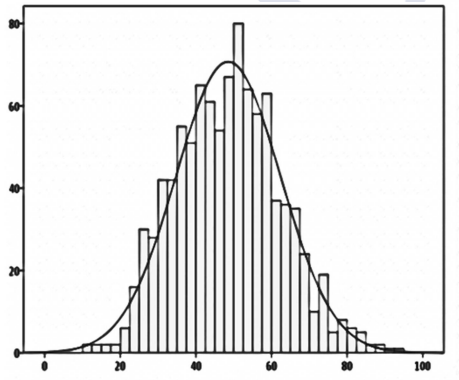


Figura 5.2.5. Histograma de frecuencias de la variable resistencia a flexión (f_m)

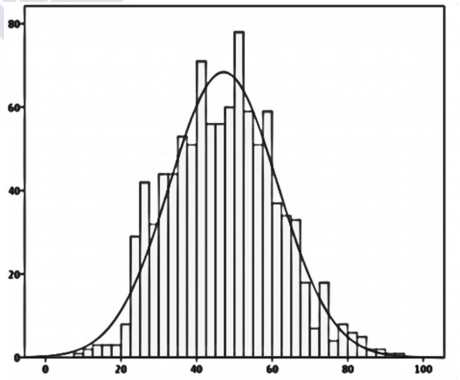


Figura 5.2.6 Histograma de frecuencias de la variable resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c})

5.2.2. Módulo de elasticidad

La tabla 5.2.4 muestra los estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) referentes a todo el conjunto de piezas ensayadas. Si bien la variable necesaria para la caracterización estrictamente normativa es el módulo de elasticidad global (mediante la aplicación de la relación establecida en la norma EN 384), fueron analizados del mismo modo los valores del módulo de elasticidad local. La relación entre ambas variables se detalla en el apartado 5.2.6.

Tabla 5.2.4 Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) para el conjunto de todas las probetas

	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V.
E_{loc12}	965	12,38	0,07	4,61	19,79	2,32	18,74
E_{glo12}	981	11,41	0,05	6,01	16,25	1,70	14,90

5.2.2.2. Análisis de varianza

Se realizó un análisis de varianza para comprobar la influencia de los factores procedencia y sección en la variabilidad de los resultados. La tabla 5.2.5 muestra los resultados de estos análisis de varianza, indicando la significación del factor procedencia, del factor sección y el factor interacción procedencia-sección. El valor de R^2 indica el porcentaje de la varianza explicado por la influencia de estos tres factores.

Tabla 5.2.5 Análisis de varianza de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección

E_{loc12}					
	S. de cuadrados	**G. de libertad**	**M. cuadrática**	**F**	**Sig.**
Modelo corregido	2241,72	11	203,79	58,37	0,00
Intersección	84401,42	1	84401,42	24175,14	0,00
Procedencia	1754,13	4	438,53	125,61	**0,00****
Sección	75,39	2	37,69	10,80	**0,02***
Proc*Sección	334,80	5	66,96	19,18	**0,00****
Error	3327,16	953	3,49		
Total	147619,29	965			
Total corregida	5568,88	964			
R^2=0,403					

E_{glo12}					
	S. de cuadrados	**G. de libertad**	**M. cuadrática**	**F**	**Sig.**
Modelo corregido	912,481	11	82,95	38,15	0,000
Intersección	82866,103	1	82866,10	38118,45	0,000
Procedencia	726,720	4	181,68	83,57	**0,000****
Sección	2,876	2	1,44	0,66	**0,516**
Proc*Sección	160,019	5	32,00	14,72	**0,000****
Error	2104,345	968	2,17		
Total	125863,040	980			
Total corregida	3016,826	979			
R^2=0,302					

**Significativo al 95%; **Significativo al 99%*

El análisis de varianza muestra la clara influencia de la procedencia en la variabilidad de ambos módulos de elasticidad, significativa al 99%. La influencia del tamaño de sección, sin embargo, únicamente resultó significativa para el módulo de elasticidad local (al 95%), resultando no significativo para el global.

5.2.2.3. Análisis por sección y procedencia

Los resultados de los análisis de varianza de las variables módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) en función del tamaño de sección se muestran en las tablas 5.2.6 y 5.2.7:

Tabla 5.2.6 Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por sección

	Sección	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
E_{loc12}	I (40x100 mm)	356	12,56[a]	0,12	6,18	19,79	2,18	17,36
	II (40x150 mm)	329	12,46[ab]	0,13	6,63	18,84	2,32	18,62
	III (70x150 mm)	280	12,04[b]	0,15	4,61	19,19	2,45	20,35

Tabla 5.2.7 Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por sección

	Sección	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
E_{glo12}	I (40x100 mm)	372	11,43[a]	0,09	7,52	16,11	1,66	14,52
	II (40x150 mm)	329	11,40[a]	0,10	6,94	16,14	1,78	15,61
	III (70x150 mm)	280	11,41[a]	0,10	6,01	16,25	1,66	14,55

Si bien existen ciertas diferencias entre los valores del módulo de elasticidad local, no se observa una tendencia clara. El análisis de estos valores, junto con el análisis de varianza global, permite concluir que no existen diferencias en el módulo de elasticidad en función del tamaño de la sección.

Los resultados de los análisis de varianza de las variables módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) en función de la procedencia se muestran en las tablas 5.2.8 y 5.2.9:

Tabla 5.2.8. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas

	Procedencia	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
E_{loc12}	Asturias	490	12,70[a]	0,09	7,21	19,79	1,94	15,28
	Extremadura	94	13,84[b]	0,21	6,92	17,68	2,00	14,45
	Castilla y León	33	11,64[c]	0,28	7,94	16,19	1,63	14,00
	Cataluña	188	13,12[d]	0,14	8,81	19,19	1,98	15,09
	Galicia	160	9,81[e]	0,17	4,61	15,60	2,13	21,71

Tabla 5.2.9. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas

	Procedencia	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
E_{glo12}	Asturias	490	11,60[a]	0,07	7,41	16,14	1,53	13,19
	Extremadura	94	12,61[b]	0,16	8,27	15,93	1,56	12,37
	Castilla y León	49	10,77[c]	0,21	7,90	14,25	1,49	13,83
	Cataluña	187	11,66[a]	0,11	7,97	16,25	1,55	13,29
	Galicia	160	10,03[d]	0,13	6,01	14,11	1,60	15,95

Se observa cómo, tanto para el módulo de elasticidad local como global, la procedencia Extremadura muestra un valor de módulo de elasticidad ligeramente superior al resto de procedencias, mientras que Galicia muestra el más bajo.

Dado que únicamente las procedencias de Asturias, Cataluña y Galicia presentan probetas de todas las secciones (I, II y III), se analizaron estos casos de forma independiente:

Tabla 5.2.10. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad local (E_{loc12}) y global (E_{glo12}) por sección para las procedencias Asturias, Cataluña y Galicia.

Sección	Procedencia	N	E_{loc12} (kN/mm²)	C.V. (%)	E_{glo12} (kN/mm²)	C.V. (%)
I (40x100 mm)	Asturias	166	13,27[a]	15,20	12,01[a]	12,43
	Cataluña	63	11,96[c]	11,50	10,65[c]	9,92
	Galicia	49	10,28[d]	16,71	9,89[d]	11,72
II (40x150 mm)	Asturias	166	12,23[a]	16,55	11,21[a]	14,79
	Cataluña	63	13,85[b]	14,41	12,22[b]	12,55
	Galicia	49	10,52[c]	21,16	10,11[c]	14,91
III (70x150 mm)	Asturias	166	12,59[a]	12,75	11,57[a]	11,40
	Cataluña	63	13,57[b]	14,52	12,14[b]	12,27
	Galicia	49	8,68[c]	21,89	10,07[c]	19,86

Se observa como Cataluña muestra los valores significativamente más altos (excepto en la sección I) y Galicia los más bajos. Estos valores de la procedencia Galicia coinciden con los presentes en el trabajo de Méndez (1996) y Vázquez de Parga *et al*. (1997), donde se indican valores medios de 10,98 kN/mm^2 en el módulo de elasticidad de piezas de castaño gallego de 50x100 mm de sección.

Las figuras 5.2.7 y 5.2.8 muestran los diagramas de cajas de los análisis de varianza del módulo de elasticidad local y global, respectivamente, con los datos segregados por procedencia y sección.

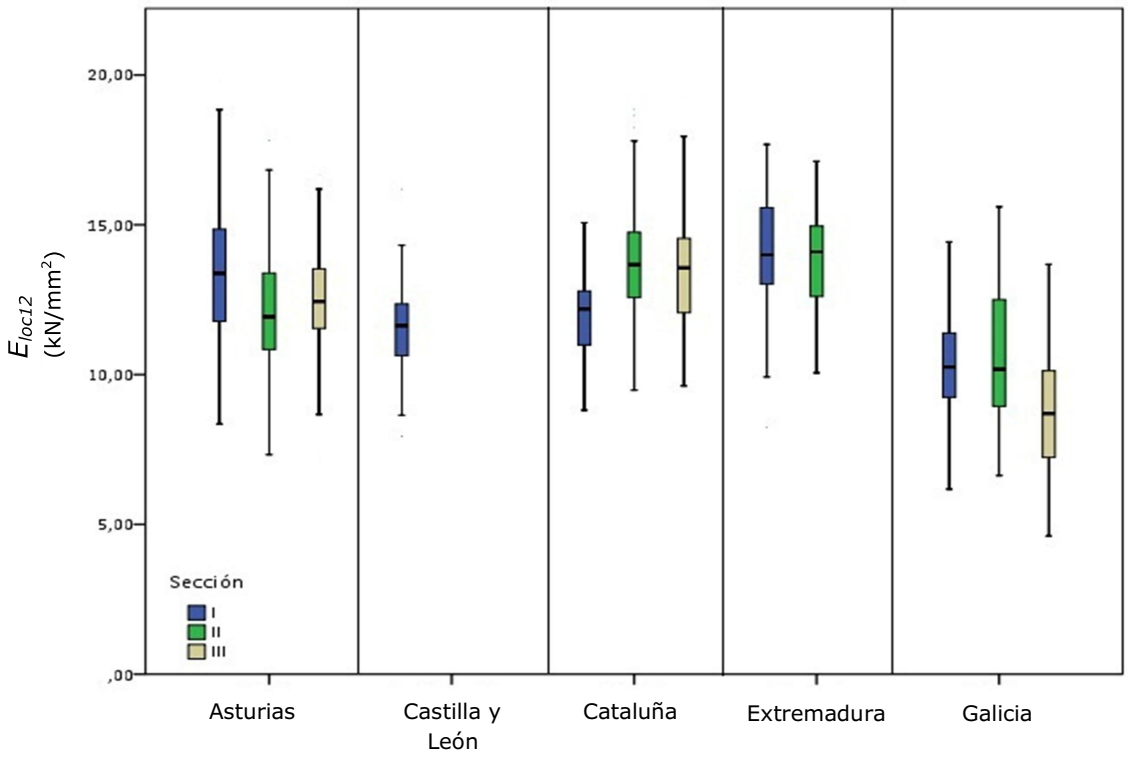


Figura 5.2.7. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad local (E_{loc12}) por sección y procedencia

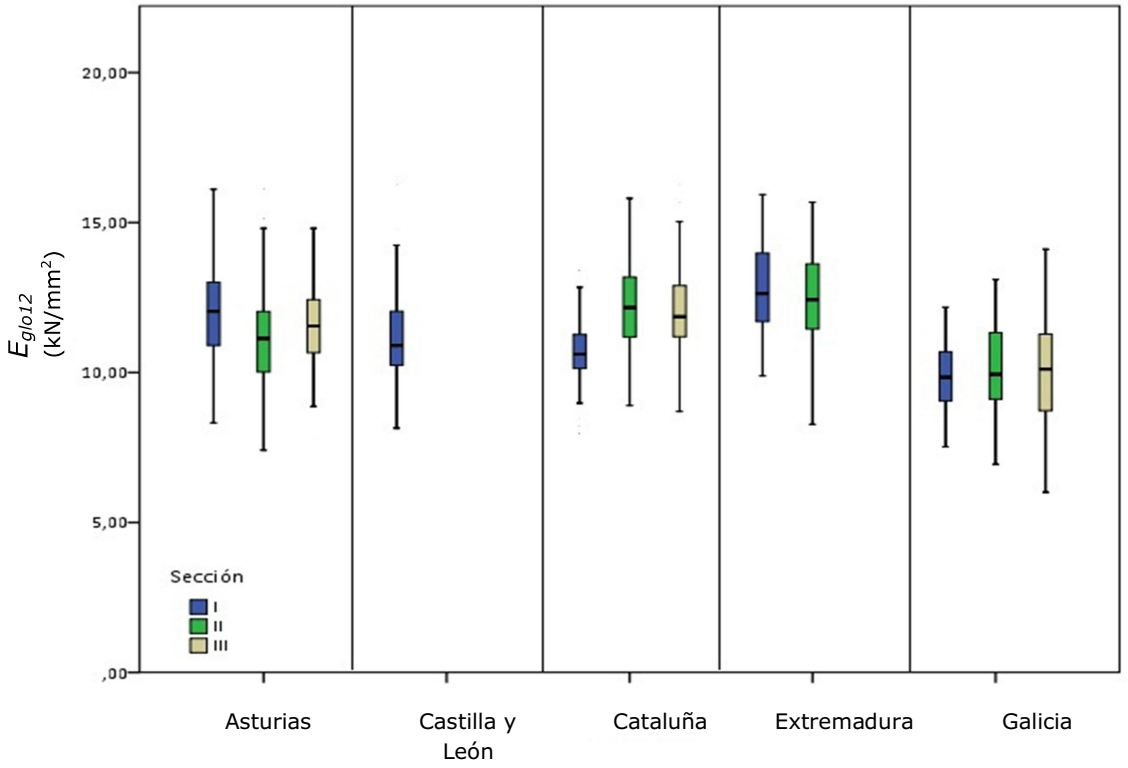


Figura 5.2.8. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad global (E_{glo12}) por sección y procedencia

5.2.3. Módulo de elasticidad transversal

Las tablas 5.2.11 y 5.2.12 muestran los resultados obtenidos para la variable módulo de elasticidad transversal (*G*), por procedencia y tamaño de sección.

Tabla 5.2.11. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad transversal (*G*) por procedencia

	Procedencia	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
	Asturias	381	1,23[a]	0,016	0,71	3,49	0,309	25,12
G	Extremadura	94	1,11[b]	0,022	0,75	1,78	0,211	19,01
	Castilla y León	33	1,17[b]	0,047	0,77	1,94	0,270	23,08
	Cataluña	126	1,36[c]	0,029	0,80	2,96	0,322	23,68

Tabla 5.2.12. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad transversal (*G*) por sección

	Sección	N	Valor medio (kN/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
	I (40x100 mm)	217	1,20[a]	0,018	0,75	2,65	0,272	22,67
G	II (40x150 mm)	195	1,17[a]	0,021	0,64	3,49	0,299	25,56
	III (70x150 mm)	222	1,33[b]	0,022	0,80	2,96	0,322	24,21

Los resultados muestran valores significativamente mayores en el módulo de elasticidad transversal en las probetas de las procedencias Asturias y Galicia y en las de tamaño de sección III.

En el apartado 5.2.6 se estudian la relación entre el módulo de elasticidad paralelo a la fibra (E_{loc12}) y el módulo de elasticidad transversal (*G*). Esta relación se encuentra definida de forma genérica en la norma EN 384, por lo que resulta especialmente importante el estudio de su adecuación a las propiedades reales de la madera de castaño.

5.2.4. Resistencia a flexión

La tabla 5.2.13 muestra los valores de las variables f_m y f_{m_c} para todo el conjunto de las muestras ensayadas. La variable empleada para los análisis referentes a cuestiones normativas (apartados 4.13 y 5.5) fue la resistencia a flexión (f_m). Sin embargo, para el análisis estadístico de las propiedades mecánicas fue considerada también la variable f_{m_c}, más adecuada al estar calculada en función del punto de rotura real (y no asumiendo que ésta siempre se produce dentro del tercio central).

Tabla 5.2.13. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) para el conjunto de todas las probetas

	N	Valor medio (N/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
f_m	981	48,55	0,44	10,55	94,70	13,84	28,51
$f_{m\ c}$	981	47,16	0,46	8,45	94,70	14,31	30,34

5.2.4.1. Análisis de varianza

Al igual que con el módulo de elasticidad, fue realizado un análisis de varianza para detectar diferencias significativas según los factores procedencia, sección e interacción procedencia-sección.

Tabla 5.2.14. Análisis de varianza de la variable resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección

f_m					
	S. de cuadrados	**G. de libertad**	**M. cuadrática**	**F**	**Sig.**
Modelo corregido	34243,448	11	3113,041	19,66	0,000
Intersección	1551039,384	1	1551039	9798	0,000
Procedencia	12064,871	4	3016	19,05	**0,000****
Sección	9871,519	2	4935	31,18	**0,000****
Proc* Sección	2388,412	5	477,682	3,018	**0,014***
Error	153392,247	969	158,300		
Total	2500173,531	981			
Total corregida	187635,695	980			
R^2=0,182					
f_{m_c}					
	S. de cuadrados	**G. de libertad**	**M. cuadrática**	**F**	**Sig.**
Modelo corregido	31553,404	11	2868,491	16,4	0,000
Intersección	1454112,807	1	1454112,807	833	0,000
Procedencia	10562,891	4	2640,723	15,1	**0,000****
Sección	8856,587	2	4428,293	25,3	**0,000****
Proc* Sección	2175,457	5	435,091	2,49	**0,030***
Error	169018,907	969	174,426		
Total	2382549,904	981			
Total corregida	200572,311	980			
R^2=0,157					

**Significativo al 95%; **Significativo al 99%*

Se observa como para las variables de resistencia a flexión, tanto la procedencia como el tamaño de sección tienen una influencia significativa en la variabilidad de los datos.

5.2.4.2. Análisis por sección y procedencia

Los resultados de los análisis de varianza de las variables resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) se muestran en las tablas 5.2.15 – 5.2.16, referentes a las diferencias por tamaño de sección.

Tabla 5.2.15. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) por sección

	Sección	**N**	**Valor medio (N/mm²)**	**Error típico**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desv. típ.**	**C.V. (%)**
f_m	I (40x100 mm)	372	54,30[a]	0,77	10,55	94,70	14,81	27,28
	II (40x150 mm)	329	45,38[b]	0,67	14,72	82,10	12,14	26,74
	III (70x150 mm)	280	44,64[b]	0,70	14,77	70,71	11,68	26,17

Tabla 5.2.16. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por sección

	Sección	**N**	**Valor medio (N/mm²)**	**Error típico**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desv. típ.**	**C.V. (%)**
f_{m_c}	I (40x100 mm)	372	52,76[a]	0,80	8,45	94,70	15,34	29,08
	II (40x150 mm)	329	44,24[b]	0,68	14,72	82,10	12,39	28,00
	III (70x150 mm)	280	43,17[b]	0,75	11,97	70,71	12,55	29,08

Los análisis muestran diferencias significativas en el valor de la resistencia a flexión (tanto f_m como f_{m_c}) según el tamaño de sección. Las piezas de sección menor (sección I) contaron con valores medios de resistencia a flexión significativamente superiores a las secciones mayores.

Esta tendencia se ajusta a las teorías según las cuales la resistencia disminuye a medida que aumenta el tamaño de la pieza (ver apartado 3.3.1). Ante la generalización que el factor k_h de la norma EN 384 supone (ecuación 5.1), resulta necesario el planteamiento del análisis del efecto del tamaño en la resistencia de la madera de castaño, máxime teniendo en cuenta que al tratarse de una frondosa cuenta con características claramente diferenciadas de las coníferas.

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \qquad [5.1]$$

Aunque la norma EN 384 sólo considera la influencia de la altura de la sección de la probeta en la resistencia a flexión, se llevó a cabo un análisis del efecto no sólo de la altura (h) sino también del canto (b) de la sección en el valor del quinto percentil de la resistencia a flexión (f_{05}). Para ello, se aplicó el modelo de regresión no lineal empleado por Fernández-Golfín *et al*. (2002) basado en el trabajo de Rouger y Fewell (1994), considerando una altura de referencia de 150 mm y un canto de 50 mm:

$$f_{05} = A \cdot \left(\frac{150}{h}\right)^{B} \cdot \left(\frac{50}{b}\right)^{C} \qquad [5.2]$$

Los parámetros obtenidos en la regresión fueron los siguientes: A = 26,76, B = 0,480 y C = 0,064, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,731. Los tres parámetros resultaron significativos.

El parámetro C relacionado con el valor de b resultó significativo, lo cual indica cierta influencia en el valor de resistencia. Además, el valor del parámetro B, relacionado con la altura de la sección h, toma valores muy superiores para el castaño (B=0,48) al indicado en la expresión genérica de la norma EN 384 (B=0,2).

Debe tenerse en cuenta que estos valores fueron calculados a partir únicamente de tres tamaños de sección diferentes (40x100 mm, 40x150 mm y 70x150 mm) por lo que deben ser tomados como un orden de magnitud y no como valores definitivos, siendo necesaria la inclusión en el análisis de un mayor número de tamaños de sección diferentes para aumentar la fiabilidad y representatividad de los modelos.

A continuación se muestran los resultados de los análisis de varianza de las variables resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) en función de la procedencia (Tablas 5.2.17 y 5.2.18):

Tabla 5.2.17. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de la resistencia a flexión (f_m) por procedencia para el conjunto de todas las probetas

	Procedencia	N	Valor medio (N/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
f_m	Asturias	490	49,05[a]	0,61	12,02	94,70	13,60	27,73
	Extremadura	94	55,40[b]	1,57	22,13	89,82	15,19	27,43
	Castilla y León	49	53,35[b]	1,83	24,92	80,58	12,80	23,99
	Cataluña	188	49,20[a]	1,00	10,55	83,97	13,77	27,99
	Galicia	160	40,76[c]	0,82	18,12	65,71	10,32	25,32

Tabla 5.2.18. Valores medios y estadísticos descriptivos del módulo de la resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por procedencia para el conjunto de todas las probetas

	Procedencia	N	Valor medio (N/mm²)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
f_{m_c}	Asturias	490	47,85[a]	0,64	12,02	94,70	14,20	29,67
	Extremadura	94	52,83[b]	1,63	22,13	89,82	15,82	29,95
	Castilla y León	49	52,00[b]	1,86	24,92	80,58	13,04	25,08
	Cataluña	188	47,73[a]	1,05	8,45	83,97	14,38	30,13
	Galicia	160	39,57[c]	0,85	18,12	65,71	10,69	27,02

La procedencia Extremadura mostró valores significativamente superiores al resto de procedencias en los tamaños de sección en los que tenía representación (I y II), mientras que Galicia cuenta con los valores menores en todas las secciones.

La tabla 5.2.19 muestra los valores de f_m y f_{m_c} para las procedencias presentes en las tres secciones estudiadas:

Tabla 5.2.19. Valores medios y estadísticos descriptivos de la resistencia a flexión (f_m) y resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por sección para las procedencias Asturias, Cataluña y Galicia.

Sección	Procedencia	N	f_m (N/mm²)	C.V. (%)	f_{m_c} (N/mm²)	C.V. (%)
I (40x100 mm)	Asturias	166	56,52[ab]	26,85	55,37[a]	28,57
	Cataluña	63	51,50[c]	28,61	50,62[b]	29,34
	Galicia	49	45,52[d]	22,39	43,74[d]	25,22
II (40x150 mm)	Asturias	163	44,49[a]	22,94	43,49[a]	23,74
	Cataluña	61	48,96[b]	30,29	47,58[b]	31,80
	Galicia	56	39,51[c]	24,35	38,39[c]	26,50
III (70x150 mm)	Asturias	161	45,99[a]	25,17	44,51[a]	28,51
	Cataluña	64	47,15[a]	24,18	45,04[b]	28,35
	Galicia	55	37,79[b]	25,90	37,05[b]	26,90

De estas tres procedencias, Cataluña mostró los mejores valores de resistencia (salvo en la sección I), siendo la procedencia Galicia la que contó con los valores más bajos en las tres secciones estudiadas.

Las figuras 5.2.9 y 5.2.10 muestran los diagramas de cajas de los análisis de varianza de la resistencia a flexión y la resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central, respectivamente, con los datos segregados por procedencia y sección.

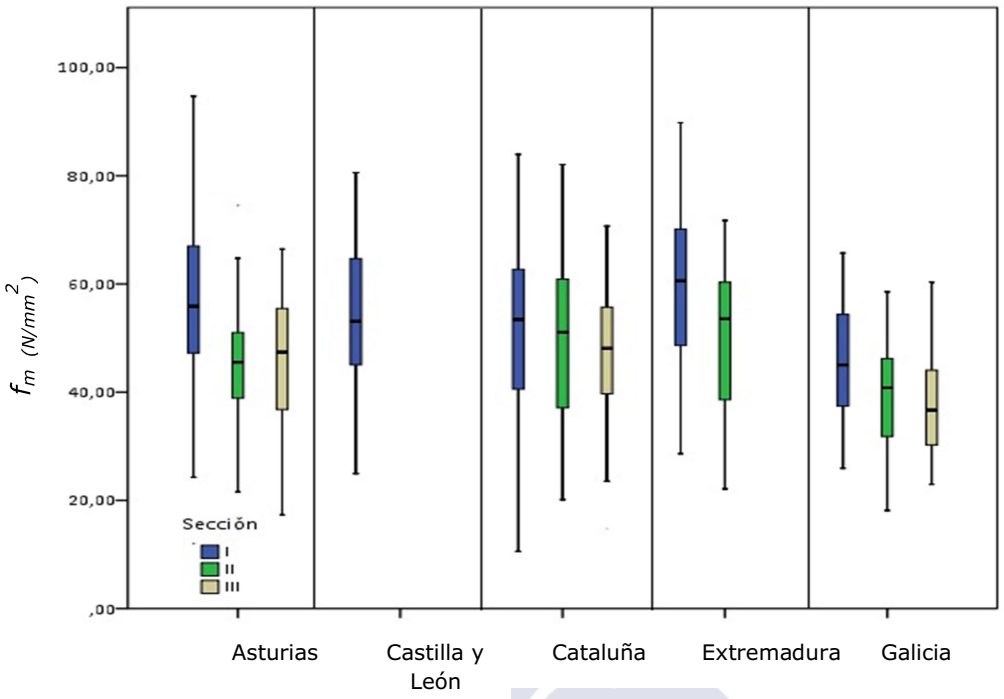


Figura 5.2.9. Diagrama de cajas de la variable resistencia a flexión (f_m) por sección y procedencia

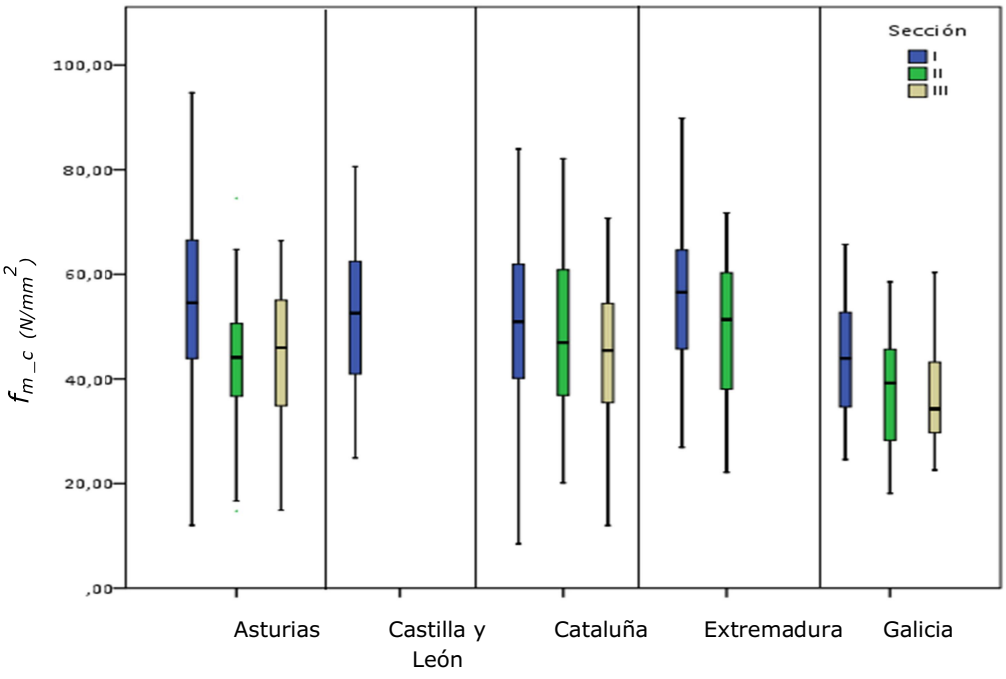


Figura 5.2.10. Diagrama de cajas de la variable resistencia a flexión corregida (f_{m_c}) por sección y procedencia

5.2.5. Densidad

La tabla 5.2.20 muestra los valores de las variables Den_{Loc12} y Den_{Glo12} para todo el conjunto de las muestras ensayadas. La variable empleada para los análisis referentes a cuestiones normativas (apartados 4.13 y 5.5) fue la densidad local (Den_{Loc}). La variable de densidad global fue incluida en los análisis debido a la necesidad de establecer correlación entre ambas variables y a su importancia en los resultados de las técnicas no destructivas (apartado 5.4).

Tabla 5.2.20. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) y densidad local (Den_{Loc12}) para el conjunto de todas las muestras

	N	Valor medio (kg/m³)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
Den$_{Glo12}$	981	584,16	1,42	410,03	766,90	44,45	7,61
Den$_{Loc12}$	965	583,45	1,51	457,54	744,62	47,05	8,06

Se observa como los valores medios de densidad global y local apenas difieren en un 0,12%. Este hecho hace pensar en la validez de la medición del módulo de elasticidad global (más sencilla) como estimador fiable de la densidad local. La relación entre ambas variables se detalla en el apartado 5.2.6.

5.2.5.1. Análisis de varianza

La tabla 5.2.21 muestra en análisis de varianza realizado para las variables Den_{Glo12} y Den_{Loc12} para los factores procedencia, sección y la interacción procedencia-sección:

Tabla 5.2.21. Análisis de varianza de la variable densidad global (Den_{Glo12}) y local (Den_{Loc12}) para el factor procedencia, el factor sección y la interacción procedencia-sección

	Den$_{Glo12}$				
	Suma de cuadrados	**Grados de libertad**	**Media cuadrática**	**F**	**Sig.**
Modelo corregido	124670,639	11	11333,694	6,062	0,000
Intersección	228408341,736	1	228408341,736	122166,932	0,000
Procedencia	88175,327	4	22043,832	11,790	**0,000****
Sección	8301,519	2	4150,759	2,220	**0,109**
Procedencia * Sección	33134,290	5	6626,858	3,544	**0,004****
Error	1811682,421	969	1869,641		
Total corregida	1936353,060	980			
R^2=0,064					
	Den$_{Loc12}$				
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	223887,463	11	20353,406	10,156	0,000
Intersección	204606753,2	1	204606753,263	102094,71	0,000
Procedencia	175657,821	4	43914,455	21,912	**0,000****
Sección	1745,621	2	872,811	,436	**0,647**
Procedencia * Sección	24573,527	5	4914,705	2,452	**0,032***
Error	1909895,454	953	2004,088		
Total corregida	2133782,916	964			
R^2=0,105					

**Significativo al 95%; **Significativo al 99%*

5.2.5.2. Análisis por sección y procedencia

Los resultados de los análisis de varianza de las variables densidad local (Den_{Loc12}) y densidad global (Den_{Glo12}) por tamaño de sección se muestran en las tablas 5.2.22 y 5.2.23.

Tabla 5.2.22. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) por sección

	Sección	N	Valor medio (kg/m³)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
Den_{Glo12}	I (40x100 mm)	372	586,31[a]	2,42	410,03	708,63	46,64	7,95
	II (40x150 mm)	329	580,94[a]	2,16	478,24	735,03	39,17	6,74
	III (70x150 mm)	280	585,10[a]	2,82	487,06	766,90	47,17	8,06

Tabla 5.2.23. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad local (Den_{Loc12}) por sección

	Sección	N	Valor medio (kg/m³)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
Den_{Loc12}	I (40x100 mm)	356	588,73[a]	2,73	457,54	744,62	51,47	8,74
	II (40x150 mm)	329	584,42[a]	2,46	480,48	711,46	44,69	7,65
	III (70x150 mm)	280	575,59[a]	2,56	464,48	733,50	42,78	7,43

Como ya se observaba en la tabla 5.2.21, no existe una influencia significativa del tamaño de sección sobre las variables de densidad. Obviamente, este es un resultado esperado debido a la ausencia de relación entre la densidad de la madera y el tamaño de las piezas estructurales después de la transformación industrial.

Las tablas 5.2.24 y 5.2.25 muestran los resultados de los análisis de varianza de las variables densidad local (Den_{Loc12}) y densidad global (Den_{Glo12}) en función de la procedencia:

Tabla 5.2.24. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad global (Den_{Glo12}) por procedencia

	Procedencia	N	Valor medio (kg/m³)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
Den_{Glo12}	Asturias	490	586,31[a]	2,12	478,24	766,90	46,83	7,99
	Extremadura	94	589,87[a]	4,20	504,47	702,07	40,71	6,90
	Castilla y León	49	613,48[b]	6,20	515,59	694,86	43,40	7,07
	Cataluña	188	569,90[c]	2,19	492,45	649,36	29,97	5,26
	Galicia	160	582,01[a]	3,79	410,03	741,57	47,92	8,23

Tabla 5.2.25. Valores medios y estadísticos descriptivos de la densidad local (Den_{Loc12}) por procedencia

	Procedencia	N	Media (kg/m³)	Error típico	Mínimo	Máximo	Desv. típ.	C.V. (%)
Den_{Loc12}	Asturias	490	585,42[a]	2,18	467,88	733,50	48,30	8,25
	Extremadura	94	610,68[b]	4,72	509,50	744,62	45,75	7,49
	Castilla y León	33	621,93[b]	8,11	518,69	726,76	46,61	7,49
	Cataluña	188	565,13[d]	2,56	457,54	664,36	35,13	6,22
	Galicia	160	575,01[c]	3,45	468,44	697,84	43,65	7,59

Los resultados muestran que las procedencias Extremadura y Castilla y León cuentan con valores de densidad significativamente superiores al resto de procedencias, mientras que Cataluña mostró valores ligera pero

significativamente inferiores. Asturias y Galicia, con valores intermedios, no mostraron diferencias entre ellas.

El hecho de que Extremadura y Castilla y León mostrasen densidades mayores podría ser debido a la menor tasa de crecimiento de la especie en esas regiones, en las que las condiciones de sitio y ambientales se encuentran más lejos del óptimo de la especie que las regiones cantábricas. La tasa de crecimiento es un factor que puede tener influencia en la variabilidad de la densidad básica y por ende en las propiedades de la madera de acuerdo a la especie (Zobel, 1992; Zobel y Van Buijtenen, 1989). La correlación negativa entre tasa de crecimiento y densidad de la madera ha sido observada en diversos trabajos con especies de coníferas, pero no parece tan clara en relación a madera de frondosas (especialmente en las especies de anillo poroso) en las que incluso puede llegar observarse un aumento de la densidad cuando lo hace el espesor del anillo (y por tanto la tasa de crecimiento) (Polge y Keller, 1973; Zhang, 1995). De hecho, los trabajos de Chanson (1988), Fiovaranti (1995) y Baonza y Gutiérrez (1996) no mostraron dependencias claras entre la tasa de crecimiento y la densidad de la madera de Castanea sativa y castaño híbrido.

Las diferencias de densidad entre procedencias no pueden ser atribuidas directamente a las condiciones de crecimiento de cada región, pudiendo estar derivadas de multitud de factores como la gestión selvícola realizada (o la ausencia de ésta), el tipo de masa (de brote o plantación) o los procesos de despiece en el aserrado.

Las figuras 5.2.11 y 5.2.12 muestran los diagramas de cajas de los análisis de varianza de la densidad global y local, respectivamente, con los datos segregados por procedencia y sección.

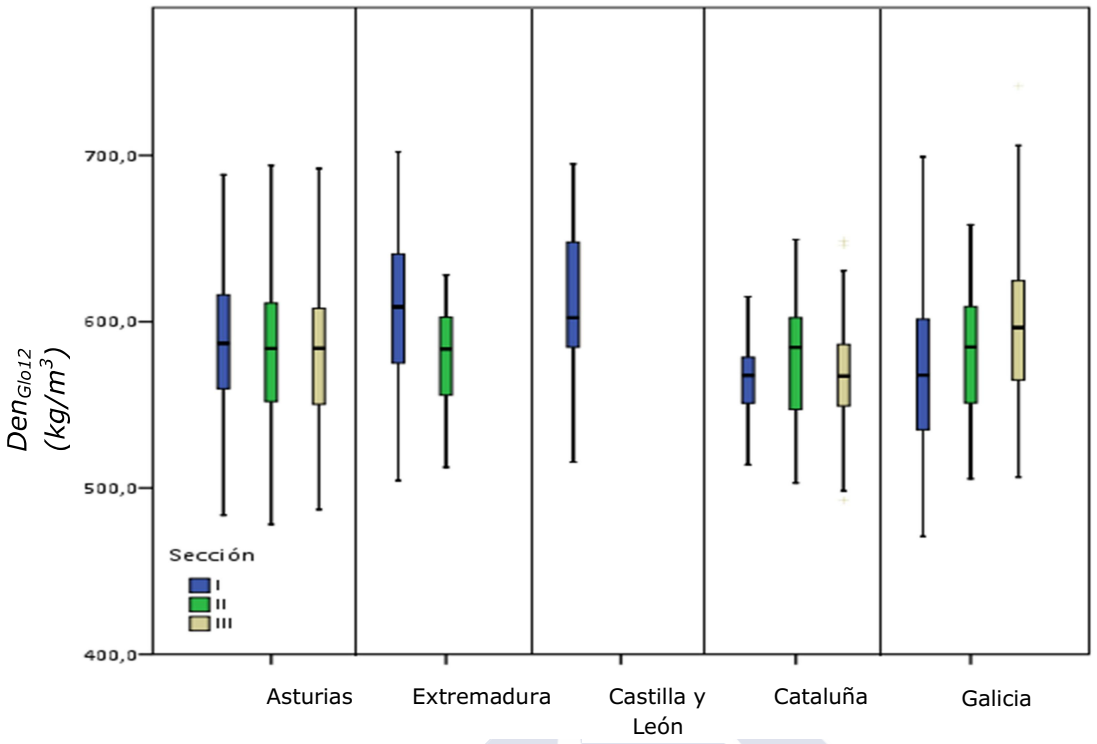


Figura 5.2.11. Diagrama de cajas de la variable densidad global (Den_{Glo12}) por sección y procedencia

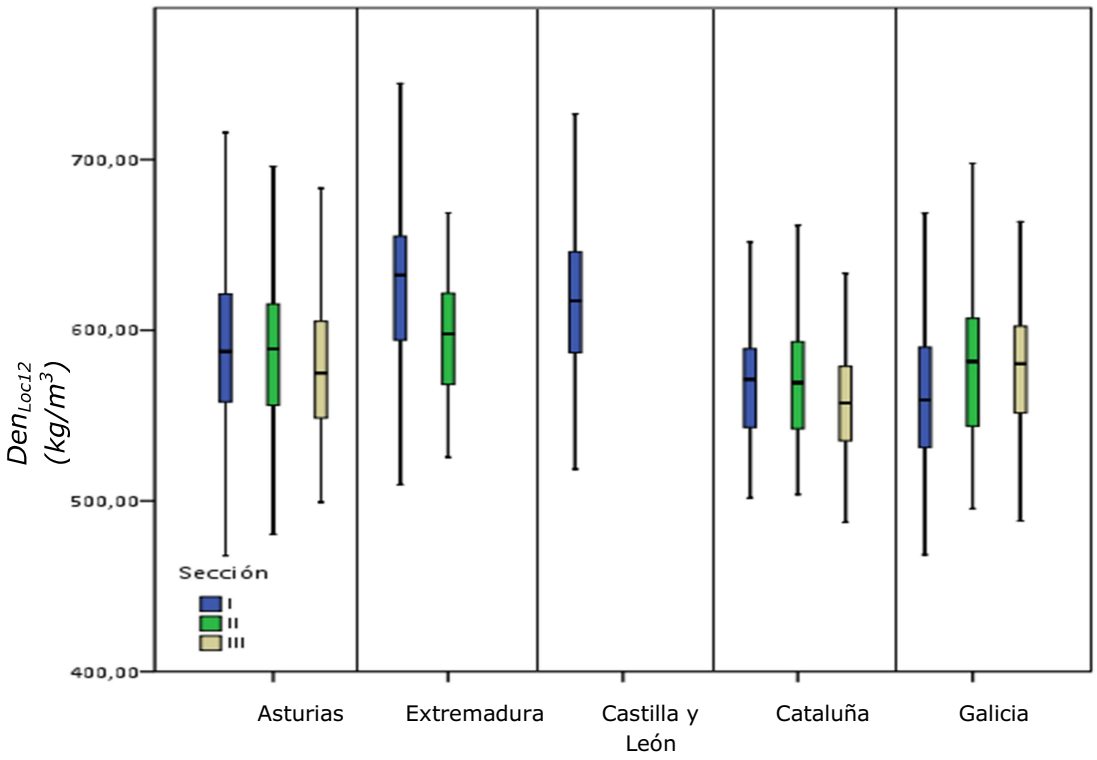


Figura 5.2.12. Diagrama de cajas de la variable densidad local (Den_{Loc12}) por sección y procedencia

5.2.6. Relaciones entre las variables

5.2.6.1. Densidad global vs. densidad local

La tabla 5.2.26 y la figura 5.2.13 muestran los resultados del análisis de regresión entre las variables de densidad local Den_{Loc12} y global Den_{Glo12}:

Tabla 5.2.26. Modelo de regresión lineal de las variables Den_{loc12} (variable dependiente) y Den_{glo12} (variable independiente)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
Den_{loc12}	Den_{glo12}	33,36	0,933	0,000	**0,746**

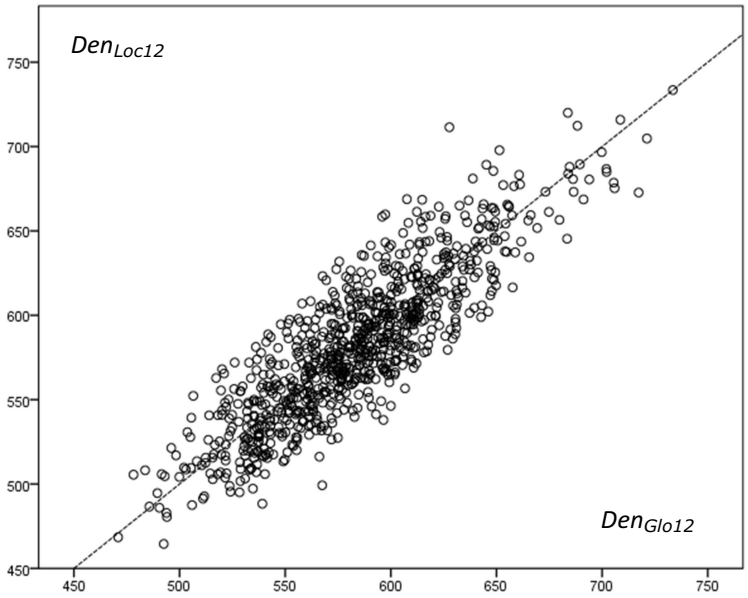


Figura 5.2.13. Regresión lineal Den_{Loc12}-Den_{Glo12}

El coeficiente de determinación observado (R2 = 0,746) permite asumir como válida la medición de la densidad global (más sencilla de medir) para una estimación aceptable de la densidad local (sólo medible mediante la extracción de una rebanada de la pieza). Tal y como se detallaba en el apartado 5.2.5, los valores medios de densidad local y global de las piezas evaluadas fueron muy similares, con una diferencia muy pequeña (0,12 %).

5.2.6.2. Módulo de elasticidad local vs. Módulo de elasticidad global

Como ya se ha comentado, el módulo de elasticidad global resulta más sencillo de determinar que el módulo de elasticidad local debido a las características propias del ensayo. Por esto, la norma EN 384 establece una relación entre ambos con el objetivo de estimar el valor necesario para la asignación de valores característicos y asignación de clase resistente (módulo de elasticidad local) en base al módulo de elasticidad global (Apartado 4.13, ecuación 4.17) y supone una generalización sin diferenciar especie ni características de las piezas. El estudio de esta relación resulta fundamental en todo nuevo proceso de caracterización. La tabla 5.2.27 muestra el resultado de la regresión lineal

realizada entre el módulo de elasticidad local y el módulo de elasticidad global de las piezas ensayadas:

Tabla 5.2.27. Modelo de regresión lineal de las variables E_{loc12} (variable dependiente) y E_{glo12} (variable independiente)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
E_{loc12}	E_{glo12}	-0,192	1,126	0,000	**0,750**

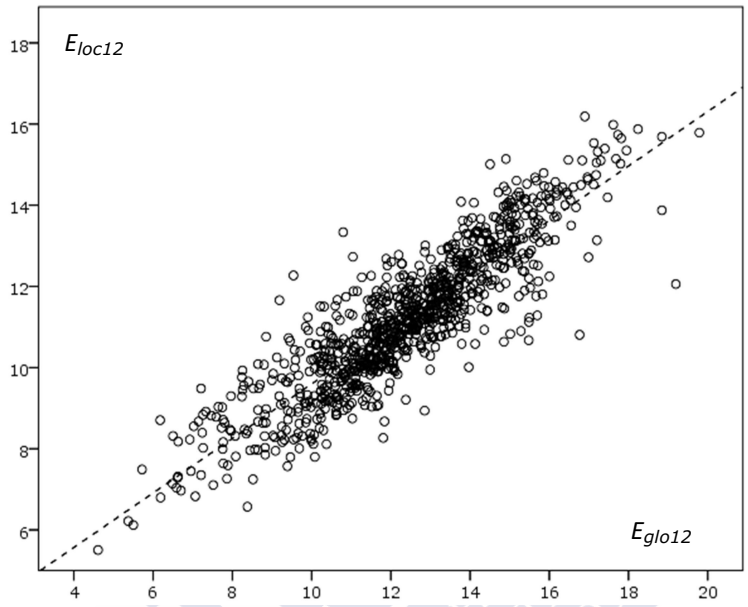


Figura 5.2.14a. Regresión lineal E_{glo12}-E_{loc12}

La validez del modelo de regresión fue comprobada mediante el estudio de la normalidad y la homocedasticidad de los residuos (Figura 5.2.14b).

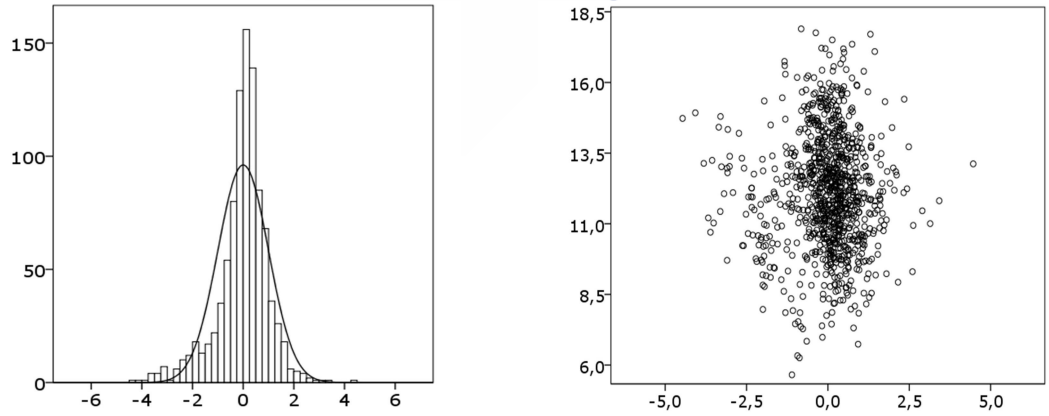


Figura 5.2.14b. Análisis de los residuos del modelo E_{loc12}-E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha)

El modelo de regresión fue creado a partir de una submuestra formada por la mitad de los datos disponibles, mientras que la otra submuestra fue empleada para el cálculo de los errores cometidos en la estimación.

La tabla 5.2.28 muestra la ecuación E_{loc}-E_{glo} propuesta en la norma EN 384 y la estimada a partir de los datos experimentales obtenidos en el presente trabajo, así como los errores relativos y absolutos con respecto al valor real del módulo de elasticidad local.

Tabla 5.2.28. Relación entre el módulo de elasticidad global y local definida en la norma EN 384 y la obtenida a partir de datos experimentales, y error relativo y absoluto respecto a los valores de E_{loc} obtenidos en el ensayo mecánico

	Ecuación	Error relativo medio (%)	Error absoluto medio (kN/mm²)
EN 384	E_{loc} = 1,3 E_{glo} – 2,690	4,68	-0,32
Datos experimentales	E_{loc} = 1,126 E_{glo} – 0,192	3,89	0,12

La ecuación propuesta a partir de la regresión realizada con los datos de ensayo presenta un error relativo igual a 3,89%, menor que el cometido al estimar el módulo de elasticidad local a partir de la ecuación normativa, con un error igual a 4,68%. Al analizar el valor medio del error absoluto de cada una de las ecuaciones se observa como la ecuación obtenida en el presente trabajo de nuevo resulta más precisa que la ecuación normativa, pero sobreestima ligeramente el valor del módulo de elasticidad local. El error de la ecuación de la norma EN 384 también es mayor (-0,32 kN/mm^2) pero cuenta con la ventaja de subestimar dicho valor, estando del lado de la seguridad.

Dada la escasa diferencia entre los errores relativos de ambas ecuaciones, y adoptando una postura conservadora, se asume que la ecuación de la norma EN 384 es válida para su aplicación a la madera aserrada de castaño, para las secciones estudiadas (40x100, 40x150 y 70x150 mm).

5.2.6.3. Resistencia a flexión vs. Módulo de elasticidad global

La tabla 5.2.29 muestra el resultado de la regresión lineal efectuada entre las variables resistencia a flexión corregida por rotura fuera del tercio central (f_{m_c}) y módulo de elasticidad global (E_{glo12}) y local (E_{loc12}):

Tabla 5.2.29. Modelo de regresión lineal de las variables f_m (variable dependiente) y E_{glo12} y E_{loc12} (variables independientes)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
f_{m_c}	E_{glo12}	-1,827	4,294	0,000	**0,259**
f_{m_c}	E_{loc12}	13,648	2,70	0,000	**0,189**

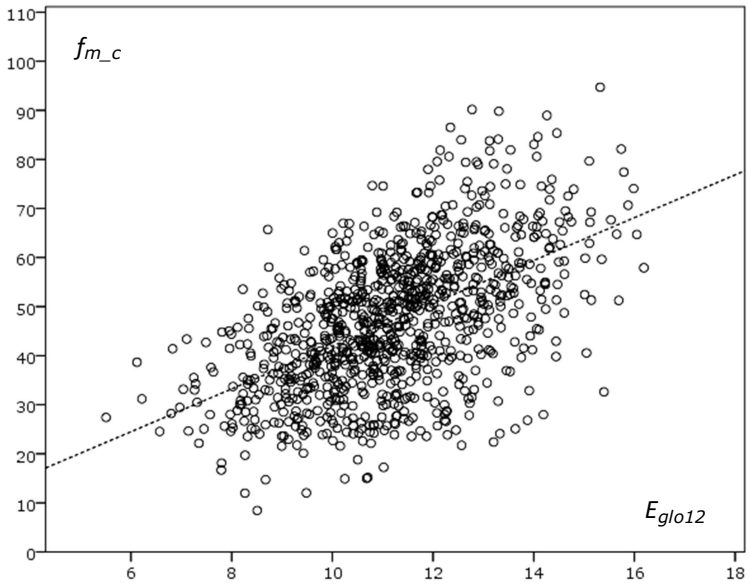


Figura 5.2.15a. Regresión lineal f_{m_c} - E_{glo12}

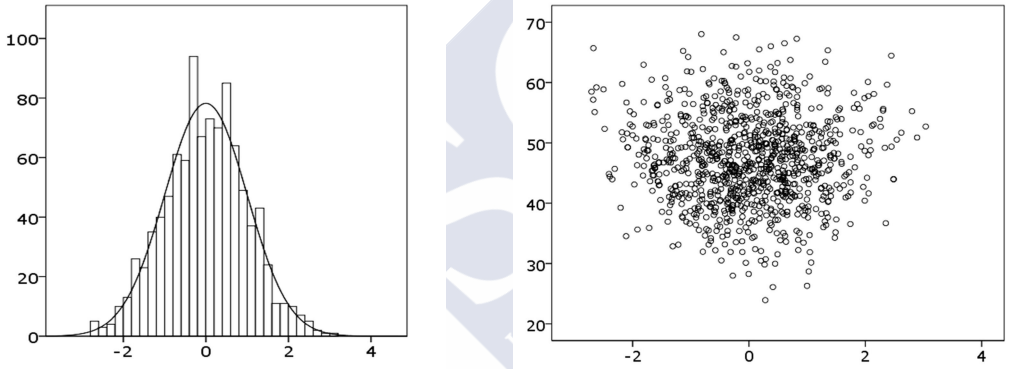


Figura 5.2.15b. Análisis de los residuos del modelo f_{m_c} - E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha)

El bajo valor del coeficiente R^2 (0,259) del mejor modelo (f_{m_c} – E_{glo12}) indica una baja correlación entre ambas variables. Trabajos realizados en madera de tamaño estructural de coníferas (Conde, 2003; Esteban, 2003; Hanhijärvi et al., 2005; Hanhijarvi & Ranta-Maunus, 2008; Hermoso, 2001) indican coeficientes de correlación mayores entre ambas variables, con valores de R^2 que oscilan entre 0,51 y 0,69. En cuanto a frondosas, los trabajos de Fernández-Golfín et al. (2007) y Sánchez (2012) muestran coeficientes de determinación de 0,36 y 0,55 para madera de eucalipto de tamaño estructural y libre de defectos, respectivamente, mientras que Riesco y Remacha (2012) presentan un valor de R^2 de 0,65 en la relación entre estas variables para *Quercus robur* de procedencia gallega.

La correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión parece ser mayor y con menos variabilidad en madera de coníferas, las cuales presentan unas características morfológicas similares entre ellas. En frondosas, cuyas diferencias entre especies son más evidentes y no despreciables, esta relación cuenta con una mayor variabilidad. Los coeficientes de determinación obtenidos

en el presente trabajo dan una idea de esta variabilidad, y de la imposibilidad de estimación de la resistencia a flexión de forma tan clara como en la madera de coníferas. El empleo de otras técnicas (p.e. no destructivas) y la adición de variables relativas a nudosidad y otros defectos de la madera puede mejorar ligeramente esta estimación (ver apartado 5.4.7).

5.2.6.4. Módulo de elasticidad transversal vs. Módulo de elasticidad longitudinal

La tabla 5.2.30. muestra el valor medio del módulo de elasticidad transversal obtenido en los ensayos de 123 probetas de sección 40x150 mm, las cuales fueron clasificadas en grupos según el corte (radial, tangencial o mixto), así como la relación con el módulo de elasticidad local (E_{loc12}/G). El análisis de varianza dio como resultado la no existencia de diferencias significativas entre los valores medios del módulo de elasticidad transversal de cada grupo de probetas (en función del tipo de corte observado).

Tabla 5.2.30. Valores medios del módulo de elasticidad transversal *G* por tipo de corte observado en la probeta y relación E_{loc12}/G.

Tipo de corte	N	*G* (N/mm2)	CV (%)	Relación E_{loc}/G
Radial	25	1275[a]	18	9,48
Tangencial	84	1193[a]	30	11,21
Mixto	14	1215[a]	22	10,92
Todos	**633**	**1240**	**24**	**10,85**

La norma EN 384:2010 establece una relación teórica entre el módulo de elasticidad longitudinal y transversal igual a 16. El valor de *G* corresponde al valor medio de la propiedad en dirección radial y tangencial, entre los cuales existen claras diferencias en coníferas, siendo la relación $E_{m,l}$ /G igual a 14,9 y 17,3 respectivamente (Argüelles y Arriaga, 1996). En el análisis del módulo de elasticidad transversal de la madera de castaño no se observaron estas diferencias entre el corte tangencial o radial.

Además, su relación con el módulo de elasticidad longitudinal resultó claramente distinta a la establecida en la norma EN 384. Esta relación para las 633 probetas evaluadas dio como resultado un valor medio de 10,85, muy inferior al valor 16 que define la norma. Esto significa que aplicando la ecuación normativa se estaría subestimando el valor del módulo de cortante. De este modo, al aplicar la ecuación $E_{loc}/G=16$ según normativa, se estaría subestimando el valor del módulo de elasticidad transversal.

5.2.6.5. Densidad vs. módulo de elasticidad

La tabla 5.2.31 muestra los resultados de los análisis de regresión efectuados sobre las variables de densidad y módulo de elasticidad:

Tabla 5.2.31. Modelo de regresión lineal de las variables Den_{Loc12} y Den_{glo12} (variables dependientes) y E_{glo12} y E_{loc12} (variables independientes)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
Den_{Loc12}	E_{glo12}	7,644	496,083	0,000	**0,075**
Den_{Loc12}	E_{loc12}	3,940	534,674	0,000	**0,037**
Den_{glo12}	E_{glo12}	6,352	511,726	0,000	**0,018**
Den_{glo12}	E_{loc12}	2,609	551,530	0,000	**0,018**

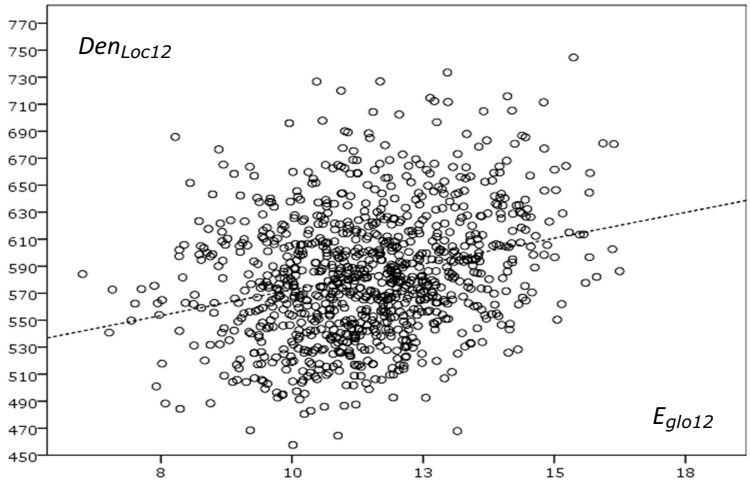


Figura 5.2.16a. Regresión lineal Den_{Loc12}-E_{glo12}

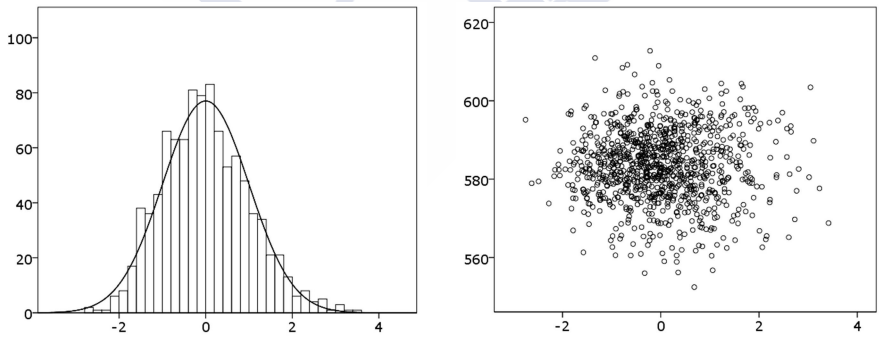


Figura 5.2.16b. Análisis de los residuos del modelo Den_{Loc12}-E_{glo12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha)

Ninguna de las regresiones efectuadas con las combinaciones de las variables de densidad global y local y los módulos de elasticidad global y local permiten obtener unos valores aceptables de correlación entre ellas. Los trabajos de Conde *et al*. (2003), Esteban (2003) y Hermoso (2003) también mostraron bajos valores de correlación entre estas variables (R^2 entre 0,10 y 0,30) en madera estructural de conífera.

5.2.6.6. Densidad vs. resistencia a flexión

La tabla 5.2.32 muestra los resultados de los análisis de regresión efectuados sobre las variables de resistencia a flexión y densidad.

Tabla 5.2.32. Modelo de regresión lineal de las variables f_m (variable dependiente) y Den_{loc12} (variable independiente)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
f_{m_c}	Den_{Loc12}	24,680	0,038	0,000	**0,015**
f_{m_c}	Den_{glo12}	27,480	0,034	0,000	**0,010**

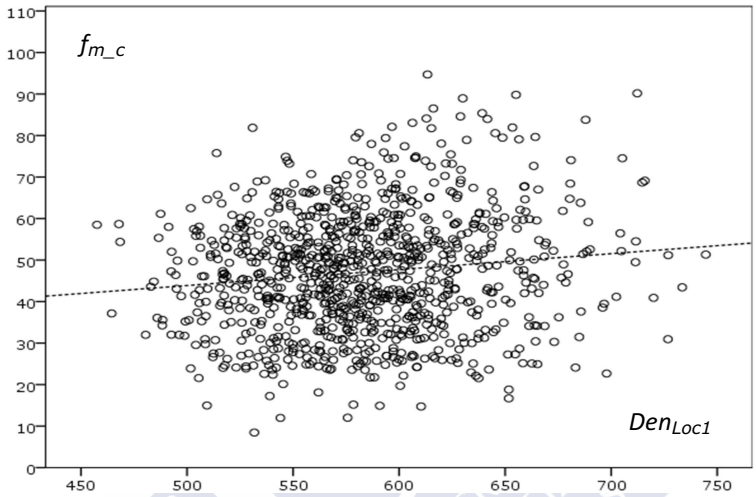


Figura 5.2.17a. Regresión lineal f_{m_c}-Den_{loc12}

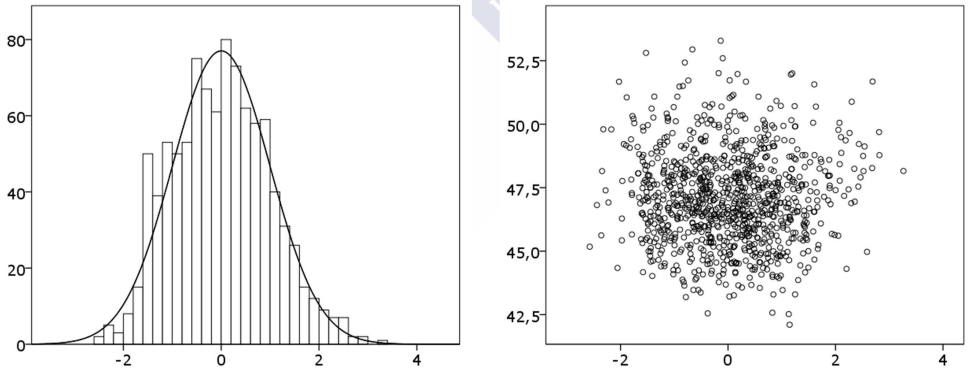


Figura 5.2.17b. Análisis de los residuos del modelo f_{m_c}-Den_{loc12}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha).

Del mismo modo que ocurría con el módulo de elasticidad, no existe una buena correlación directa entre las variables de densidad y la resistencia a flexión. En madera de coníferas, Hermoso (2001) establece coeficientes de determinación de 0,20, mientras que Fernández-Golfín (2007) indica R^2 de 0,12 en madera de eucalipto de tamaño estructural y Sánchez (2012) obtiene mejores coeficientes (0,26) para la misma especie pero con madera libre de defectos.

5.2.7. Propiedades mecánicas y densidad. Resumen de resultados

Tabla 5.2.33. Tabla resumen de las propiedades mecánicas: módulo de elasticidad global y local (E_{glo12} y E_{loc12}) en kN/mm^2, módulo de elasticidad transversal (G) en kN/mm^2, resistencia a flexión y resistencia a flexión corregida (f_m y f_{m_c}) en N/mm^2 y densidad global y local (Den_{Glo12} y Den_{Loc12}) en kg/m^3.

		n	E_{loc12}	C.V.	E_{glo12}	C.V.	G	C.V.	f_m	C.V.	f_{m_c}	C.V.	Den_{Glo12}	C.V.	Den_{Loc12}	C.V.
Por muestra	**1-AI**	166	13,27	15,20	12,01	12,43	1,18	21,77	56,52	26,85	55,37	28,57	587,12	7,83	587,96	8,61
	2-AII	163	12,23	16,55	11,21	14,79	1,19	27,63	44,49	22,94	43,49	23,74	583,91	7,54	587,29	8,29
	3-AIII	161	12,59	12,75	11,57	11,40	1,29	23,42	45,99	25,17	44,51	28,51	587,91	8,59	580,89	7,81
	4-EI	45	13,96	15,08	12,76	11,61	1,10	22,57	60,61	25,05	56,76	29,36	602,38	7,65	622,52	8,22
	5-EII	49	13,73	13,98	12,47	13,11	1,11	15,25	50,61	27,02	49,23	28,92	578,39	5,42	599,80	6,25
	6-LI	49	11,64	14,03	10,77	13,81	1,17	23,10	53,35	23,99	52,00	25,08	613,48	7,07	621,93	7,49
	7-CI	63	11,96	11,50	10,65	9,92	1,30	21,42	51,50	28,61	50,62	29,34	565,36	4,47	568,63	6,34
	8-CII	61	13,85	14,41	12,22	12,55	…	…	48,96	30,29	47,58	31,80	575,85	5,65	566,98	5,69
	9-CIII	64	13,57	14,52	12,14	12,27	1,42	24,71	47,15	24,18	45,04	28,35	568,71	5,48	559,92	6,57
	10-GI	49	10,28	16,71	9,89	11,72	…	…	45,52	22,39	43,74	25,22	568,57	9,63	563,79	8,46
	11-GII	56	10,52	21,16	10,11	14,91	…	…	39,51	24,35	38,39	26,50	580,10	6,37	581,61	7,65
	12-GIII	55	8,68	21,89	10,07	19,86	…	…	37,79	25,90	37,05	26,90	595,95	8,11	578,28	6,47
Por Sección	**I**	372	12,56	17,36	11,43	14,48	1,20	22,67	54,30	27,28	52,76	29,08	586,31	7,95	588,73	8,74
	II	329	12,46	18,63	11,40	15,59	1,17	25,49	45,38	26,74	44,24	28,00	580,94	6,74	584,42	7,65
	III	280	12,04	20,32	11,41	14,57	1,33	24,23	44,64	26,17	43,17	29,08	585,10	8,06	575,59	7,43
Por procedencia	**Ast**	490	12,70	1,94	11,60	1,53	1,23	25,04	49,05	27,73	47,85	29,67	586,31	7,99	585,42	8,25
	Ext	94	13,84	2,00	12,61	1,56	1,11	18,97	55,40	27,43	52,83	29,95	589,87	6,90	610,68	7,49
	CyL	49	11,64	1,63	10,77	1,49	1,17	23,10	53,35	23,99	52,00	25,08	613,48	7,07	621,93	7,49
	Cat	188	13,12	1,98	11,66	1,55	1,36	23,64	49,20	27,99	47,73	30,13	569,90	5,26	565,13	6,22
	Gal	160	9,81	2,13	10,03	1,60	…	…	40,76	25,32	39,57	27,02	582,01	8,23	575,01	7,59
	Total	**981**	**12,38**	**18,72**	**11,41**	**14,87**	**1,24**	**24,74**	**48,55**	**28,50**	**47,16**	**30,33**	**584,16**	**7,61**	**583,45**	**8,06**

La tabla 5.2.33 recoge los valores de las propiedades mecánicas y la densidad segregados por grupos correspondientes a la muestra, la procedencia y el tamaño de sección, así como los valores referentes a todo el conjunto de piezas ensayadas.

El análisis de los datos por procedencia y tamaño de sección permiten establecer una clasificación relativa con respecto a ambos factores. De este modo, puede afirmarse que el tamaño de sección no resultó relevante con respecto al módulo de elasticidad. El tamaño de sección si mostró influencia, sin embargo, en los valores de resistencia a flexión, resultando que las piezas de sección I (40x100 mm) mostraron valores significativamente más altos que las secciones II y III (40x150 y 70x150 mm respectivamente).

El factor procedencia resultó significativo en todas las variables de propiedades mecánicas. En cuanto al módulo de elasticidad (global y local) y la resistencia a flexión, puede afirmarse con carácter general que la procedencia Extremadura cuenta con los valores más altos, resultando significativamente bajos los valores de la procedencia Galicia. Resulta necesario destacar que las piezas de procedencia gallega (especialmente las de sección III) contaban con un contenido de humedad sensiblemente superior al resto de procedencias, por lo que la corrección aplicada para llevar los valores de módulo de elasticidad al 12% de referencia también fue mayor. Las diferencias en los módulos de elasticidad de las piezas de procedencia Galicia con respecto al resto de procedencias pueden deberse, por tanto, no sólo al factor procedencia sino también estar relacionadas en cierta medida con las correcciones aplicadas (mayores que en las otras procedencias).

Las variables de densidad no mostraron variabilidad significativa con respecto al factor tamaño de sección, pero sí con respecto al factor procedencia, apareciendo las muestras de Extremadura y Castilla y León con valores ligeramente superiores al resto.

Una vez analizadas las relaciones entre las variables de las propiedades mecánicas y densidad, fueron establecidos modelos de regresión lineal para las diferentes combinaciones de variables. La correlación entre el módulo de elasticidad local y el global resultó significativamente alta (R^2=0,75). La ecuación lineal indicada en la norma EN 384 resulta adecuada para su aplicación a la madera de castaño y secciones hasta 70x150 mm, siendo ligeramente menos precisa que la obtenida a partir de los datos experimentales pero con la ventaja de proporcionar una estimación del lado de la seguridad.

La resistencia a flexión no mostró buena correlación lineal con el módulo de elasticidad, no siendo posible establecer modelos lineales para la estimación precisa de esta variable (R^2=0,259). Lo mismo ocurre con la densidad, la cual no aparece significativamente correlacionada con el módulo de elasticidad ni la resistencia a flexión (R^2=0,075 y 0,015 respectivamente).

Los resultados de los ensayos del módulo de cortante para madera de castaño dieron como resultado un valor medio de *G* igual a 1,24 kN/mm2 y una relación E_{loc12}/G igual a 10,82, inferior a la definida en la norma EN 384 ($E_{loc12}/G = 16$).

5.3. Clasificación visual

5.3.1. Clasificación según la norma UNE 56546

En un primer análisis, los criterios de clasificación fueron seguidos estrictamente según indica la norma UNE 56546, actualmente redactada para madera de *Eucalyptus* spp., con el objetivo de analizar su grado de adecuación a la madera de castaño y posteriormente proponer las especificaciones necesarias. La tabla 5.3.1 muestra los resultados de dicha clasificación, con los porcentajes de piezas rechazadas (R) y clasificadas como Madera Estructural de Frondosa (MEF) y los valores medios y quinto percentil de las propiedades mecánicas y densidad de cada grupo:

Tabla 5.3.1. Porcentajes de rechazo (R) y madera clasificada como Madera Estructural de Frondosa (MEF), módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión media (f_m) y quinto percentil (f_{05}), densidad media (Den_{Loc12}) y quinto percentil (Den_{Loc12_05}) por clase visual según la norma UNE EN 56546

Pro	Sección	Calidad	n	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_m (N/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12} (kg/m³)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)
Asturias	I (40x100 mm)	R	112	67,47	12,74	54,80	28,96	591,59	506,76
		MEF	54	32,53	13,30	60,08	37,73	580,44	493,80
	II (40x150 mm	R	127	77,91	11,67	43,54	25,35	588,70	501,82
		MEF	36	22,09	12,64	47,83	35,93	582,32	500,34
	III (70x150 mm)	R	121	75,16	12,36	46,10	25,89	584,61	517,75
		MEF	40	24,84	12,33	45,63	24,27	569,63	508,91
	Total	R	360	73,47	12,24	47,91	25,98	588,22	508,16
		MEF	130	26,53	12,82	52,24	30,27	577,64	499,28
Extremadura	I (40x100 mm)	R	40	88,89	13,72	58,45	31,69	621,64	512,70
		MEF	5	11,11	15,31	77,89	67,40	629,56	564,53
	II (40x150 mm	R	40	81,63	13,26	48,61	23,65	598,89	547,82
		MEF	9	18,37	14,64	59,53	51,35	603,83	550,89
	Total	R	80	85,11	13,49	53,53	27,04	610,27	526,64
		MEF	14	14,89	14,88	66,09	51,35	613,02	550,89
León	I (40x100 mm)	R	25	51,02	10,70	50,55	26,72	622,38	531,08
		MEF	24	48,98	11,38	56,27	35,89	620,74	553,46
Cataluña	I (40x100 mm)	R	41	65,08	10,91	49,09	22,91	572,59	512,52
		MEF	22	34,92	11,63	55,99	36,09	561,25	502,43
	II (40x150 mm	R	44	72,13	12,66	47,38	25,04	563,45	510,38
		MEF	17	27,87	13,64	53,05	26,84	576,11	525,15
	III (70x150 mm)	R	57	89,06	13,09	46,83	26,34	559,64	504,04
		MEF	7	10,94	13,10	49,81	39,48	562,24	517,62
	Total	R	142	75,53	12,33	47,65	25,86	564,56	512,68
		MEF	46	24,47	12,60	53,96	29,66	566,90	510,24
Galicia	I (40x100 mm)	R	26	53,06	10,04	44,74	29,12	574,56	493,48
		MEF	23	46,94	10,30	46,42	26,74	551,63	475,68
	II (40x150 mm	R	34	60,71	10,23	39,29	21,53	577,63	514,90
		MEF	22	39,29	10,82	39,86	25,50	587,78	498,74
	III (70x150 mm)	R	44	80,00	9,81	37,54	23,92	573,17	517,21
		MEF	11	20,00	12,78	38,82	25,32	598,74	543,62
	Total	R	104	65,00	10,00	39,91	23,92	574,97	507,95
		MEF	56	35,00	10,99	42,35	25,82	575,08	503,25
	Todas las procedencias y secciones	**R**	**711**	**72,48**	**12,01**	**47,41**	**25,78**	**585,19**	**512,36**
		MEF	**270**	**27,52**	**12,38**	**51,56**	**29,91**	**578,60**	**505,50**

El resultado más evidente es el alto porcentaje de rechazo obtenido en la clasificación, con un 72% de las piezas por debajo de los criterios limitantes que especifica la norma. Los valores de las propiedades mecánicas resultaron superiores en las piezas clasificadas como MEF, lo cual resulta obvio al ser precisamente éste el objetivo de la clasificación visual. Sin embargo, las diferencias entre estos valores no son especialmente importantes y la clasificación parece no resultar objetiva a la hora de separar las piezas evaluadas en función de sus mejores propiedades. Tanto las piezas clasificadas como MEF como las rechazadas (R) se clasificarían en una clase resistente D24 de acuerdo a la norma EN 338.

Ante esto, surge la necesidad de establecer nuevos criterios que permitan la clasificación visual de la madera de castaño de forma que los grupos separados cuenten con unas propiedades claramente diferenciadas y proporcionen a las piezas clasificadas como MEF unos valores objetivos y diferenciados con respecto a las consideradas de rechazo. Además, no cabe duda de la imposibilidad de aceptar unos porcentajes de rechazo tan altos (72%), inviables desde el punto de vista comercial y poco realistas con respecto a las propiedades de esta madera.

Piezas rechazadas por singularidad

El primer paso para el establecimiento de los nuevos criterios de clasificación es el estudio de las propiedades más relevantes y causantes del rechazo de las piezas. La figura 5.3.1 indica el porcentaje de piezas rechazadas por cada una de las singularidades establecidas en la norma UNE 56546:

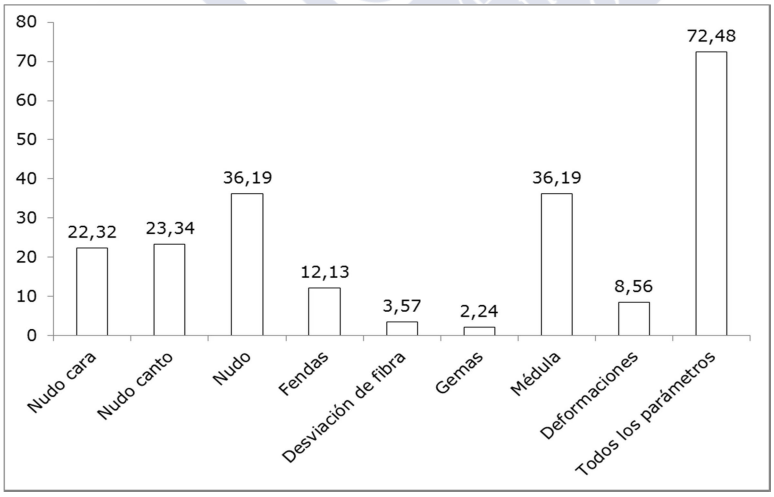


Figura 5.3.1. Porcentaje de piezas rechazadas por cada singularidad

Tal y como se observa, las singularidades causantes de mayor número de piezas rechazadas fueron el tamaño de nudo y la presencia de médula, seguidos por las fendas, aunque en con una importancia menor.

Fueron analizados los valores de las propiedades mecánicas en función de la clasificación de las piezas según estas singularidades de forma independiente. Estos resultados se muestran en la tabla 5.3.2:

Tabla 5.3.2. Módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión (f_m) y densidad (Den_{Loc12}) según grupos de piezas aptas (MEF) y rechazadas (R) por nudos, fendas y presencia de médula según los criterios de la norma UNE 56546.

Singularidad	Clase visual	E_{norm12} (kN/mm²)	f_m (N/mm²)	Den_{Loc12} (kg/m³)
Nudos sobre la cara (Limitación a 1/3 de la cara)	MEF	12,29[a]	49,49[a]	581,07[a]
	R	11,65[b]	44,60[b]	586,13[a]
Nudo sobre el canto (Limitación a 1/2 del canto)	MEF	12,38[a]	49,49[a]	581,07[a]
	R	11,39[b]	43,71[b]	588,19[b]
Fendas	MEF	12,03[a]	48,51[a]	581,99[a]
	R	13,03[b]	47,75[a]	583,67[a]
Médula	MEF	12,11[a]	48,55[a]	582,73[a]
	R	12,22[a]	48,18[a]	581,32[a]

Los criterios de clasificación con respecto a los nudos de cara y canto proporcionan valores de módulo de elasticidad y resistencia a flexión significativamente superiores en el grupo de piezas clasificadas como MEF. Esto no ocurre al analizar los grupos con respecto a los criterios presencia de médula y tamaño de fenda, y se puede afirmar que no clasifican objetivamente.

5.3.2. Propuesta de criterios limitantes y reclasificación de la muestra

En base a los resultados mostrados en la tabla 5.3.2, fueron establecidos nuevos criterios para mejorar la objetividad de la clasificación. En primer lugar, se decidió no considerar la presencia de médula como factor limitante, al observarse la nula influencia de ésta en las propiedades mecánicas. Las piezas rechazadas por este criterio pasaron, por consiguiente, a ser consideradas MEF. En cuanto al tamaño de fendas pasantes, se decidió establecer un nuevo límite para el tamaño de fenda pasante de testa. La norma UNE 56546 permite fendas de hasta una longitud igual a la altura de la sección (h). El nuevo límite propuesto para este criterio fue, al igual que aparece en la norma italiana, una longitud de dos veces la altura de la sección ($2h$).

Al aplicar los nuevos criterios de clasificación con respecto a la presencia de médula y tamaño de fendas, todas las piezas que habían sido rechazadas por estos criterios pasaron a ser consideradas como MEF. El siguiente paso fue la definición de los criterios limitantes para el tamaño de nudo de cara y canto. Fue establecido como nuevo criterio para el nudo de cara un diámetro máximo de 1/2 de la dimensión de la dimensión h y para el nudo de canto un diámetro máximo permitido igual a 2/3 de la dimensión b.

Fueron analizadas las propiedades mecánicas según la clasificación de las piezas con los nuevos criterios de tamaño de nudo de forma independiente (tabla 5.3.3):

Tabla 5.3.3. Módulo de elasticidad (E_{norm12}), resistencia a flexión (f_m) y densidad (Den_{Loc12}) según grupos de piezas aptas (MEF) y rechazadas (R) por nudos según los nuevos criterios propuestos.

Singularidad	Clase visual	E_{norm12} (kN/mm²)	f_m (N/mm²)	Den_{Loc12} (kg/m³)
Nudos sobre la cara (Limitación a 1/2 de la cara)	MEF	12,24[a]	48,74[a]	581,87[a]
	R	10,55[b]	41,04[b]	584,63[a]
Nudo sobre el canto (Limitación a 2/3 del canto)	MEF	12,32[a]	49,48[a]	580,40[a]
	R	11,38[b]	42,44[b]	592,39[b]

Al evaluar las propiedades mecánicas de las piezas clasificadas según los nuevos criterios de tamaño de nudo se observan diferencias significativas, del mismo modo que ocurría al clasificar según las limitaciones de tamaño de nudo establecidas en la norma UNE 56546 vigente. Las diferencias no sólo se mantienen, sino que se acentúan, lo cual indica que el criterio adoptado clasifica las piezas de forma correcta en base a sus diferentes propiedades mecánicas.

La opción de rechazar la madera de castaño con acebolladuras, por pequeñas que estas fuesen, resultó inasumible desde el punto de vista comercial. Dada la tendencia de esta madera a presentar este defecto, se decidió flexibilizar el criterio considerando como válidas piezas con acebolladuras reducidas. Debido a la falta de datos en las piezas clasificadas y la imposibilidad de establecer unos criterios propios, se decidió adoptar el criterio de la norma italiana, teniendo en cuenta el radio máximo de la acebolladura y la excentricidad de la médula de la pieza.

En base a estos nuevos criterios, fueron definidos de forma completa los criterios de clasificación específicos para madera de castaño, los cuales se exponen en la tabla 5.3.4:

Tabla 5.3.4. Criterios de clasificación específicos propuestos para castaño

CRITERIOS DE CALIDAD			**MEF**
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 1/2 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado	Pasantes de testa	L (longitud) ≤ 2h
		Resto	F (profundidad) ≤ ½ de "b"
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas
Acebolladuras(1)			Permitidas con limitaciones
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10 %)
Gemas -Longitud -Dimensión relativa			≤1/4 de "L" g ≤ 1/4
Médula			Permitida
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación
Alteraciones biológicas		Pudriciones	No admitidas
		Insectos xilófagos	No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
		Coloraciones	Se admite coloración rojiza/atabacado
Deformaciones máximas -Curvatura de cara -Curvatura de canto -Alabeo -Abarquillado			 10 mm (para una longitud de 2 m) 8 mm (para una longitud de 2 m) 1 mm (por cada 25 mm de "h") (para 2 m) Sin limitación

(1) Las acebolladuras están permitidas para el castaño siempre y cuando no se superen las limitaciones siguientes:

$R_{máx} > b/3$ *y* $E > b/6$

Donde $R_{máx}$ *es el radio máximo de la acebolladura considerando la médula como centro de la circunferencia y E es la excentricidad (distancia entre la médula y el centro geométrico de la sección)*

Aplicando estos nuevos criterios de clasificación al conjunto de todas las piezas se obtienen unos nuevos porcentajes de rendimiento de aceptación MEF y rechazo. Estos porcentajes, junto con los valores de las propiedades mecánicas y densidad, se muestran en la tabla 5.3.5:

Tabla 5.3.5. Porcentajes de rechazo y MEF, módulo de elasticidad global (E_{norm12}), resistencia a flexión media (f_m) y quinto percentil ($f_{0,5}$), densidad media (Den_{Loc12}) y quinto percentil (Den_{Loc12_05}) por procedencia, sección y clase visual según los criterios definidos para castaño

Pro	Sección	Calidad	n	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_m (N/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12} (kg/m³)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)
Asturias	I (40x100 mm)	R	37	22,29	12,64	48,92	24,88	595,70	525,57
		MEF	129	77,71	13,01	58,70	34,69	585,74	494,84
	II (40x150 mm	R	36	22,09	11,32	42,69	16,38	595,49	482,53
		MEF	127	77,91	12,04	45,00	26,23	584,97	505,64
	I (40x100 mm)	R	23	14,29	11,81	45,37	21,38	595,26	506,16
		MEF	138	85,71	12,44	46,09	25,81	578,50	516,55
	Total	R	96	19,59	11,95	45,73	24,28	595,51	500,63
		MEF	394	80,41	12,50	49,86	28,20	582,96	507,68
Extremadura	I (40x100 mm)	R	5	11,11	13,85	58,83	31,47	645,62	613,93
		MEF	40	88,89	13,90	60,84	36,17	619,63	512,70
	II (40x150 mm	R	9	18,37	13,15	44,92	22,13	594,77	553,49
		MEF	40	81,63	13,60	51,89	27,10	600,93	547,69
	Total	R	14	14,89	13,40	49,89	22,13	612,93	553,49
		MEF	80	85,11	13,75	56,36	29,79	610,28	526,64
León	I (40x100 mm)	R	9	18,37	10,92	46,19	30,93	633,65	568,78
		MEF	40	81,63	12,09	54,96	31,31	617,54	527,38
Cataluña	I (40x100 mm)	R	11	17,46	10,49	44,11	22,31	573,45	528,66
		MEF	52	82,54	11,30	53,07	29,47	567,61	504,69
	II (40x150 mm	R	7	11,48	11,31	36,46	20,13	565,30	519,75
		MEF	54	88,52	13,15	50,58	26,68	567,20	513,80
	I (40x100 mm)	R	7	10,94	11,64	44,60	14,77	549,61	520,79
		MEF	57	89,06	13,27	47,47	27,38	561,19	504,04
	Total	R	25	13,30	11,04	42,10	16,38	564,49	520,06
		MEF	163	86,70	12,60	50,29	28,05	565,23	509,37
Galicia	I (40x100 mm)	R	9	18,37	9,99	41,18	25,91	586,36	488,46
		MEF	40	81,63	10,20	46,50	30,12	558,72	502,90
	II (40x150 mm	R	13	23,21	9,73	31,53	18,12	586,53	527,75
		MEF	43	76,79	10,68	41,93	26,53	580,13	508,98
	I (40x100 mm)	R	15	27,27	9,25	37,26	25,07	582,90	538,07
		MEF	40	72,73	10,83	37,99	23,89	576,55	517,04
	Total	R	37	23,13	9,60	36,20	22,22	585,01	511,82
		MEF	123	76,88	10,57	42,14	25,18	572,00	505,02
Todas las procedencias	**Todas las secciones**	**R**	**181**	**18,45**	**11,40**	**43,62**	**22,35**	**592,33**	**514,95**
		MEF	**800**	**81,55**	**12,33**	**49,67**	**27,99**	**581,40**	**509,43**

Según esta nueva clasificación, el 82% de las piezas fueron clasificadas como MEF, y el 18% como rechazo. Así, las piezas clasificadas MEF cuentan con unos valores de módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad que permiten asignar una clase resistente D24 según la norma EN 338. Las piezas rechazadas no llegarían al valor mínimo de resistencia a flexión para entrar en dicha clase.

Relación entre clasificación visual y las clases resistentes

La figura 5.3.2 muestra los porcentajes de piezas que estarían dentro de cada clase resistente si fueran clasificadas individualmente. Tal y como se observa, casi un 18% de las piezas estarían dentro de la clase D18 o estarían sin clasificar (con valores inferiores a la menor clase tabulada en la norma EN 338), mientras que el resto estarían dentro o por encima de la clase D24. Estos resultados complementan los obtenidos en la clasificación visual con los criterios específicos definidos, con unos porcentajes de rechazo y aceptación MEF (clase D24) similares.

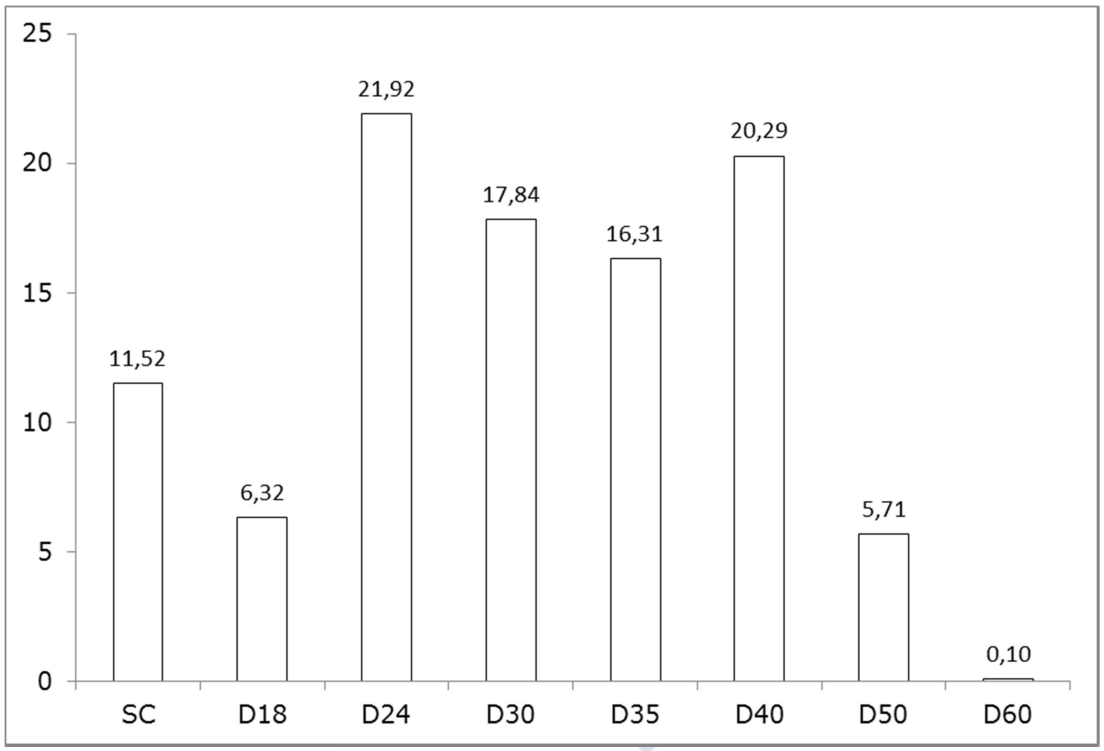


Figura 5.3.2. Porcentaje de piezas dentro de cada clase resistente clasificadas individualmente

El análisis de la objetividad de la clasificación visual propuesta se encuentra ampliado en el apartado *5.4.8. Las técnicas no destructivas como complemento y alternativa a la clasificación visual,* donde se plantean variables acústicas para complementar esta clasificación y se analizan detalladamente los rendimientos y riesgos.

5.4. Técnicas no destructivas

5.4.1. Test de normalidad

Al igual que con las variables de las propiedades mecánicas y la densidad, previamente al análisis estadístico fue estudiada la distribución de los datos de velocidades de onda para la comprobación del ajuste a una distribución normal.

Las figuras 5.4.1-5.4.4 muestran los histogramas de frecuencias de las cuatro variables de velocidad de onda: velocidad ultrasónica con el equipo Sylvatest (V_{ud_c}), onda de impacto con el equipo Microsecond Timer (V_{id_c}) *y velocidad de onda de vibración longitudinal con los equipos PLG y HM200 (*V_{v_c} y V_{h_c}*).*

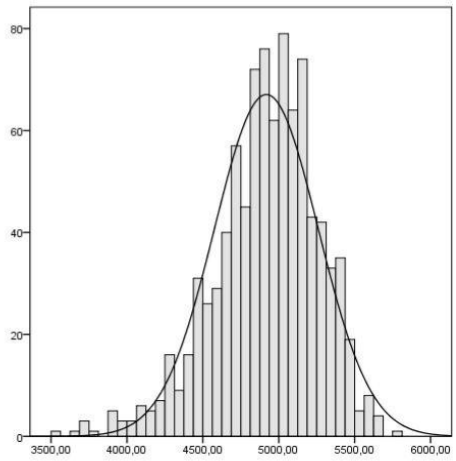


Figura 5.4.1. Histograma de frecuencias de la variable V_{ud_c}

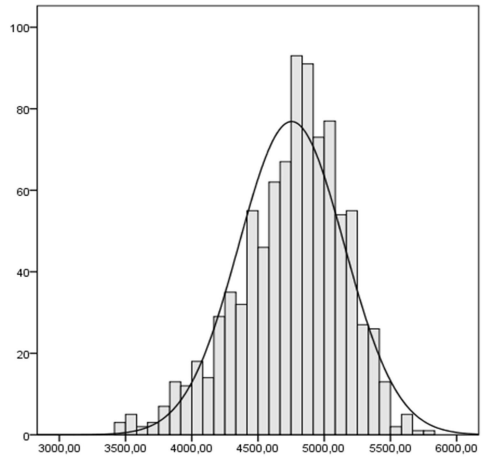


Figura 5.4.2. Histograma de frecuencias de la variable V_{id_c}

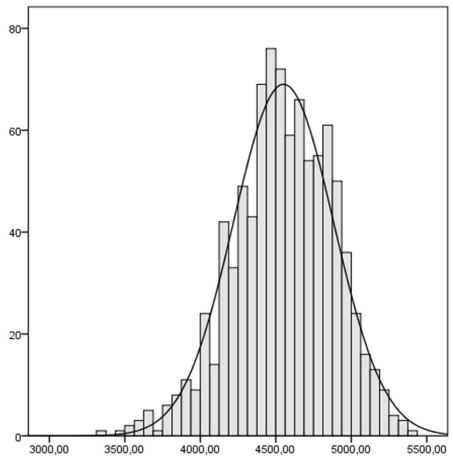


Figura 5.4.3. Histograma de frecuencias de la variable V_{v_c}

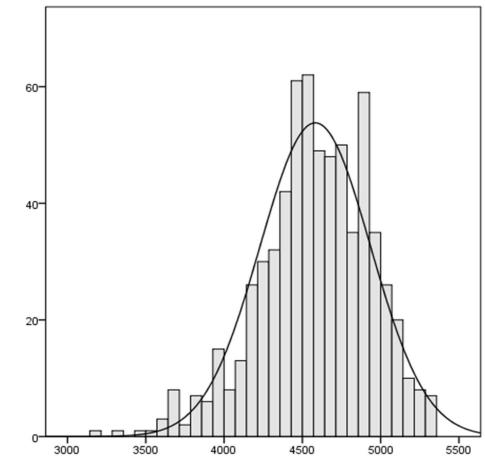


Figura 5.4.4 Histograma de frecuencias de la variable V_{h_c}

5.4.2. Velocidad de onda

A continuación se muestran los resultados referentes a la variable velocidad de onda, para los cuatro equipos empleadas: *Sylvatest* (V_{ud_c}), *Micorsecond Timer* (V_{id_c}), *PLG* (V_{v_c}) y *HM200* (V_{h_c}).

Tabla 5.4.1. Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda para todas las muestras ensayadas

Variable	Equipo	N	Media (m/s)	C.V. (%)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)
V_{ud_c}	*Sylvatest Trio*	921	4817,82	6,92	3476,41	5649,82
V_{id_c}	*Microsecond Timer*	921	4789,91	7,25	3381,55	5639,78
V_{v_c}	*PLG*	920	4461,87	7,25	3275,92	5335,78
V_{h_c}	*Hitman*	666	4495,94	7,66	3164,96	5302,37

Los valores de velocidad obtenidos mediante la técnica de ultrasonidos (Sylvatest) fueron los valores más altos, mientras que las velocidades obtenidas a partir de la frecuencia de vibración longitudinal (PLG y HM200) resultaron las más bajas.

5.4.2.1. Análisis por sección y procedencia

Los resultados de los análisis de varianza de las variables de velocidad de onda (V_{ud_c}, V_{id_c}, V_{v_c} y V_{h_c}) en función del tamaño de sección se muestran en la tabla 5.4.2:

Tabla 5.4.2 Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda por tamaño de sección.

	Sección	N	Media (m/s)	C.V. (%)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)
V_{ud_c}	I (40x100 mm)	346	4822,49[a]	6,65	3811,68	5533,68
	II (40x150 mm)	308	4827,43[a]	6,73	3847,76	5549,84
	III (70x150 mm)	267	4800,68[a]	7,48	3476,41	5649,82
V_{id_c}	I (40x100 mm)	346	4763,46[a]	6,44	3647,31	5517,66
	II (40x150 mm)	308	4812,70[a]	7,21	3792,08	5639,78
	III (70x150 mm)	267	4797,91[a]	8,17	3381,55	5618,34
V_{v_c}	I (40x100 mm)	346	4452,66[a]	6,74	3518,62	5179,56
	II (40x150 mm)	304	4492,06[a]	7,43	3535,74	5335,78
	III (70x150 mm)	270	4439,69[a]	7,62	3275,92	5199,00
V_{h_c}	I (40x100 mm)	216	4426,41[a]	7,04	3586,73	5189,38
	II (40x150 mm)	184	4566,37[b]	7,73	3590,52	5302,37
	III (70x150 mm)	266	4503,67[b]	7,85	3164,96	5298,58

Al analizar las velocidades de onda no se encontraron claras diferencias en función del tamaño de sección. El efecto de la longitud de la pieza o la relación b/h en la velocidad de onda descritos por diversos autores (Acuña *et al*., 2006; Sandoz, 2002) no fue observado en los datos del presente trabajo.

Los resultados de los análisis de varianza de las variables de velocidad de onda (V_{ud_c}, V_{id_c}, V_{v_c} y V_{h_c}) en función de la procedencia se muestran en la tabla 5.4.3:

Tabla 5.4.3. Estadísticos descriptivos de las variables de velocidad de onda por procedencia.

	Procedencia	N	Media (m/s)	C.V. (%)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)
V_{ud_c}	Asturias	485	4820,21[a]	5,77	3648,75	5508,77
	Extremadura	92	5015,06[b]	6,16	3811,68	5533,68
	Castilla y León	33	4729,47[a]	5,81	3945,09	5133,71
	Cataluña	188	4947,18[b]	5,33	4124,74	5649,82
	Galicia	123	4486,86[c]	9,10	3476,41	5393,60
V_{id_c}	Asturias	485	4785,10[a]	5,77	3820,46	5639,78
	Extremadura	92	5047,86[b]	5,48	4041,79	5557,41
	Castilla y León	33	4732,56[a]	5,12	4261,97	5231,90
	Cataluña	188	4925,79[b]	6,01	3647,31	5599,08
	Galicia	123	4423,66[c]	9,70	3381,55	5366,38
V_{v_c}	Asturias	480	4442,52[a]	6,39	3567,04	5267,46
	Extremadura	92	4748,08[b]	6,13	3736,02	5335,78
	Castilla y León	33	4308,76[c]	6,32	3833,93	4913,30
	Cataluña	188	4540,15[a]	5,85	3803,29	5165,16
	Galicia	127	4251,59[c]	9,12	3275,92	5199,00
V_{h_c}	Asturias	231	4527,60[a]	6,52	3748,98	5298,58
	Extremadura	91	4741,84[b]	6,30	4040,96	5302,37
	Castilla y León	33	4338,26[c]	6,31	3840,07	4937,30
	Cataluña	188	4557,53[a]	5,41	3812,84	5191,88
	Galicia	123	4202,70[c]	9,43	3164,96	5218,24

En cuanto al análisis en función de la procedencia, las piezas de Extremadura y Cataluña mostraron, de forma general, valores significativamente superiores al resto, con la procedencia Asturias con valores intermedios y Castilla y León y Galicia con valores significativamente menores.

Las figuras 5.4.5 - 5.4.8 muestran los diagramas de cajas de los análisis de varianza de las velocidades de onda, con los datos segregados por procedencia y sección.

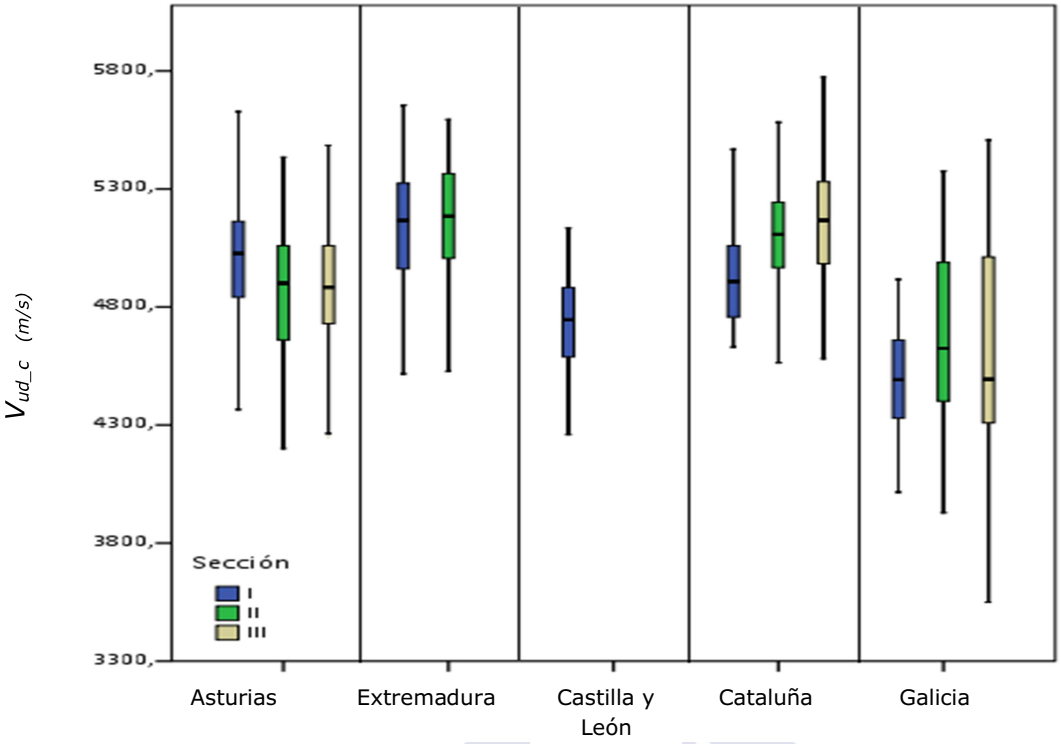


Figura 5.4.5. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (Sylvatest, ultrasonidos) (V_{ud_c}) por sección y procedencia

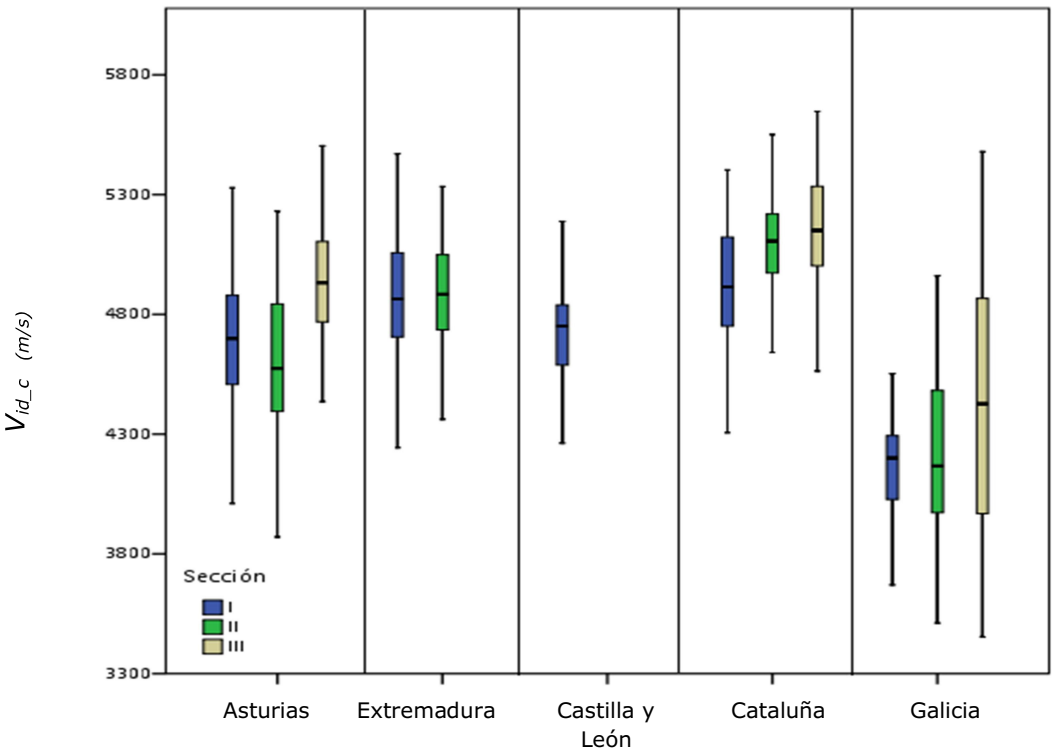


Figura 5.4.6. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (Microsecond Timer, onda de impacto) (V_{id_c}) por sección y procedencia

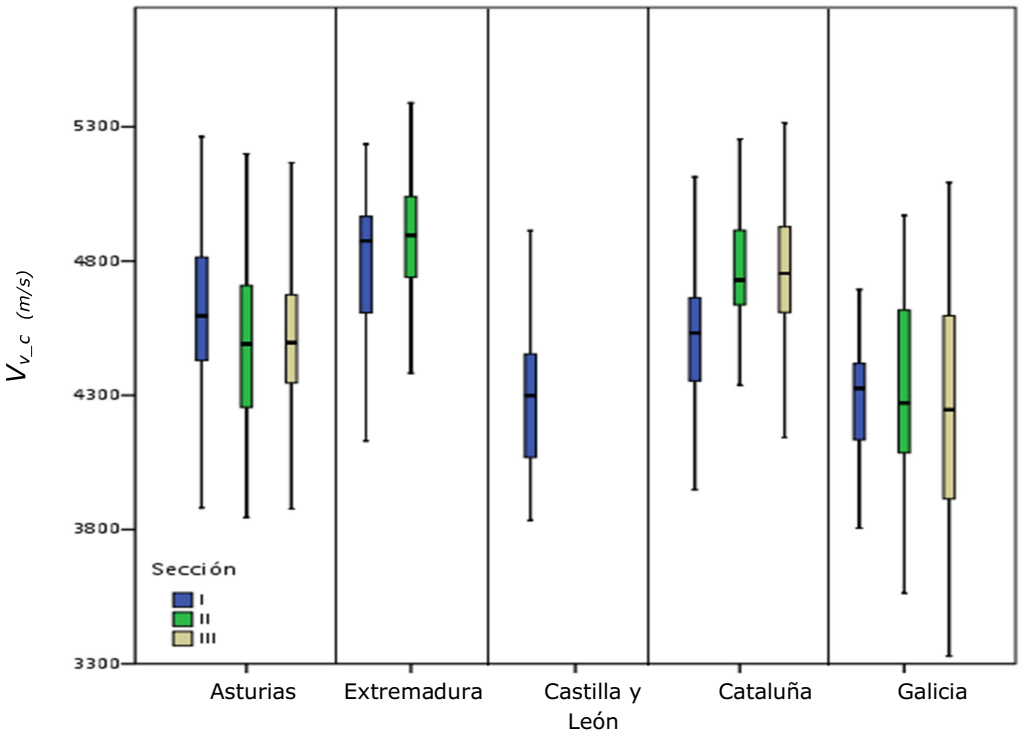


Figura 5.4.7. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda (PLG, vibraciones) (V_{v_c}) por sección y procedencia

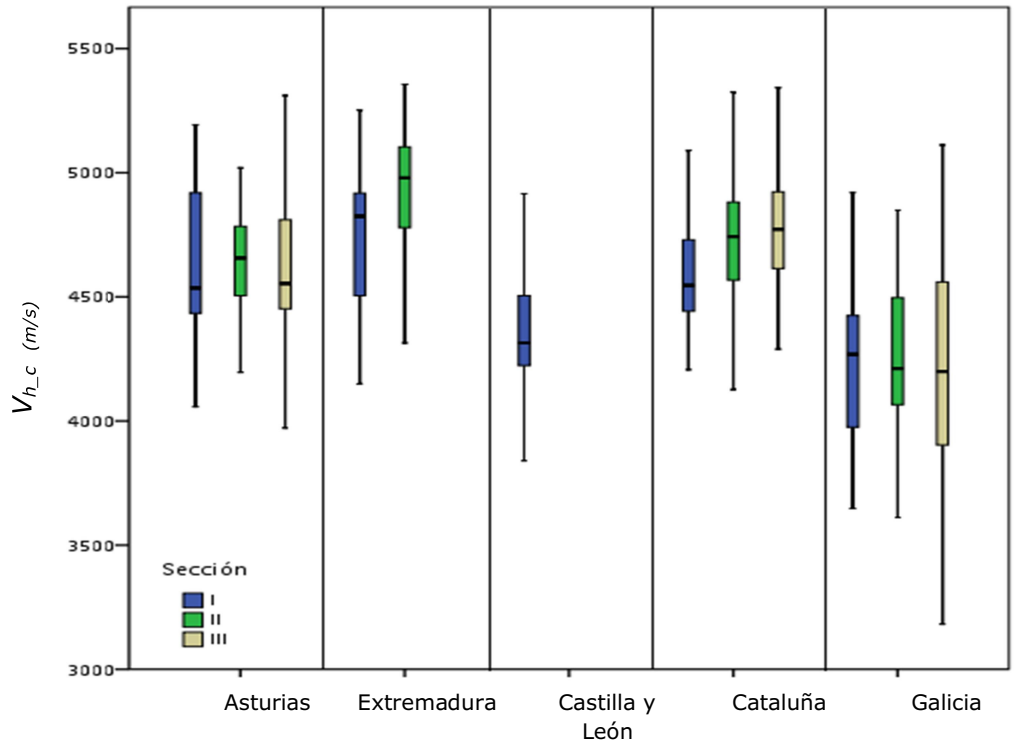


Figura 5.4.8. Diagrama de cajas de la variable velocidad de onda de vibración longitudinal (HM200, vibraciones) (V_{h_c}) por sección y procedencia

5.4.3. Módulo de elasticidad dinámico

A continuación se muestran los resultados referentes a la variable módulo de elasticidad dinámico para los cuatro equipos empleados: *Sylvatest* (E_{din_ud}), *Micorsecond Timer* (E_{din_id}), *PLG* (E_{din_v}) y *HM200* (E_{din_h}).

Tabla 5.4.4. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico para todas las muestras ensayadas

Variable	Equipo	N	Media (kN/mm²)	C.V. (%)	Mínimo (kN/mm²)	Máximo (kN/mm²)
E_{din_ud}	*Sylvatest Trio*	921	14,16	14,27	7,10	20,43
E_{din_id}	*Microsecond Timer*	921	13,17	16,81	6,18	19,59
E_{din_v}	*PLG*	920	12,12	14,97	6,87	17,71
E_{din_h}	*Hitman*	666	12,26	15,84	6,17	17,35

Al igual que lo observado en la velocidad de onda, los valores más altos fueron observados en los resultados obtenidos para el equipo Sylvatest (ultrasonidos) y los más bajos para los equipos PLG y HM200 (vibraciones).

5.4.3.1. Análisis por sección y procedencia

Los resultados de los análisis de varianza de las variables de módulo de elasticidad dinámico (E_{din_ud}, E_{din_id}, E_{din_v} y E_{din_h}) en función del tamaño de sección se muestran en la tabla 5.4.5:

Tabla 5.4.5. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico por sección.

	Sección	N	Media (kN/mm²)	C.V. (%)	Mínimo (kN/mm²)	Máximo (kN/mm²)
E_{din_ud}	I (40x100 mm)	346	14,26[a]	14,33	9,06	20,43
	II (40x150 mm)	308	14,14[a]	13,90	8,51	19,33
	III (70x150 mm)	267	14,05[a]	14,64	7,10	19,84
E_{din_id}	I (40x100 mm)	346	12,83[a]	15,41	6,98	19,12
	II (40x150 mm)	308	12,81[a]	17,75	6,87	19,59
	III (70x150 mm)	267	14,05[b]	15,68	6,18	18,98
E_{din_v}	I (40x100 mm)	346	12,17[a]	14,54	7,53	17,71
	II (40x150 mm)	304	12,23[a]	15,33	7,25	17,68
	III (70x150 mm)	270	11,93[a]	15,03	6,87	16,82
E_{din_h}	I (40x100 mm)	216	11,98[a]	15,66	7,71	17,31
	II (40x150 mm)	184	12,56[b]	16,11	7,19	17,35
	III (70x150 mm)	266	12,28[ab]	15,57	6,17	17,11

Al igual que en el análisis de las velocidades de onda, no se encontraron tendencias claras indicativas de un efecto del tamaño de sección en el módulo de elasticidad dinámico.

Los resultados de los análisis de varianza de las variables de módulo de elasticidad dinámico (E_{din_ud}, E_{din_id}, E_{din_v} y E_{din_h}) por procedencia se muestran en la tabla 5.4.6:

Tabla 5.4.6. Estadísticos descriptivos de las variables de módulo de elasticidad dinámico por procedencia.

	Procedencia	N	Media (kN/mm²)	C.V. (%)	Mínimo (kN/mm²)	Máximo (kN/mm²)
E_{din_ud}	Asturias	485	14,22[a]	12,31	8,50	18,56
	Extremadura	92	15,50[b]	12,74	9,37	20,43
	Castilla y León	33	14,43[ac]	11,92	10,75	18,81
	Cataluña	188	14,61[c]	11,85	10,14	19,84
	Galicia	123	12,15[d]	17,66	7,10	17,97
E_{din_id}	Asturias	485	13,21[a]	14,03	8,12	18,52
	Extremadura	92	13,97[b]	12,49	10,04	19,12
	Castilla y León	33	12,22[c]	11,42	9,54	15,24
	Cataluña	188	14,58[d]	12,72	8,12	19,59
	Galicia	123	10,55[e]	20,26	6,18	16,42
E_{din_v}	Asturias	480	12,07[a]	13,06	8,51	16,56
	Extremadura	92	13,79[b]	12,39	9,08	17,71
	Castilla y León	33	11,77[a]	14,13	8,85	16,67
	Cataluña	188	12,52[c]	12,79	9,00	17,38
	Galicia	127	10,61[d]	17,25	6,87	15,54
E_{din_h}	Asturias	231	12,46[ac]	13,21	8,57	17,11
	Extremadura	91	13,74[b]	12,24	10,24	17,35
	Castilla y León	33	11,93[a]	13,98	8,88	16,69
	Cataluña	188	12,61[c]	11,96	9,04	16,99
	Galicia	123	10,36[d]	18,35	6,17	15,51

Las diferencias observadas en las velocidades por procedencia se mantienen de forma general en cuanto al módulo de elasticidad dinámico, tendencias lógicas debido a la relación directa entre ambas variables (ecuación 3.10, apartado 3.3.3).

Estas diferencias (tanto en la velocidad de onda como en el módulo de elasticidad dinámico) concuerdan con las observadas en el módulo de elasticidad global y local (apartado 5.2.2), donde también Cataluña, Extremadura y Asturias mostraron valores significativamente superiores a Castilla y León y Galicia.

Las figuras 5.4.9 - 5.4.12 muestran los diagramas de cajas de los análisis de varianza de los módulos de elasticidad dinámicos, con los datos segregados por procedencia y sección.

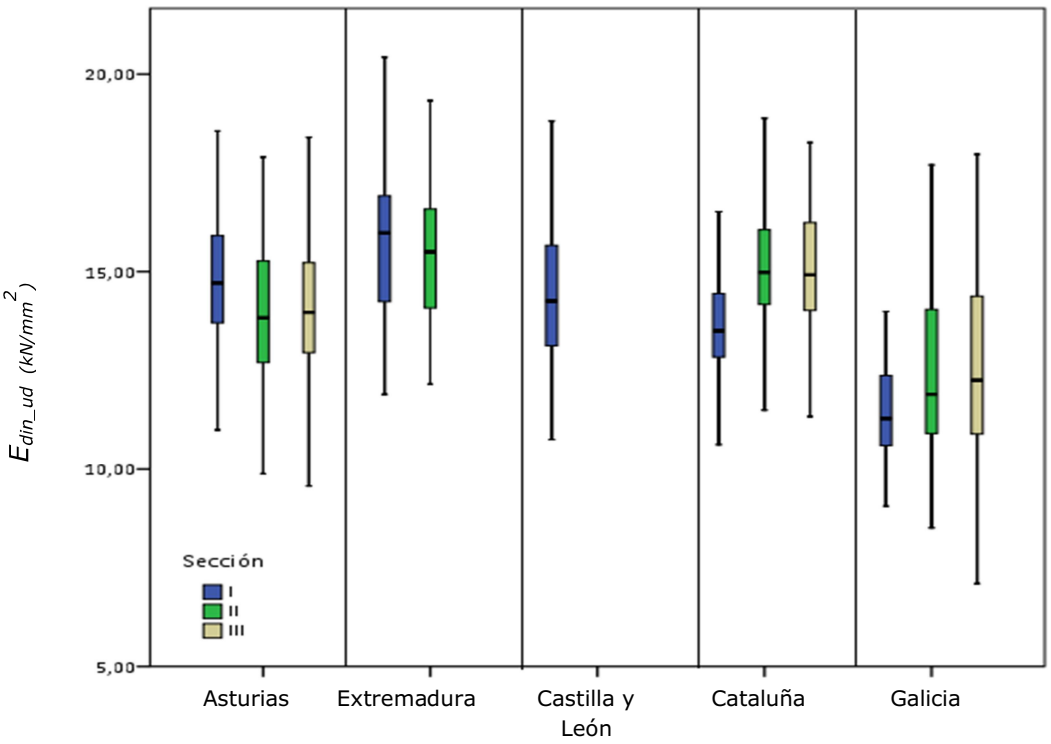


Figura 5.4.9. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (Sylvatest, ultrasonidos) (E_{din_ud}) por sección y procedencia

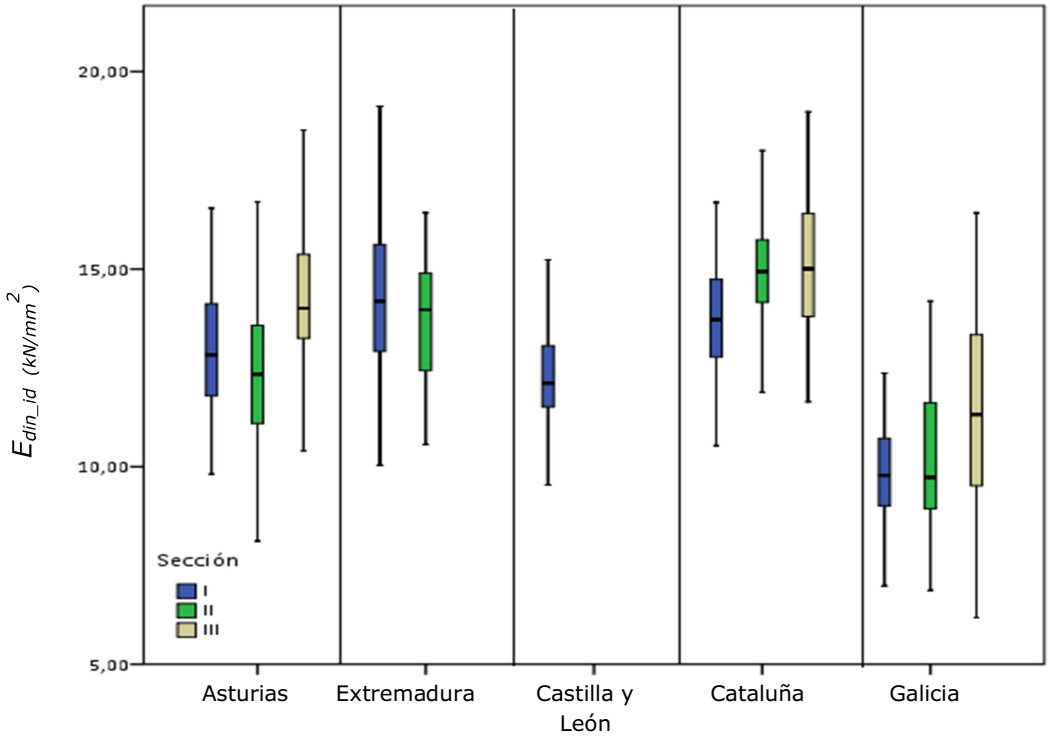


Figura 5.4.10. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (Microsecond Timer, onda de impacto) (E_{din_id}) por sección y procedencia

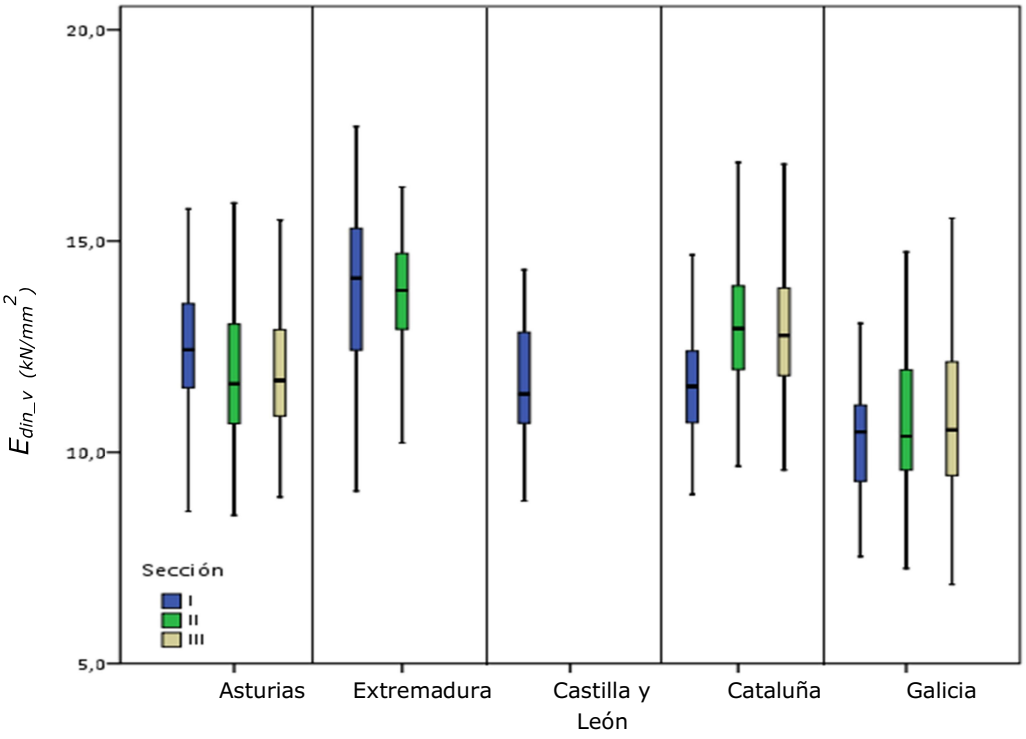


Figura 5.4.11. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (PLG, vibraciones) (E_{din_v}) por sección y procedencia

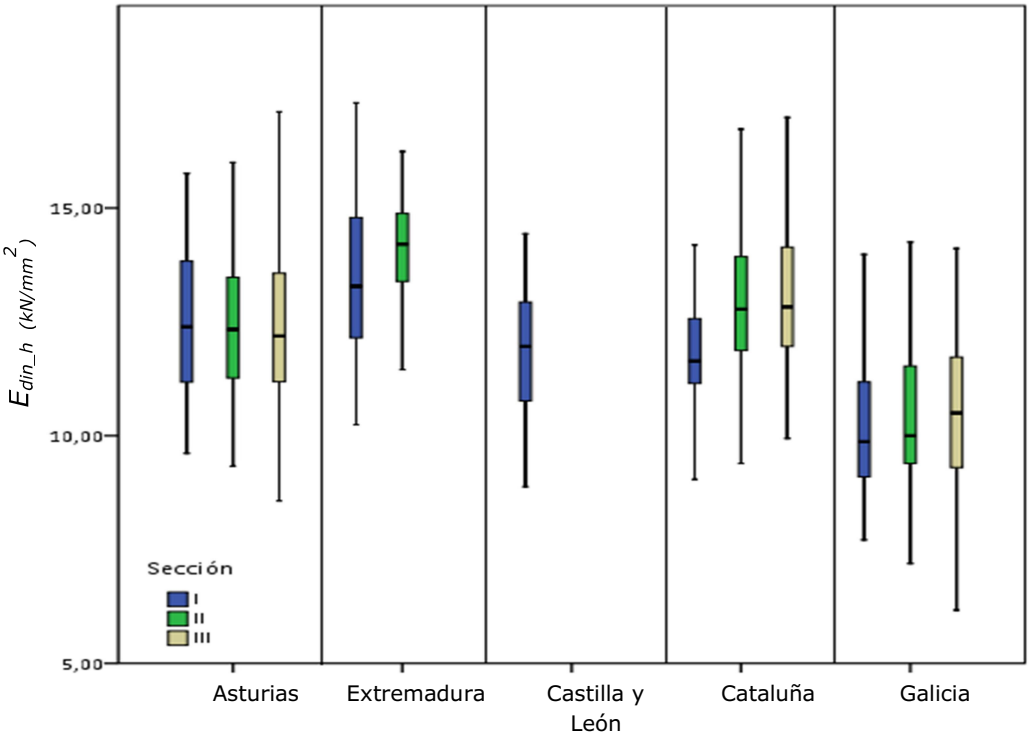


Figura 5.4.12. Diagrama de cajas de la variable módulo de elasticidad dinámico (HM200, vibraciones) (E_{din_h}) por sección y procedencia

5.4.3.2. Relación entre medidas directas e indirectas

Fue llevada a cabo un análisis de la correlación entre las medidas directas e indirectas de los métodos de ultrasonidos y onda de impacto, mediante regresión lineal. Los modelos obtenidos, con sus coeficientes de determinación, se muestran en las tablas 5.4.7 y 5.4.8.

Tabla 5.4.7. Modelo de regresión lineal de las variables de ultrasonidos de forma directa E_{din_ud} (variable dependiente) e indirecta E_{din_ui} (variable independiente)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
E_{din_ud}	E_{din_ui}	2,546	0,860	0,000	**0,785**

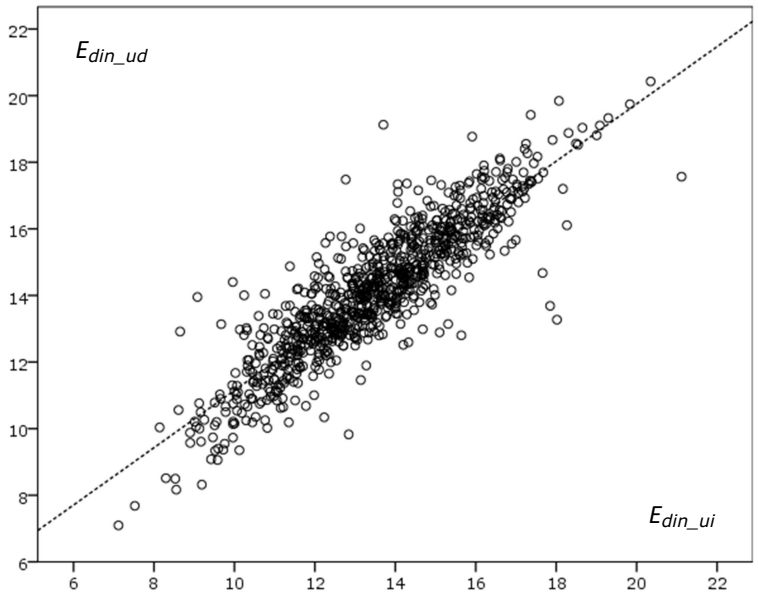


Figura 5.4.13a. Regresión lineal E_{din_ud} – E_{din_ui}

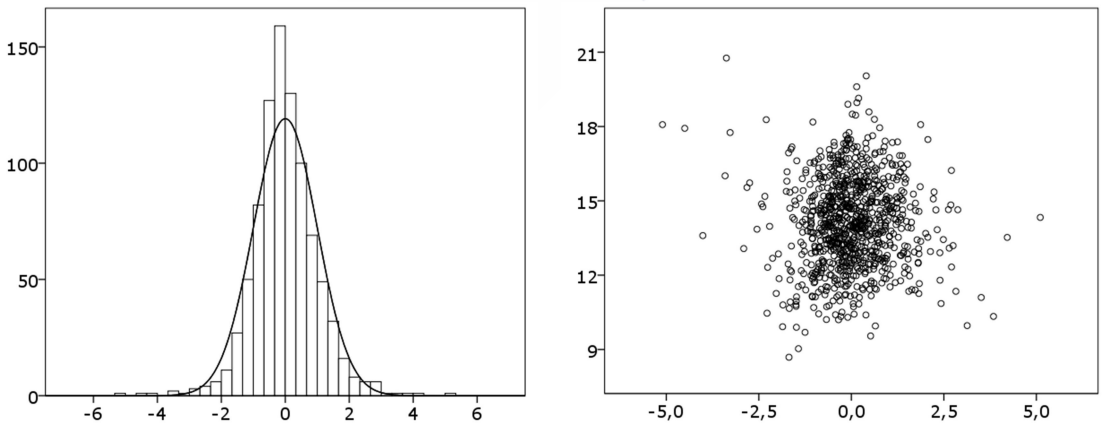


Figura 5.4.13b. Análisis de los residuos del modelo E_{din_ud} – E_{din_ui}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha)

Tabla 5.4.8. Modelo de regresión lineal de las variables de onda de impacto de forma directa E_{din_id} (variable dependiente) e indirecta E_{din_ii} (variable independiente)

Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
E_{din_id}	E_{din_ii}	1,867	0,885	0,000	**0,759**

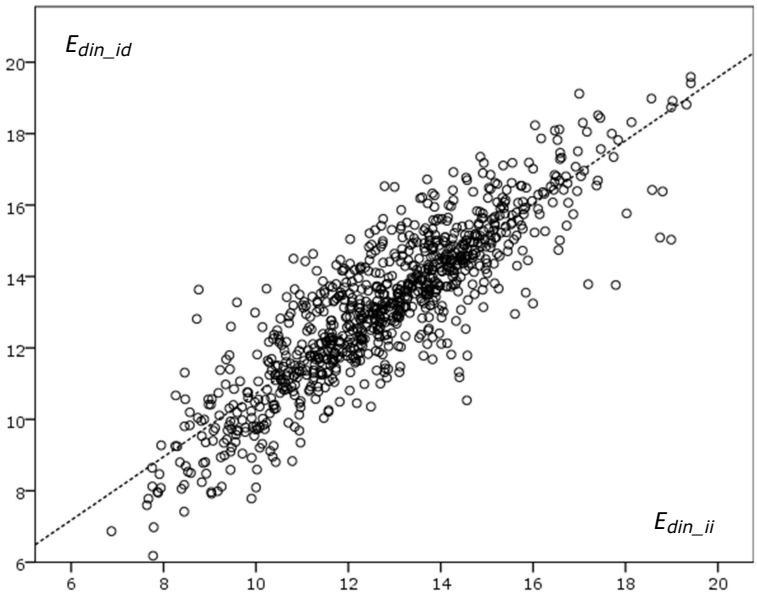


Figura 5.4.14a. Regresión lineal E_{din_id} – E_{din_ii}

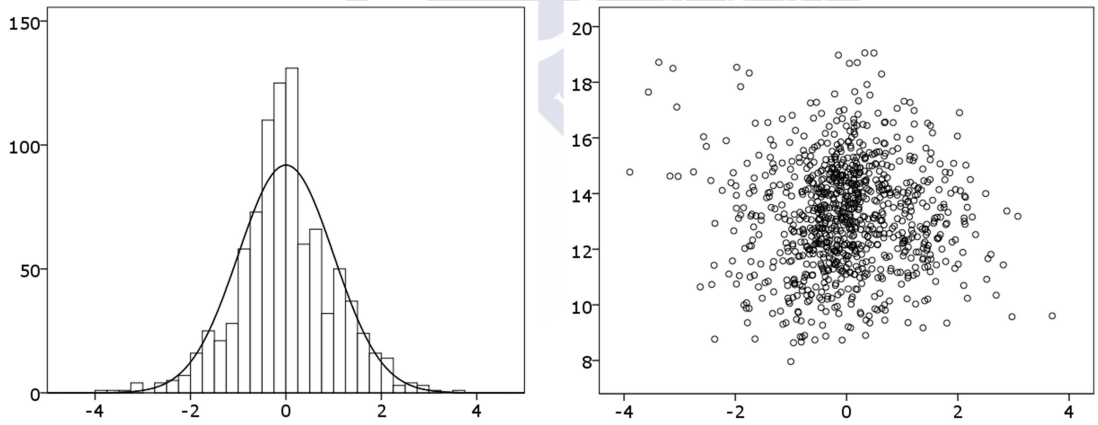


Figura 5.4.14b. Análisis de los residuos del modelo E_{din_id} – E_{din_ii}. Histograma de frecuencias (izquierda) y figura de dispersión de los residuos (derecha)

Las relaciones entre la estimación directa e indirecta del módulo de elasticidad dinámico mediante las técnicas de onda de impacto y ultrasonidos mostraron una buena correlación (R^2=0,79 para el equipo Sylvatest y 0,76 para el equipo Microsecond Timer). De estos resultados puede concluirse que las mediciones indirectas cara-cara son susceptibles de ser realizadas con relativa fiabilidad, cuando no sea posible la medición directa testa-testa.

5.4.4. Relaciones entre variables

5.4.4.1. Módulo de elasticidad global vs. velocidad de onda

Fueron realizados análisis de regresión lineal entre las variables obtenidas en los ensayos no destructivos (velocidades de onda y módulos de elasticidad dinámicos) y las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad global, resistencia a flexión) y densidad.

En primer lugar se procedió a realizar las regresiones empleando el módulo de elasticidad global como variable dependiente y la velocidad de onda (obtenida en cada una de las técnicas) como variable independiente:

Tabla 5.4.9. Modelo de regresión lineal de las variables E_{glo12} (v. dependiente) y V (v. independiente)

Nº Modelo	Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
1	E_{glo12}	V_{ud_c}	-6,587	0,004	0,000	**0,554**
2	E_{glo12}	V_{id_c}	-5,365	0,004	0,000	**0,527**
3	E_{glo12}	V_{v_c}	-6,513	0,004	0,000	**0,595**
4	E_{glo12}	V_{h_c}	-5,048	0,004	0,000	**0,557**

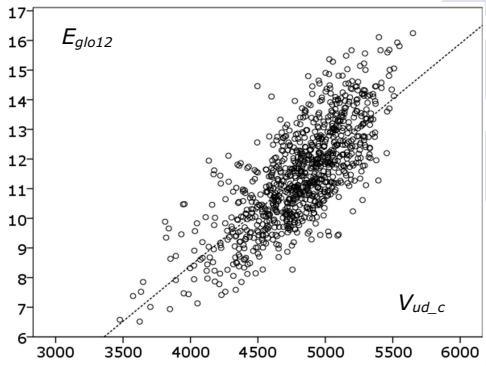


Figura 5.4.15. Regresión lineal del modelo 1

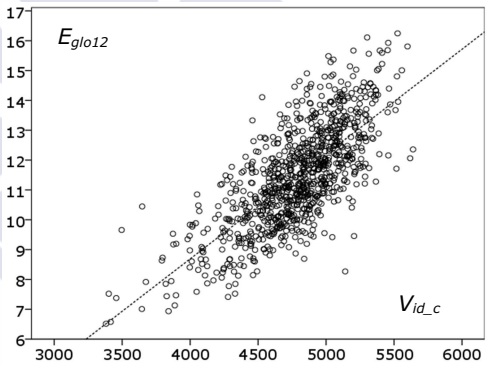


Figura 5.4.16. Regresión lineal del modelo 2

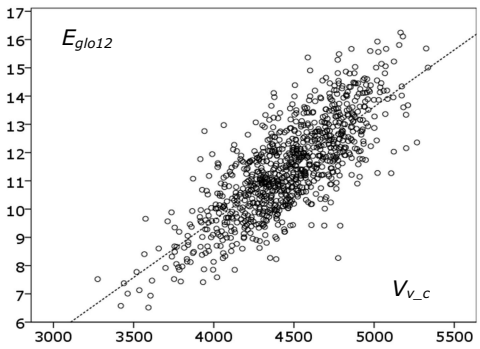


Figura 5.4.17. Regresión lineal del modelo 3

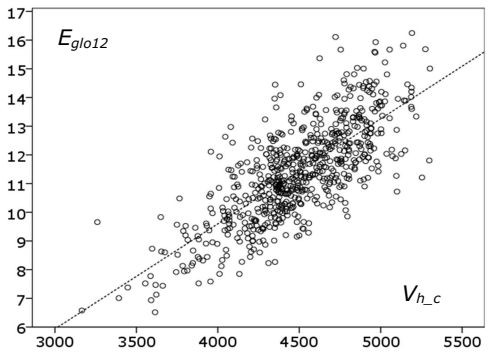


Figura 5.4.18. Regresión lineal del modelo 4

Se observa como la velocidad de onda guarda una clara correlación lineal con el módulo de elasticidad global, obteniéndose unos coeficientes de determinación similares para las cuatro técnicas empleadas, que varían entre 0,53 y 0,60.

El trabajo de Pedras *et al.* (1997) indica coeficientes de determinación de entre 0,77 y 0,81 entre la velocidad de transmisión de onda ultrasónica y el módulo de elasticidad en madera de castaño, mayores a los obtenidos en el presente trabajo debido a tratarse de estudios en probetas libres de defectos.

5.4.4.2. Resistencia a flexión vs. velocidad de onda

Se muestran los resultados referentes a la relación entre la resistencia a flexión y la velocidad de onda:

Tabla 5.4.10. Modelo de regresión lineal de las variables f_{m_c} (v. dependiente) y V (v. independiente)

Nº Modelo	Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	R^2
5	f_{m_c}	V_{ud_c}	-22,321	0,014	**0,111**
6	f_{m_c}	V_{id_c}	-10,824	0,012	**0,079**
7	f_{m_c}	V_{v_c}	-30,493	0,017	**0,151**
8	f_{m_c}	V_{v_c}	-13,219	0,013	**0,105**

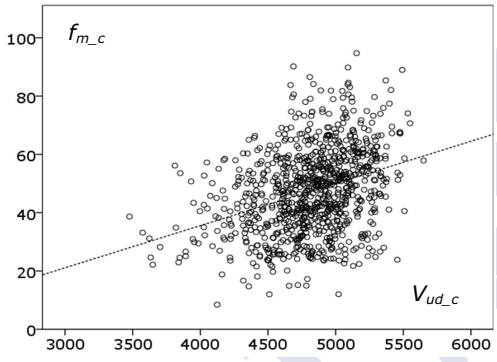


Figura 5.4.19. Regresión lineal del modelo 5

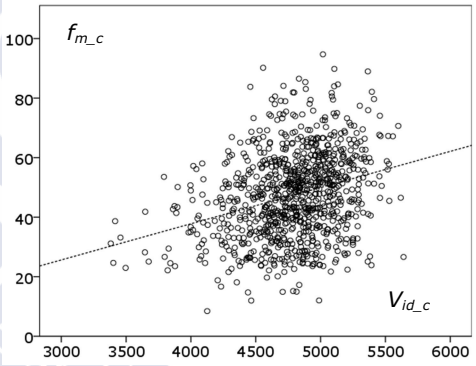


Figura 5.4.20. Regresión lineal del modelo 6

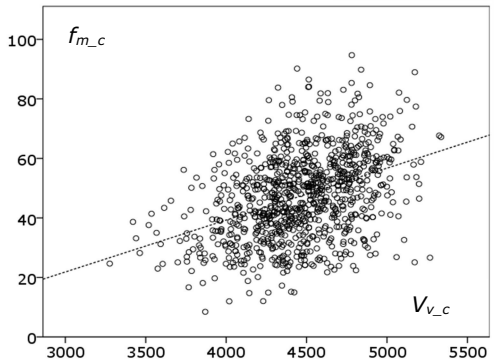


Figura 5.4.21. Regresión lineal del modelo 7

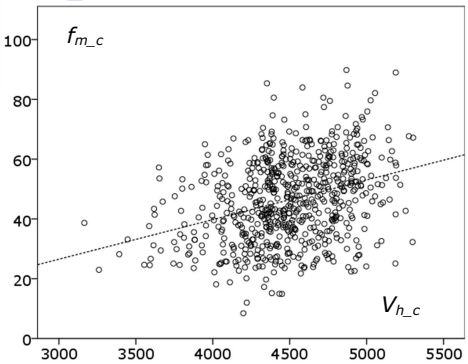


Figura 5.4.22. Regresión lineal del modelo 8

Los coeficientes de determinación obtenidos en las relaciones resistencia a flexión-velocidad de onda fueron muy bajos y no indicativos de una relación clara entre estas variables. Hermoso (2001) obtuvo coeficientes de determinación en regresiones lineales de estas variables de 0,34, en madera de pino silvestre, mientras que Esteban (2003) indica R^2 de hasta 0,10 en madera de conífera de gran escuadría.

5.4.4.3. Módulo de elasticidad global vs. módulo de elasticidad dinámico

Una vez observadas los modelos de regresión empleando la velocidad de onda, se procedió al análisis empleando como variable independiente el módulo de elasticidad dinámico:

Tabla 5.4.11. Modelo de regresión lineal de las variables E_{glo12} (variable dependiente) y E_{din} (variable independiente)

Nº Modelo	Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	Sig. Análisis de varianza	R^2
9	E_{glo12}	E_{din_ud}	1,529	0,702	0,000	**0,714**
10	E_{glo12}	E_{din_id}	3,988	0,567	0,000	**0,560**
11	E_{glo12}	E_{din_v}	1,481	0,823	0,000	**0,783**
12	E_{glo12}	E_{din_h}	2,494	0,727	0,000	**0,700**

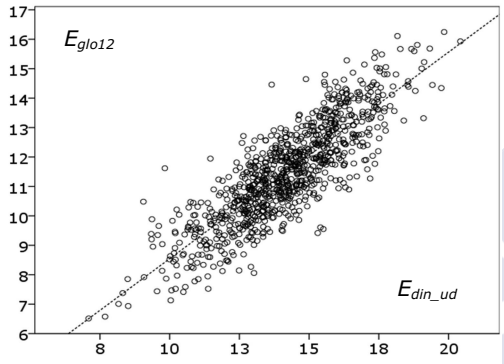


Figura 5.4.23. Regresión lineal del modelo 9

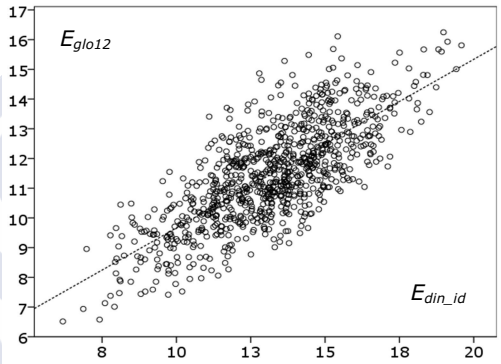


Figura 5.4.24. Regresión lineal del modelo 10

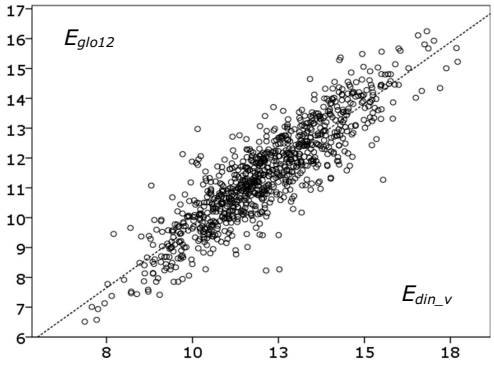


Figura 5.4.25. Regresión lineal del modelo 11

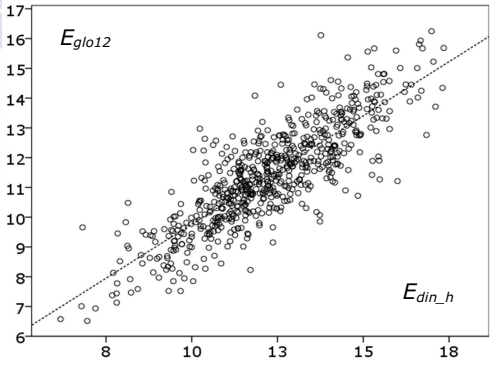


Figura 5.4.26. Regresión lineal del modelo 12

Los coeficientes de determinación obtenidos en los modelos empleando el módulo de elasticidad dinámico como variable independiente (entre 0,56 y 0,71) son mayores que en los modelos que emplean únicamente la velocidad (entre 0,53 y 0,60). A pesar de que las correlaciones observadas entre el módulo de elasticidad global y la densidad fueron muy bajos (apartado 5.2.6), se observa como sí que se produce una mejora significativa en la predicción cuando la variable densidad va asociada a la velocidad de onda en el factor módulo de elasticidad dinámico.

Los resultados obtenidos son similares a los existentes en la abundante bibliografía. Por ejemplo, para madera de coníferas, Íñiguez (2007), Carballo *et al*. (2009) y Casado *et al*. (2007), indican coeficientes de determinación de hasta 0,76, 0,70 y 0,65 usando métodos de onda de impacto, ultrasonidos y vibraciones longitudinales respectivamente. En cuanto a frondosas, aparecen R^2 de hasta 0,68 en madera de chopo (Casado *et al*., 2011) y 0,70 en madera de castaño (en relación al módulo de elasticidad en compresión paralela en probetas pequeñas libres de defectos) (Feio, 2004).

El método de obtención de la velocidad de onda a partir de la frecuencia de vibración longitudinal mediante el equipo *PLG* proporcionó los mejores modelos (tanto empleando como variable independiente la velocidad de onda como el módulo de elasticidad dinámico). Este método requiere una colocación biapoyada de la pieza de madera y el acceso a las testas para la realización del ensayo, lo que restringe su empleo en madera puesta en obra y su uso es difícilmente asumible en procesos de clasificación industriales.

Aunque el método de ultrasonidos (equipo *Sylvatest Trio*) proporcionó modelos con coeficientes de determinación ligeramente inferiores, el uso del equipo proporciona una mayor practicidad y sencillez técnica y operativa. Considerando esta visión global, la técnica de ultrasonidos resulta la más adecuada para la estimación del módulo de elasticidad de la madera de castaño fuera de laboratorio.

5.4.4.4. Resistencia a flexión vs. módulo de elasticidad dinámico

Los modelos de regresión lineal obtenidos de la relación entre resistencia a flexión y módulos de elasticidad dinámicos se muestran en la tabla 5.4.12:

Tabla 5.4.12. Modelo de regresión lineal de las variables f_{m_c} (variable dependiente) y E_{din} (variable independiente)

Nº Modelo	Var. dependiente	Var. independiente	Término independiente	Coeficiente	R^2
13	f_{m_c}	E_{din_ud}	8,897	0,218	**0,144**
14	f_{m_c}	E_{din_id}	23,075	1,846	**0,084**
15	f_{m_c}	E_{din_v}	3,588	3,610	**0,204**
16	f_{m_c}	E_{din_h}	12,455	2,764	**0,146**

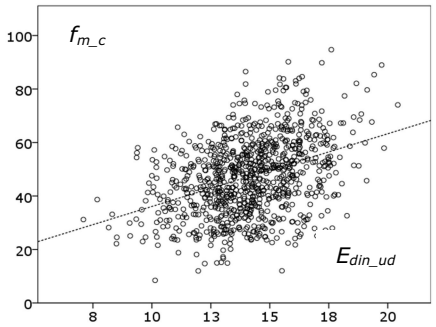


Figura 5.4.27. Regresión lineal del modelo 13

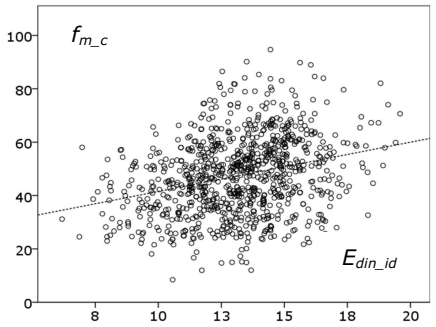


Figura 5.4.28. Regresión lineal del modelo 14

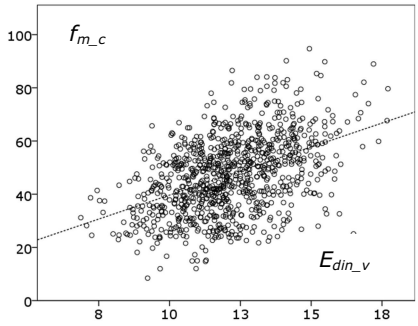


Figura 5.4.29. Regresión lineal del modelo 15

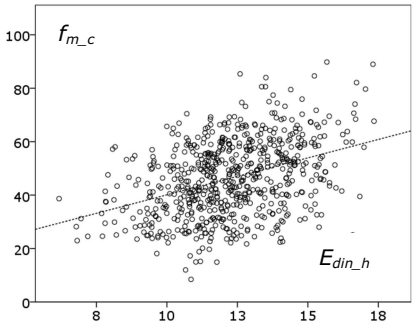


Figura 5.4.30. Regresión lineal del modelo 16

El empleo de las variables de módulo de elasticidad dinámico en lugar de las velocidades de onda como variable independiente mejora ligeramente los ajustes, pero con valores igualmente bajos (mayor R^2 = 0,20). Si bien se observa cierta tendencia, el empleo de estas variables (velocidad de onda o módulo de elasticidad dinámico) por sí solas no resulta suficiente para una estimación razonable de la resistencia a flexión mediante regresión lineal.

Si bien existen referencias a correlaciones relativamente altas (R^2=0,60-0,65) en algunos trabajos con coníferas (Íñiguez, 2007, Rajeshwar *et al*., 1997) o maderas tropicales (R^2 hasta 0,74) (van de Kuilen & Ravenshorst, 2002), es frecuente encontrar valores más bajos, como los indicados por Casado (2007) con R^2 de 0,44 y Carballo et al. (2009) hasta 0,39 con madera de *Pinus pinaster*, Hermoso (2001) con valores de hasta 0,38 y Esteban (2003) con coeficientes de determinación no mayores a 0,22.

El efecto que las singularidades de la madera tienen en las propiedades mecánicas permite plantearse el estudio de la inclusión de nuevas variables (relativas a defectos de la madera) a los modelos de regresión con el fin de mejorar la precisión de las estimaciones, especialmente en la resistencia a flexión.

5.4.5. Estimación de las propiedades mecánicas mediante la combinación de parámetros de clasificación visual y técnicas no destructivas

Con el fin de estudiar la influencia de diversos parámetros visuales relacionados con nudosidad y otras singularidades de la madera en las propiedades mecánicas, fueron medidas diferentes variables visuales (apartado 4.10.6) sobre una submuestra de 374 piezas de las tres secciones consideradas.

Fue realizado un primer análisis estadístico mediante componentes principales para las siguientes variables: Den_{Glo12}, E_{loc12}, E_{glo12}, f_{m_c}, V_{ud_c}, V_{id_c}, V_{v_c}, E_{din_ud}, E_{din_id}, E_{din_v}, *CKDR*, N_u, k, k_h, k_b, k_{cm}, k_p, P y G_d. El resultado fue la reducción de las 19 variables a 7 componentes, que explicaron el 75% de la varianza. A partir de la matriz de correlaciones y el peso de cada variable en los componentes determinados, se decidió suprimir las variables k_{cm}, k_t (índices de nudosidad), G_d (desviación de la fibra) y P (presencia de médula), debido a la nulo o escaso efecto en la variabilidad del conjunto.

Fue llevado a cabo un análisis con las 17 variables restantes, dando como resultado la reducción a 4 componentes que explican un 69% de la varianza (tabla 5.4.13).

Tabla 5.4.13. Autovalores y proporción de la varianza explicada por cada componente

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4
Autovalor inicial	7,04	2,91	1,71	1,48
Proporción de la varianza	0,37	0,15	0,09	0,08
Proporción acumulada	0,37	0,52	0,61	0,69

Tabla 5.4.14. Análisis de los componentes principales

	Variable	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4
Variables físico-mecánicas	Den_{Glo12}	0,13	0,44	-0,85	0,07
	E_{loc12}	0,80	0,21	-0,22	0,09
	E_{glo12}	0,89	0,20	-0,21	0,10
	f_{m_c}	0,44	0,12	-0,10	0,08
Variables NDT	V_{ud_c}	0,82	0,12	0,45	0,01
	V_{id_c}	0,85	0,05	0,39	-0,10
	V_{v_c}	0,84	-0,03	0,42	-0,17
	E_{din_ud}	0,83	0,41	-0,16	-0,06
	E_{din_id}	0,86	0,32	-0,17	-0,06
	E_{din_v}	0,90	0,25	-0,11	-0,14
Variables de nudosidad	*CKDR*	-0,35	0,56	0,13	0,06
	N_u	-0,28	0,38	-0,12	0,25
	K	-0,24	0,66	0,16	-0,51
	k_h	-0,37	0,66	0,26	-0,13
	k_b	-0,42	0,44	0,03	0,16
	k_c	-0,17	0,28	0,28	0,54
	k_p	-0,23	0,20	0,09	0,64

Tal y como muestra la tabla 5.4.13, el primer componente (explicativo del 37% de la varianza) se observa fuertemente ligado a las variables de velocidades de transmisión de onda y módulos de elasticidad estáticos y dinámicos, siendo además en el que la variable f_{m_c} cuenta con mayor peso. El segundo componente (explicativo del 15% de la varianza) se relaciona con las variables

de nudosidad, sin que se observen relaciones importantes con las variables mecánicas. El resto de componentes, explicativos de un porcentaje de varianza menor, no muestran una información clara de posibles tendencias o relaciones entre ninguna variable o grupos de variables.

En base a lo observado en el componente 1 (explicativo de una mayor proporción de la varianza global y fuertemente relacionado con las propiedades mecánicas y variables no destructivas), las variables visuales que mostraron una mayor correlación con las propiedades mecánicas fueron, por este orden k_b, k_h y *CKDR*. Éstas fueron, por tanto, las variables elegidas para emplear, junto con las velocidades de onda, módulos de elasticidad dinámicos, densidad y longitud de la probeta, como variables independientes en los ajustes de regresión.

Todas las variables elegidas cumplieron con el requisito de normalidad (según el test de *Kolmogorov-Smirnov* para un nivel de significación de 0,05) salvo *CKDR,* K_h *y* K_b. Para el cumplimiento de dicha condición, se realizó una transformación de estas variables. El empleo de la raíz cuadrada permitió transformarlas en variables con distribución normal, siendo redefinidas como $CKDR^{1/2}$, $k_h^{1/2}$ y $k_b^{1/2}$ respectivamente.

En base al análisis de componentes principales fueron seleccionadas las variables a emplear, y fueron realizados ajustes lineales por regresión paso a paso, empleando como variables dependientes el módulo de elasticidad (E_{glo12}) y la resistencia a flexión (f_{m_c}), con el objetivo de obtener modelos de regresión lineal múltiple.

Las tablas 5.4.15 y 5.4.16 muestran los resultados de los ajustes de regresión de los modelos predictivos de E_{glo12} y f_{m_c}. No aparecen los modelos con variables independientes cuya adición no supuso un efecto significativo:

Tabla 5.4.15. Coeficiente de correlación y error de las regresiones lineales

Var. dependiente	Var. independiente/s	R^2	Error (u)
E_{glo12}	V_{ud_c}	0,520	0,991
	V_{id_c}	0,518	0,993
	Vv_c	0,470	1,041
	$V_{ud_c} + Den_{Glo12}$	0,707	0,776
	$V_{id_c} + Den_{Glo12}$	0,684	0,806
	$V_{v_c} + Den_{Glo12}$	0,684	0,806
	E_{din_ud}	0,697	0,787
	E_{din_id}	0,675	0,815
	E_{din_v}	0,674	0,816
	$V_{ud_c} + Den_{Glo12} + L$	0,721	0,759
	$V_{id_c} + Den_{Glo12} + L$	0,721	0,759
	$V_{v_c} + Den_{Glo12} + L$	0,740	0,734
f_{m_c}	V_{ud_c}	0,122	12,363
	V_{id_c}	0,109	12,455
	V_{v_c}	0,162	12,076
	E_{din_ud}	0,120	12,374
	E_{din_id}	0,107	12,471
	E_{din_v}	0,170	12,022
	$E_{din_ud} + CKDR^{1/2}$	0,134	11,754
	$E_{din_ud} + k_h^{1/2}$	0,192	11,390
	$E_{din_v} + k_h^{1/2}$	0,228	11,135
	$E_{din_ud} + k_b^{1/2}$	0,173	11,542
	$E_{din_v} + k_b^{1/2}$	0,210	11,282
	$E_{din_ud} + CKDR^{1/2} + L$	0,231	11,104
	$E_{din_v} + CKDR^{1/2} + L$	0,270	10,790
	$E_{din_ud} + k_h^{1/2} + L$	0,271	10,851
	$Ed_{in_v} + k_h^{1/2} + L$	0,330	10,401

Tabla 5.4.16. Modelos de regresión lineal con mayor coeficiente de determinación y menor error obtenidos para cada variable dependiente estudiada (E_{glo_12} y f_{m_c})

$E_{glo_12} = \beta_0 + \beta_1 V_{v_c} + \beta_2 Den_{glo12} + \beta_3 L + u$						
β_0	β_1	β_2	β_3	u	R^2	Durbin-Watson
-14,623	0,004	0,016	- 0,001	0,734	0,740	1,851
$f_{m_c} = \beta_0 + \beta_1 E_{din_v} + \beta_2 k_h^{1/2} + \beta_3 L + u$						
β_0	β_1	β_2	β_3	u	R^2	Durbin-Watson
50,272	3,367	- 22,167	– 0,009	10,401	0,330	1,847

El análisis de los residuos permitió comprobar la normalidad y homocedasticidad en el modelo para E_{glo_12} (figura 5.4.31), así como la ausencia de autocorrelación según el estadístico *Durbin-Watson*. Sin embargo, según el figura de los residuos del modelo para f_{m_c} (figura 5.4.32) se observa la posible existencia de heterocedasticidad, al no cumplirse la hipótesis de varianza constante a través de todos los datos.

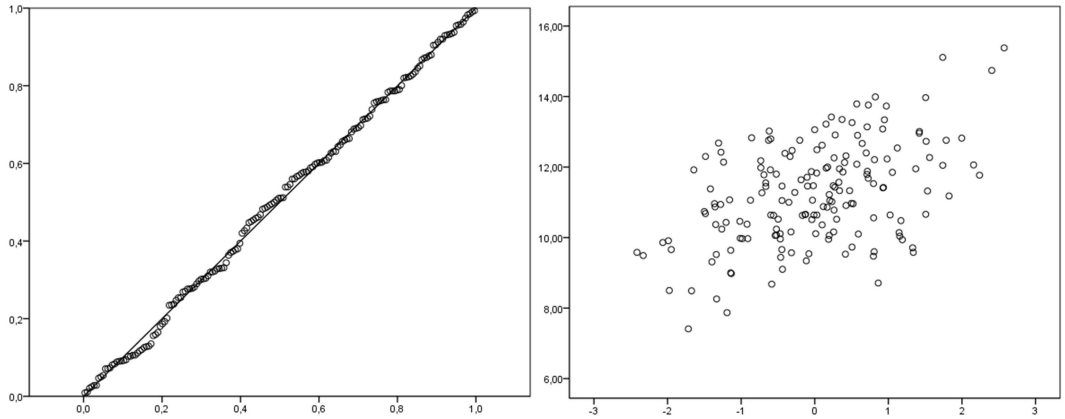


Figura 5.4.31. Análisis de los residuos del modelo de regresión lineal para la variable dependiente E_{glo_12}

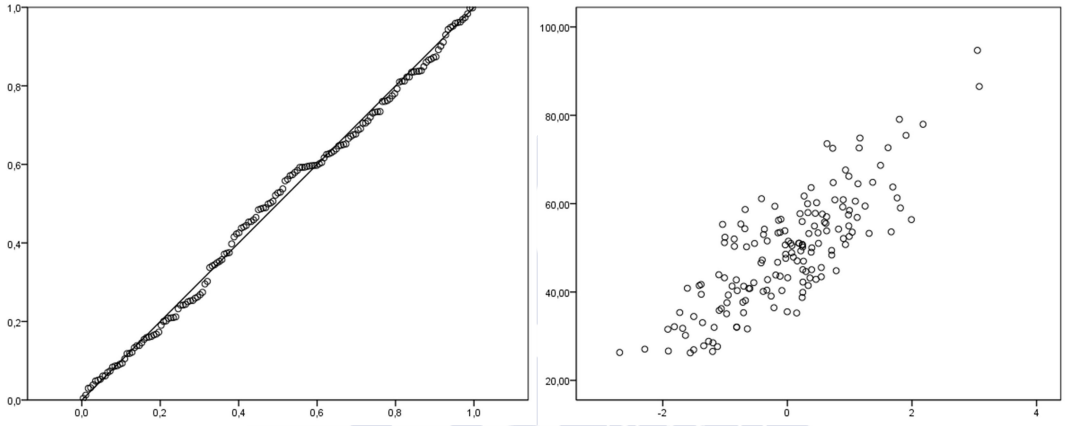


Figura 5.4.32. Análisis de los residuos del modelo de regresión lineal para la variable dependiente f_{m_c}

Los modelos fueron validados con la submuestra seleccionada a tal fin. Para ello se utilizó el índice de reducción en validación cruzada, igual a R_a^2-R_b^2, donde R_a es la correlación entre los valores observados y predichos de la submuestra objeto de las regresiones y R_b es la correlación entre los valores observados y predichos de la submuestra independiente seleccionada para la validación. Los índices de reducción en la validación cruzada fueron en ambos casos menores a 0,1, lo cual permite asumir una buena fiabilidad en los modelos (tabla 5.4.16).

Tabla 5.4.17. Validación cruzada de los modelos

	R_a^2	R_b^2	$\lvert R_a^2-R_b^2\rvert$
E_{glo_12} = -14,623 + 0,004V_{v_c} + 0,016Den_{glo12} - 0,001l	0,727	0,677	0,050
f_{m_c} = 50,272 + 3,367E_{din_v} - 22,167$k_h^{1/2}$ – 0,009l	0,328	0,262	0,066

Los coeficientes de determinación de los modelos para E_{glo_12} mostraron un mejor ajuste al emplear la velocidad de onda y la densidad de forma lineal, y no los módulos de elasticidad dinámicos. El empleo de la variable longitud (L) mejoró sensiblemente los ajustes, pero la adición de variables de nudosidad ($CKDR^{1/2}$, $k_h^{1/2}$ o $k_b^{1/2}$) no se tradujo en una mejora significativa. El modelo con un coeficiente de determinación más alto (0,740) y un error más bajo (0,734)

fue el obtenido empleando como variables independientes la velocidad de onda de vibración (V_{v_c}), densidad (ρ) y longitud de probeta (l).

Los ajustes de regresión para la variable dependiente f_{m_c} mostraron coeficientes de determinación bajos y errores altos, siendo el mejor modelo el obtenido empleando como variables independientes E_{din_v}, $k_h^{1/2}$ y l (R^2=0,330).

La relación entre las técnicas no destructivas aplicadas en madera y la resistencia a flexión ha sido estudiada en trabajos muy diversos, si bien la alta variabilidad de esta propiedad mecánica muestra resultados muy diversos. Por ejemplo, en el ya citado trabajo de Íñiguez (2007) se indican coeficientes de determinación de hasta 0,680 para modelos predictores de la resistencia a flexión en función del módulo de elasticidad dinámico y el índice *CKDR*. Conde *et al*. (2007) incorporó parámetros de nudosidad para mejorar las estimaciones de la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad de madera estructural de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, mejorando sensiblemente los modelos de predicción en base a variables de ultrasonidos. Sin embargo, en madera estructural de castaño, Nocetti *et al*. (2010) muestra coeficientes de determinación no mayores a 0,184 relacionando la resistencia a flexión con el módulo de elasticidad dinámico y diversos parámetros de nudosidad.

5.4.6. Las técnicas no destructivas como complemento y alternativa a la clasificación visual

La evaluación de las singularidades de la madera y la clasificación resistente de la misma en función de unos criterios limitantes supone un método de directa aplicación y empleo universalmente extendido. El apartado 5.3 se mostraban los criterios especificados para la clasificación visual de la madera de castaño de procedencia española y los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de cada grupo tras la clasificación.

A pesar de la probada relación entre las singularidades de la madera y sus propiedades mecánicas, la clasificación visual cuenta con cierto grado de subjetividad y las especificaciones limitantes definidas como línea de corte entre la madera válida o rechazada son establecidas en su mayor parte en base a meros criterios estadísticos.

De este punto de vista, resulta coherente el planteamiento de nuevas vías de clasificación en base a la consideración de otras variables relacionadas con las propiedades mecánicas de la madera. Las técnicas no destructivas proporcionan modelos predictivos fiables, especialmente de la rigidez, dando consistencia a la base de partida para el establecimiento de nuevos sistemas de clasificación. La medición de estas variables sónicas proporciona además, ventajas adicionales con respecto a la clasificación visual: por un lado cuentan con una mayor precisión y exactitud al eliminar la subjetividad intrínseca de la evaluación visual y minimizar el error de medición y, por otro, proporciona información con una relación directa y demostrada con, al menos, una de las propiedades fundamentales de clasificación (módulo de elasticidad).

La tabla 5.4.18 muestra los valores medios de velocidad de transmisión de onda de los equipos no destructivos empleados para cada grupo formado por las piezas clasificadas MEF y rechazadas según los criterios definidos en el apartado 5.3.

Tabla 5.4.18. Velocidades de onda mediante técnica de ultrasonidos (V_{ud_c}), onda de impacto (V_{id_c}) y vibraciones (V_{v_c} y V_{h_c}) según piezas clasificadas MEF y rechazadas

Clase visual	V_{ud_c} (m/s)	CV (%)	V_{id_c} (m/s)	CV (%)	V_{v_c} (m/s)	CV (%)	V_{h_c} (m/s)	CV (%)
MEF	4950[a]	6,63	4794[a]	8,12	4586[a]	7,06	4620[a]	7,36
R	4781[b]	7,68	4583[b]	8,58	4403[b]	7,40	4407[b]	8,15

Se observa como los valores medios de velocidad de onda de todos los equipos empleados son significativamente mayores en los grupos de piezas clasificadas MEF. Este hecho afianza la idea de que ambas herramientas de clasificación (visual y métodos sónicos) pueden ser empleadas de forma complementaria.

Una vez analizada la relación de las variables de velocidad de onda con las propiedades mecánicas y el paralelismo existente con la clasificación visual, resulta necesario el establecimiento de unos valores limitantes para estas

variables, es decir, la definición de los *puntos de corte* que permitan clasificar la madera como válida para uso estructural o madera de rechazo.

Para ello, en primer lugar se estudiaron las distribuciones de las variables de velocidad de onda, calculando los percentiles 10, 15, 20, 25 y 30:

Tabla 5.4.19. Distribución por percentiles de las velocidades de onda mediante técnica de ultrasonidos (V_{ud_c}), onda de impacto (V_{id_c}) y vibraciones (V_{v_c} y V_{h_c})

Percentil (%)	V_{ud_c} (m/s)	V_{id_c} (m/s)	V_{v_c} (m/s)	V_{h_c} (m/s)
10	4466	4215	4131	4145
15	4573	4329	4211	4243
20	4660	4427	4287	4305
25	4723	4504	4343	4376
30	4776	4587	4395	4430

El valor de velocidad de onda elegido como criterio determinante debe amoldarse a una coherencia dentro del contexto de la clasificación, de forma que ambos grupos estén claramente diferenciados en base a sus propiedades mecánicas pero al mismo tiempo proporcione unos porcentajes de clasificación del mismo orden de magnitud que los proporcionados por la clasificación visual (asignación de una clase resistente D24 a las piezas MEF y en torno a un 18% de piezas rechazadas).

Fueron calculados los valores característicos (valor medio del módulo de elasticidad y quinto percentil de la resistencia a flexión y la densidad) de cada grupo de piezas con valores de velocidad por encima y por debajo de los indicados en la tabla 5.4.19, para cada percentil. La tabla 5.4.20 muestra estos valores en función de las velocidades de onda ultrasónica (V_{ud_c}):

Tabla 5.4.20. Valor medio del módulo de elasticidad (E_{norm12}), 5º percentil de la resistencia a flexión (f_{05}) y 5º percentil de la densidad (Den_{Loc12_05}) según clasificación por velocidad de onda ultrasónica (V_{ud_c})

Percentil de la distribución	V_{ud_c} (m/s)	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	% piezas
10	>4466	12,52	25,75	510	90
	<4466	9,26	22,25	488	10
15	>4573	12,67	27,29	510	85
	<4573	9,54	22,30	503	15
20	>4660	12,80	28,62	509	80
	<4660	9,76	22,14	506	20
25	>4723	12,89	28,51	509	75
	<4723	10,10	22,51	508	25
30	>4776	13,01	28,42	509	70
	<4776	10,31	22,93	509	30

Los valores de módulo de elasticidad y resistencia a flexión aparecen claramente diferenciados cuando se clasifica con la velocidad de onda ultrasónica, sea cual sea el percentil de la distribución definido como límite (10, 15, 20, 25 ó 30). El empleo del percentil 10, si bien discrimina las piezas de peor calidad, no parece muy adecuado tanto por el escaso porcentaje de piezas rechazadas como por las diferencias de las propiedades de éstas con respecto a las consideradas estructurales (menores que empleando otros percentiles).

Los percentiles 25 y 30 proporcionan, a priori, porcentajes de rechazo demasiado elevados teniendo en cuenta el 18% que se obtiene en la clasificación visual. La elección se centró, entonces, entre el percentil 15 y 20 de la distribución de velocidad de onda ultrasónica.

Tanto el empleo de un valor de velocidad de onda de 4573 m/s (percentil 15) como de 4660 m/s (percentil 20) diferencian bien los grupos de madera estructural y rechazada, obteniéndose valores de módulo de elasticidad medio y 5º percentil de la resistencia por debajo de la clase D24 en las piezas rechazadas, y holgadamente por encima en las consideradas estructurales. Dado que estas diferencias se encuentran más marcadas al emplear el percentil 20 y proporcionan un porcentaje de rechazo (20%) similar a la clasificación visual (18%), se decidió tomar el valor de 4660 m/s de velocidad de onda ultrasónica como punto de corte entre las piezas a considerar estructurales y no estructurales. Esta decisión fue tomada en base a una posición conservadora (dada la naturaleza indirecta de los ensayos no destructivos y la variabilidad de las propiedades mecánicas) y teniendo en consideración referencias de otros trabajos como el de Montero (2013), el cual establece como valor limitante de velocidad de onda el percentil 25 de su distribución para la clasificación de madera de *Pinus sylvestris*.

La tabla 5.4.21 resume los porcentajes de aceptación y rechazo y los valores característicos de las propiedades mecánicas según la clasificación visual y según la clasificación en base a la velocidad de onda ultrasónica (velocidad de referencia V_{ud_c} = 4660 m/s).

Tabla 5.4.21. Porcentaje de aceptación y rechazo, valores característicos de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) y clase resistente asignada, según clasificación visual y clasificación mediante ultrasonidos

Clasificación visual					
	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	**CR**
MEF	82	12,33	27,99	509	D24
R	18	11,40	22,35	515	D18
Ultrasonidos					
	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	**CR**
Estructurales	80	12,80	28,62	509	D24
No estructurales	20	9,76	22,14	506	D18

Ambos tipos de clasificación, con porcentajes de aceptación y rechazo similares, segregan las piezas de forma correcta según calidad estructural. El método de ultrasonidos proporciona unos valores característicos sensiblemente más diferenciados que la clasificación visual, dando lugar a dos grupos más definidos según sus propiedades mecánicas.

Una vez comprobada la validez de la técnica de ultrasonidos para la clasificación, resultó necesario evaluar el riesgo de este método en comparación con el de la clasificación visual. Para ello, se determinó el número de piezas con valores de

propiedades mecánicas reales por debajo de la clase D24 (que serían rechazadas según ensayo mecánico) que hayan sido consideradas válidas según ambas clasificaciones (piezas sobrestimadas). Además, se determinó el porcentaje de piezas estructuralmente válidas rechazadas por los dos sistemas (piezas subestimadas).

Tabla 5.4.22. Número y porcentaje de piezas mal clasificadas según ambos sistemas (visual y ultrasonidos)

	n	Rechazos de piezas subestimadas (número/porcentaje)	Aceptación de piezas sobrestimadas (número/porcentaje)
Clasificación visual	981	(127 / 13 %)	(116 / 12 %)
Clas. por ultrasonidos	921	(74 / 8 %)	(46 / 5 %)

Empleando la clasificación visual se comete un error de subestimación (piezas rechazadas que por sus propiedades mecánicas deberían haber sido aceptadas como D24) de casi un 13%, y un error de sobrestimación (clasificación como MEF piezas que por sus propiedades mecánicas no llegan a los valores mínimos de la clase D24 y deberían haber sido rechazadas) de casi un 12%. Ambos porcentajes parecen razonables para el sistema de clasificación visual, por lo que el riesgo que se corre de clasificar erróneamente es relativamente bajo.

Al analizar los errores de clasificación según la técnica de ultrasonidos, se observa como el error de subestimación baja hasta un 8% y el error de sobrestimación (riesgo más determinante en este tipo de clasificaciones) baja hasta un 5%. Esto indica que la técnica de ultrasonidos supone un método más seguro para clasificar la madera de castaño según criterios elásticos y resistentes.

La hipotética sustitución de la clasificación visual parece poco factible dado el extendido empleo de las normativas referentes y los años de experiencia adquiridos en este tipo de clasificación, aunque los resultados obtenidos mediante ultrasonidos muestran una mayor objetividad en la clasificación y una menor sobreestimación de las propiedades. La adaptación lógica es, por tanto, el establecimiento de unas especificaciones que engloben ambos sistemas de clasificación incorporando a los criterios de clasificación visual un valor de velocidad de onda ultrasónica que también discrimine las piezas estructurales y no estructurales.

El primer paso lógico para establecer este sistema conjunto es asumir un valor de velocidad de onda igual al definido anteriormente (4660 m/s), cuyos rendimientos y objetividad en la clasificación han sido demostrados. La tabla 5.4.23 muestra el número y porcentaje de piezas (y los valores de las propiedades mecánicas) consideradas estructurales y no estructurales teniendo en cuenta tanto los criterios de clasificación visual como la velocidad de onda ultrasónica. Además, se muestra el porcentaje de piezas sobrestimadas (piezas con propiedades mecánicas deficientes clasificadas como estructurales).

Tabla 5.4.23. Rendimiento, propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) y clase resistente según la norma EN 338 de las piezas estructurales y no estructurales clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4660 m/s).

	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	Clase resistente	Piezas sobrestimadas (%)
Estructurales	68 %	12,89	29,82	510	D24	4 %
No estructurales	32 %	10,76	23,53	514	D18	

Se observa como esta clasificación conjunta proporciona en las piezas estructurales valores de módulo de elasticidad y resistencia a flexión significativamente superiores a las no estructurales y dentro de la clase D24, además de contar con un porcentaje de piezas sobreestimadas muy bajo (4%). El problema de este sistema conjunto radica en el alto porcentaje de rechazo (32%) en relación a ambos métodos empleados independientemente.

Fueron analizados de nuevo los rendimientos y valores de las propiedades mecánicas variando la velocidad de onda limitante, considerando 4573 m/s y 4466 m/s (correspondientes respectivamente al percentil 15 y 10 de la distribución de velocidades, respectivamente):

Tabla 5.4.24. Rendimiento y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) de las piezas válidas y no válidas clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4573 m/s).

	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	Clase resistente	Piezas sobrestimadas (%)
Estructurales	71 %	12,89	28,56	510	D24	5 %
No estructurales	29 %	10,80	23,29	512	D18	

Tabla 5.4.25. Rendimiento y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad E_{norm12}, quinto percentil de la resistencia a flexión f_{05} y quinto percentil de la densidad Den_{Loc12_05}) de las piezas válidas y no válidas clasificadas según criterios conjuntos de clasificación visual y velocidad de onda ultrasónica (velocidad limitante = 4466 m/s).

	%	E_{norm12} (kN/mm²)	f_{05} (N/mm²)	Den_{Loc12_05} (kg/m³)	Clase resistente	Piezas sobrestimadas (%)
Estructurales	75 %	12,64	28,33	511	D24	7 %
No estructurales	25 %	10,90	22,84	512	D18	

Al considerar unas velocidades de onda menores para discriminar las piezas estructurales y no estructurales, se produce un lógico descenso del número de piezas rechazadas, a costa de ser menos restrictivo y dar por válidas piezas de calidad estructural deficiente y aumentar el porcentaje de piezas sobrestimadas.

La elección de una velocidad de onda límite de 4466 m/s (sensiblemente inferior a la analizada considerando esta variable como único criterio clasificador) como especificación adicional a las definidas para la clasificación visual proporciona unos porcentajes de rechazo aceptables (25%) y una diferenciación de las propiedades mecánicas por clase (piezas estructurales holgadamente dentro de la clase D24). El porcentaje de piezas sobrestimadas (7%) es mayor que realizando la clasificación únicamente con el criterio de velocidad de onda (5%), pero significativamente inferior al obtenido según clasificación visual normativa (12%).

Resumiendo los resultados analizados en el presente apartado:

Puede concluirse que el empleo de técnicas no destructivas en madera de castaño mediante la medición de la velocidad de onda ultrasónica es una herramienta de clasificación más objetiva y segura que la clasificación visual (estableciendo como valor limitante de velocidad 4660 m/s).

La adición de una velocidad de onda ultrasónica limitante (4466 m/s) a los criterios definidos para la clasificación visual de madera de castaño, estableciendo así un método combinado clasificación *visual + ultrasonidos,* mejora la objetividad y seguridad de la clasificación visual tradicional, pero aumenta ligeramente el porcentaje de piezas rechazadas.

Dado que las clasificaciones visuales se encuentran reguladas normativamente y ampliamente extendidas, su sustitución completa por sistemas de clasificación alternativos como el empleo de ultrasonidos no se encuentra como opción realmente plausible. El empleo del sistema mediante ultrasonidos, sin embargo, sí resulta adecuado para la comprobación de lotes de madera clasificados en aserradero, o como herramienta de validación de los sistemas de clasificación visual.

5.5. Caracterización estructural normativa de la madera aserrada de castaño de procedencia española

A continuación se muestran los resultados referentes a la caracterización normativa realizada según lo definido en el apartado 4.13. Para ello, fueron empleadas las piezas detalladas en el apartado 4.3.1., cuya tabla resumen se muestra a continuación:

Tabla 5.5.1 Número de piezas empleadas en la caracterización normativa

Comunidad Autónoma	Sección I (40x100 mm)	Sección II (40x150 mm)	Sección III (70x150 mm)	Total
Asturias	166	163	161	490
Extremadura	45	49	-	94
Castilla y León	49	-	-	49
Cataluña	63	61	64	188
Galicia	49	56	55	160
Total	**372**	**329**	**280**	**981**

La población fue clasificada en base a los criterios definidos específicamente en el presente trabajo (apartado 5.3). La tabla 5.5.2 expone los criterios de clasificación empleados para la clase visual MEF (Madera Estructural de Frondosa) de castaño:

Tabla 5.5.2. Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular de madera de castaño (Castanea sativa Mill.) (b ≤ 70 mm y h ≤ 150 mm)

CRITERIOS DE CALIDAD			MEF
Diámetro de los nudos sobre la cara (d/h)			d ≤ 1/2 de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (d/b)			d ≤ 2/3 de "b"
Fendas	De secado[1][2]	Pasantes de testa	L (longitud) ≤ 2h
		Resto	F (profundidad) ≤ ½ de "b"
	-Rayo, heladura, abatimiento		No permitidas
Acebolladuras[3]			Permitidas con limitaciones
Madera de tracción			Admisible en 1/5 de la sección o en 1/5 de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra			1:10 (10 %)
Gemas	-Longitud		≤1/4 de "L"
	-Dimensión relativa		g ≤ 1/4
Médula			Permitida
Anchura máxima de los anillos de crecimiento			Sin limitación
Alteraciones biológicas	Pudriciones		No admitidas
	Insectos xilófagos		No se admiten ataques activos. Ataques inactivos, se admiten orificios de hasta 2 mm de diámetro
	Coloraciones		Se admite coloración rojiza/atabacado
Deformaciones máximas[1][4]			
-Curvatura de cara			10 mm (para una longitud de 2 m)
-Curvatura de canto			8 mm (para una longitud de 2 m)
-Alabeo			1 mm (por cada 25 mm de "h") (para 2 m)
-Abarquillado			Sin limitación

(1) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo

(2) Referidas a un 20% de contenido de humedad. No se tienen en cuenta aquellas fendas que tengan una longitud inferior a la menor dimensión de las dos siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m

(3) Las acebolladuras están permitidas para el castaño siempre y cuando no se superen las limitaciones siguientes:
$R_{máx} > b/3$ *y* $E > b/6$

Donde $R_{máx}$ *es el radio máximo de la acebolladura considerando la médula como centro de la circunferencia y E es la excentricidad (distancia entre la médula y el centro geométrico de la sección)*

(4) *Referidas a un 20% de contenido de humedad*

Según estos criterios, las piezas fueron clasificadas obteniéndose los siguientes porcentajes de MEF-Rechazo:

Tabla 5.5.3. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo, por procedencia y sección

Procedencia	Sección	Piezas clasificadas MEF	Piezas rechazadas	Porcentaje de rechazo
Asturias	40x100 mm	129	37	22 %
	40x150 mm	127	36	22 %
	70x150 mm	138	23	14 %
Extremadura	40x100 mm	40	5	11 %
	40x150 mm	40	9	18 %
Castilla y León	40x100 mm	40	9	18 %
Cataluña	40x100 mm	52	11	17 %
	40x150 mm	54	7	11 %
	70x150 mm	57	7	11 %
Galicia	40x100 mm	40	9	18 %
	40x150 mm	43	13	23 %
	70x150 mm	40	15	27 %
Todas	**Todas**	**800**	**181**	**18 %**

Todas las muestras (grupos de sección y procedencia diferente) contaron con al menos 40 piezas clasificadas MEF, requisito indispensable establecido en la norma EN 384. Fueron calculados los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. La tabla 5.x. muestra estos resultados por cada muestra, y los valores finales totales necesarios para la asignación de clase resistente: 5º percentil de la resistencia a flexión ($f_{m,k}$), valor medio del módulo de elasticidad ($E_{0,m}$) y 5º percentil de la densidad (ρ_k).

Tabla 5.5.4. Valores característicos de resistencia a flexión ($f_{m,k}$), módulo de elasticidad ($E_{0,m}$) y densidad (ρ_k)

| Especie | | |

En base a estos valores, fue realizada la asignación de clase resistente según la norma EN 338.

Tabla 5.5.5. Asignación de clase resistente según los valores característicos para la madera aserrada de castaño de procedencia española clasificada MEF

	Propiedades mecánicas y densidad		Clase resistente por propiedad	Clase resistente asignada
(1)	$f_{m,k}$	**27,8** N/mm²	D24	**D24**
(2)	$E_{0,m}$	**12,3** kN/mm²	D35	
(3)	ρ_k	**510** kg/m³	D24	

Tabla 5.5.6. Clases resistentes de frondosas según la norma UNE-EN 338:2010.

	D18	**D24**	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (N/mm²)								
$f_{m,k}$	18	**24** (1)	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4, 0	4,0	4,5	5,0
Rigidez (kN/mm²)								
$E_{0,m}$	9,5	10,0	11,0	**12,0** (2)	13,0	14,0	17,0	20,0
$E_{0,05}$	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
$E_{90,m}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
G_m	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (kg/m³)								
ρ_k	475	**485** (3)	530	540	550	620	700	900
ρ	570	580	640	650	660	750	840	1080

La asignación de la clase resistente queda definida en base a dos propiedades limitantes: la resistencia a flexión ($f_{m,k}$) y la densidad (ρ_k), cuyos valores se encuentran ambos por encima del valor mínimo para la clase D24 pero sin llegar a los valores de la clase D30. Sin embargo, el módulo de elasticidad ($E_{0,m}$) toma un valor superior al mínimo establecido para la clase D35. La clase resistente asignada es, por tanto, D24 según la norma EN 338:2010.

El proyecto de norma prEN 338, a aprobar durante el año 2013, contempla una nueva clase resistente para frondosas: clase D27. Los valores limitantes para dicha clase serán 27 N/mm^2 para la resistencia a flexión ($f_{m,k}$), 10,5 kN/mm^2 para el módulo de elasticidad ($E_{0,m}$) y 510 kg/m^3 para la densidad (ρ_k). La caracterización realizada permitirá asignar a la madera de castaño de pequeña escuadría una clase resistente D27, y no la D24 que resultaría según la normativa vigente a fecha de finalización de este trabajo.

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

CONCLUSIONES

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

6. CONCLUSIONES

A continuación se detallan las conclusiones de esta Tesis Doctoral, relacionados con los objetivos específicos planteados:

6.1. Propiedades mecánicas y densidad

Objetivo específico (1): *Determinación de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, módulo de cortante y resistencia a flexión) y la densidad de la madera de castaño de procedencia española, mediante la aplicación de la normativa vigente (EN 408).*

Fueron realizados ensayos destructivos sobre 981 piezas de madera aserrada estructural de castaño de las tres secciones (40x100, 40x150 y 70x150 mm), según lo definido en la norma EN 408 para la determinación del módulo de elasticidad global, el módulo de elasticidad local, el módulo de elasticidad transversal, la resistencia a flexión y la densidad.

Fueron establecidos protocolos de identificación y acondicionamiento de la madera, y elaboradas plantillas de toma de datos y cálculo de las propiedades mecánicas a partir de los resultados brutos proporcionados por los equipos de ensayo. Se elaboró una completa base de datos mediante hojas de cálculo permitiendo la aplicación automática de las correcciones normativas necesarias y el filtrado o segregación de las variables en función de las necesidades de cada análisis realizado.

Objetivo específico (2): *Estudio de la variabilidad de las propiedades mecánicas y la densidad en función del tamaño de sección y la región de procedencia de la madera.*

Módulo de elasticidad

No se encontraron tendencias que indicasen diferencias significativas del módulo de elasticidad global ni local en función del tamaño se sección. Sí fueron encontradas diferencias en función del origen de la madera, resultando que la procedencia Extremadura mostró valores significativamente mayores y Galicia significativamente menores al resto de procedencias.

Resistencia a flexión

Los valores de resistencia a flexión de las sección menor (40x100 mm) mostraron valores significativamente superiores que las secciones mayores (40x150 y 70x150 mm). La influencia negativa del aumento del tamaño de la pieza en la resistencia a flexión coincide con diversas teorías existentes y las conclusiones de numerosos trabajos de investigación. Los valores de resistencia a flexión también mostraron diferencias significativas según la procedencia de la madera, siendo de nuevo Extremadura la región que presentó un valor más alto y Galicia la que mostró unos valores significativamente más bajos.

Densidad

No fueron encontradas diferencias significativas de la densidad en función del tamaño de las piezas. En cuanto a la región de procedencia, las piezas de Castilla y León y Extremadura mostraron valores de densidad significativamente superiores al resto.

Desde una perspectiva general, puede decirse que la madera evaluada de la procedencia Extremadura posee mejores propiedades mecánicas que el resto de procedencias. De las tres regiones estudiadas con una mayor representación, Galicia presentó unos valores de las propiedades mecánicas significativamente inferiores a Asturias y Cataluña, entre las cuales no se encontraron diferencias especialmente importantes. Las causas de las diferencias en las propiedades mecánicas entre procedencias no han sido definidas, debido a la necesidad de una evaluación de multitud de parámetros (genéticos, climatológicos, ambientales, selvícolas, etc.) que supondrían desviarse del alcance planteado en este trabajo.

Objetivo específico (3): *Análisis de las relaciones existentes entre las distintas variables que definen las propiedades mecánicas y densidad*.

Una vez analizadas las relaciones entre las variables de las propiedades mecánicas y densidad, fueron establecidos modelos de regresión lineal para las diferentes combinaciones de variables.

El módulo de elasticidad global y local mostraron una lógica y alta correlación (R^2=0,750). La resistencia a flexión no mostró buena correlación con el módulo de elasticidad, no siendo posible establecer modelos lineales para la estimación precisa de esta variable (R^2=0,259). Lo mismo ocurre con la densidad, la cual no apareció significativamente correlacionada con el módulo de elasticidad ni la resistencia a flexión (R^2=0,075 y 0,015 respectivamente).

En conclusión, las relaciones estudiadas no permiten establecer modelos robustos de estimación de la resistencia a flexión en base al módulo de elasticidad o la densidad. Sí resulta posible la predicción del módulo de elasticidad local en base al módulo de elasticidad global.

6.2. Clasificación visual

Objetivo específico (4): *Evaluación de la adecuación de la norma de clasificación nacional vigente madera de frondosas (UNE 56546) a la madera de castaño y sus características.*

La aplicación directa de los criterios definidos en la norma nacional de clasificación visual vigente para madera de frondosas (UNE 56546) permitió evaluar su grado de adecuación a la madera de castaño. Los rendimientos obtenidos fueron inadmisibles (72% de piezas rechazadas) y la diferenciación de las piezas válidas y no válidas según sus propiedades mecánicas no resultó significativa. Se desechó, por tanto, la posibilidad de aplicación directa de dicha norma y se decidió el planteamiento de nuevas especificaciones adaptadas a la madera de castaño.

Objetivo específico (5): *Planteamiento de nuevos criterios de clasificación específicos para la madera de castaño en base a la influencia de las singularidades de la madera y sus propiedades mecánicas.*

La reclasificación según los nuevos criterios específicos establecidos ofreció un rendimiento coherente desde un punto de vista práctico y comercial (18% de piezas rechazadas) y permitió una mejor diferenciación en las propiedades mecánicas de las piezas válidas y rechazadas.

Las especificaciones planteadas permitieron clasificar (para anchos hasta 70 mm) la madera de castaño de procedencia española en una clase visual MEF (Madera Estructural de Frondosa), con unos valores característicos de módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad que permiten asignar una clase resistente D24 según la norma EN 338.

6.3. Técnicas no destructivas

Objetivo específico (6): *Aplicación de diferentes técnicas no destructivas basadas en métodos sónicos, con el objetivo principal de la determinación de la velocidad de transmisión de onda y el módulo de elasticidad dinámico.*

Fueron llevados a cabo ensayos experimentales mediante diversas técnicas no destructivas. Concretamente fueron empleados métodos basados en ultrasonidos, onda de impacto y análisis de vibraciones, empleando los equipos *Sylvatest Trio* de CBT-CBS, *Microsecond Timer* de Fakopp, *HM200* de Fibergen y *PLG* de Fakopp. Las variables fundamentales obtenidas fueron, para cada técnica, la velocidad de transmisión de onda y el módulo de elasticidad dinámico.

Se elaboraron plantillas de toma de datos y hojas de cálculo para la determinación de las variables empleadas en los análisis, así como para la automatización de las correcciones necesarias para cada variable.

Objetivo específico (7): *Estudio de la variabilidad de los resultados obtenidos en función del tamaño y región de procedencia de la madera.*

No fueron observadas diferencias significativas en las velocidades de onda y los módulos de elasticidad dinámicos en función del tamaño de sección. Analizando las diferencias por procedencia, se observó una tendencia similar a la encontrada al analizar el módulo de elasticidad obtenido por ensayo mecánico. Esta similitud resulta lógica siendo conocedores alta correlación entre las variables no destructivas (velocidad de onda y, especialmente, módulo de elasticidad dinámico) y las propiedades elásticas de la madera.

Objetivo específico (8): *Comprobación de la correlación existente entre las velocidades de onda obtenidas de forma directa (testa-testa) o indirecta (cara-cara).*

El análisis mediante regresión lineal de las variables obtenidas (coeficientes de determinación R^2 cercanos a 0,8), tanto en las técnicas de ultrasonidos como de onda de impacto, permite asumir que las medidas indirectas (mediante la

colocación de los sensores de medición sobre una misma cara de la pieza y no sobre sus testas) resultan fiables y susceptibles de ser empleados como metodología habitual cuando el acceso a las testas de la pieza de madera a evaluar no estén accesibles.

Objetivo específico (9): *Evaluación de las relaciones existentes entre las variables obtenidas en los métodos no destructivos y las propiedades mecánicas mediante la construcción de modelos de regresión*.

Los modelos de regresión obtenidos para la estimación del módulo de elasticidad global en base a la velocidad de transmisión de onda mostraron una clara correlación entre las variables (R^2 entre 0,53 y 0,60). Estos coeficientes de determinación aumentaron al emplear como variable independiente el módulo de elasticidad dinámico en lugar de la velocidad de onda, llegando a valores de entre 0,56 y 0,78. Estos modelos permiten por tanto estimar con una razonable fiabilidad el módulo de elasticidad de la madera de castaño a partir de la velocidad de onda y, especialmente, del módulo de elasticidad dinámico.

De los cuatro equipos empleados, el que mostró los mejores resultados fue el *PLG* (vibración longitudinal, R^2=0,78), seguido por el *Sylvatest Trio* (ultrasonidos, R^2=0,71) y el *HM200* (onda de impacto, R^2=0,70). Los modelos obtenidos a partir de las variables medidas con el *Microsecond Timer* (onda de impacto) mostraron coeficientes de determinación menores (R^2=0,56).

La resistencia a flexión no pudo ser estimada con exactitud a partir de las variables estudiadas. Los modelos de regresión mostraron coeficientes de determinación bajos (R^2 entre 0,08 y 0,15) empleando como variable independiente la velocidad de onda, y ligeramente superiores al emplear el módulo de elasticidad dinámico (R^2 entre 0,08 y 0,20).

Del mismo modo que ocurría con la estimación del módulo de elasticidad, los mejores modelos fueron obtenidos a partir de las variables obtenidas mediante el equipo *PLG*, aunque el equipo más adecuado considerando su exactitud y sencillez operativa resultó ser el *Sylvatest Trio*.

Objetivo específico (10): *Planteamiento de modelos predictivos de las propiedades mecánicas a partir de la combinación de variables no destructivas y parámetros visuales.*

Se evaluó la mejora de los modelos de estimación de las propiedades mecánicas al incluir variables adicionales relativos a parámetros visuales. Se realizó un análisis multivariante para definir los grupos de variables correlacionadas. Así, se identificaron tres variables visuales con relevancia estadística en la variabilidad de las propiedades mecánicas: k_h (relación entre el diámetro del nudo y la dimensión h), k_b (relación entre el diámetro del nudo y la dimensión b) y CKDR (índice de concentración de nudos, comercialmente empleado como variable de nudosidad).

La consideración de estas variables se tradujo en una mejora significativa en la predicción de la resistencia a flexión. El coeficiente de determinación del modelo obtenido a partir de la técnica de ultrasonidos (R^2=012) aumentó hasta 0,20

cuando se incluyó en los modelos la variable k_h, y hasta 0,27 incluyendo también la variable *L* (longitud de la pieza). Las variables de nudosidad no supusieron, sin embargo, ningún efecto significativo en los modelos predictivos del módulo de elasticidad.

Objetivo específico (11): *Estudio de la posible mejora del sistema de clasificación visual mediante la incorporación de criterios basados en técnicas no destructivas (velocidad de transmisión de onda).*

Conocidos los rendimientos y la objetividad de la clasificación visual (apartado 6.2), se planteó el empleo de las técnicas no destructivas, en concreto la técnica de ultrasonidos, como sistema complementario a dicha clasificación visual.

Se determinó una velocidad de onda ultrasónica limitante (4660 m/s) para separar grupos de madera válida y rechazada. El grupo de piezas definidas como válidas mostró valores característicos de módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad asignables a una clase resistente D24, proporcionando además una clasificación más objetiva que la obtenida mediante la clasificación visual y unos porcentajes de rechazo similares a ésta (20%). Además, el porcentaje de piezas sobrestimadas fue de un 5%, inferior al de la clasificación visual (12%).

Una vez demostrada la validez del criterio de velocidad de onda ultrasónica para la clasificación objetiva de la madera de castaño, se definió un sistema conjunto de clasificación incluyendo a las especificaciones visuales definidas para castaño la variable velocidad de onda como criterio clasificador adicional, con un valor limitante de 4466 m/s. La reclasificación de las piezas según este sistema conjunto proporcionó un porcentaje de rechazo (25%) ligeramente superior al de ambos sistemas por separado pero dentro de los rangos aceptables. Los grupos de piezas válidas y rechazadas resultaron más claramente diferenciados según sus propiedades mecánicas que los grupos obtenidos según la clasificación visual tradicional, además de contar con un porcentaje de piezas sobrestimadas sensiblemente menor (7% frente a 11%).

6.4. Caracterización normativa

Objetivo específico (12): *Estudio de la validez para su aplicación a la madera de castaño de diversas relaciones genéricas establecidas en la norma EN 384.*

El factor de corrección para la resistencia a flexión en función de la altura de la sección que indica la norma EN 384 (k_h), no parece adecuado para su aplicación a la madera de castaño. El exponente de dicha expresión normativa es igual a 0,2, mientras que los análisis de regresión no lineal realizados con madera de castaño indican un valor de 0,48, indicando una mayor influencia del tamaño de sección en la resistencia a flexión.

La ecuación indicada para el cálculo del módulo de elasticidad local a partir del global (E_{loc} = 1,3 E_{glo} – 2,690) es adecuada para su aplicación en madera de castaño. La ecuación obtenida a partir de datos experimentales (E_{loc} = 1,126 E_{glo} – 0,192) cuenta con una mayor exactitud, pero sobrestima ligeramente el módulo de elasticidad local.

La relación entre el módulo de elasticidad transversal y el módulo de elasticidad paralelo a la fibra obtenido a partir de los datos experimentales ($G_{medio}=E_{0,m}/11$) difiere al definido en la norma con carácter general para todas las especies ($G_{medio}=E_{0,m}/16$), el cual no resulta adecuado para su aplicación a la madera de castaño.

Objetivo específico (13): *Cálculo de los valores característicos de las propiedades fundamentales para la asignación de clase resistente (módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad) según los criterios y exigencias establecidos en la normativa relacionada (EN 408, EN 1912, EN 384 y EN 338).*

El proceso de caracterización normativa de la madera evaluada permitió determinar los valores característicos del conjunto de las muestras. Las piezas consideradas en la caracterización fueron las clasificadas según los criterios visuales definidos específicamente para castaño (apartado 6.1). Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 6.1. Valores característicos del módulo de elasticidad, resistencia a flexión y densidad de la madera aserrada de castaño de procedencia española (de anchos hasta 70 mm).

Propiedad	Valor característico
Resistencia a flexión ($f_{m,k}$)	27,8 N/mm^2
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra ($E_{0,m}$)	12,3 kN/mm^2
Densidad (ρ_k)	510 kg/m^3

Estos valores característicos permiten asignar una clase resistente D24 según la norma EN 338: 2010. La revisión de esta norma (prEN 338: 2013) permitirá la asignación de una clase D27, no contemplada en la norma vigente a fecha de finalización de esta Tesis Doctoral.

7. TRABAJOS DERIVADOS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este proyecto permitió la publicación de diversos trabajos en revistas especializadas, así como la difusión de metodologías y resultados en congresos relacionados con ámbitos de la madera estructural y otros eventos. Además, durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral fueron realizados paralelamente varios Proyectos Fin de Carrera derivados directamente de ella.

Publicaciones en revistas científicas*

Vega, A.; Dieste, A.; Guaita, M.; Majada, J.; Baño, V. (2012). "Modelling of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. structural timber by a combination of non-destructive variables and visual grading parameters". European Journal of Wood and Wood Products, 70(6), pp. 839-844

Vega, A.; Arriaga, F.; Guaita, M.; Baño, B. (2013). "Proposal of visual grading criteria of structural timber of Sweet Chestnut from Spain". European Journal of Wood and Wood Products, ISSN 0018-3768

**El Anexo IV recoge los textos completos de ambas publicaciones.*

Artículos en congresos y otros eventos

Vega, A. (2012). "Propuesta de normalización de la madera de castaño en España para su inclusión en el Código Técnico de la Edificación". BioCastanea 2012. Mesa del Castaño del Bierzo

Vega, A.; Baño, V.; Majada J. (2011). "Determination of the mechanical properties of Spanish chestnut timber according to European standards". PNR, le Groupe de Travail National Châtaignier et le CRPF Limousin, Châlus. Haute Vienne Sud - Ouest de Limoges, 25 et 26 mai 2011.

Vega, A.; Baño, V.; Majada, J.; Fdez-Parrado, I.; Guaita, M. (2011). "Caracterización de la madera de *Castanea sativa* Mill. de procedencia española". CIMAD 2011. Coimbra, Portugal.

Vega, A.; Fdez-Parrado, I.; Majada, J.; Baño, V. (2012). "Propuesta de los criterios de clasificación visual estructural de la madera aserrada de *Castanea sativa* Mill. de procedencia española". Progreso Forestal, 32-35.

Vega, A.; Guaita, M.; Dieste, A.; Majada, J.; Fdez-Parrado, I.; Baño, V. (2011). "Evaluation of the influence of visual parameters on wave transmission velocity in sawn chestnut timber". Wood NDT Symposium 2011. Sopron, Hungary, pp. 311-317.

Vega, A.; Majada J. (2012). "Seminario de promoción y uso de la madera de castaño en construcción". BioCastanea 2012. Mesa del Castaño del Bierzo

Proyectos Fin de Carrera derivados

Fernández, I. (2010). "Clasificación mediante técnicas vibratorias y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de castaño de procedencia asturiana para uso estructural". Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Oviedo

Suárez, M. (2012). "Estudio de las propiedades mecánicas de la madera de castaño en base a las técnicas no destructivas de ondas vibratorias, ondas acústicas y ultrasonidos". Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Oviedo

González, P. (2012). "Evaluación de la durabilidad frente a hongos y estudio de las propiedades mecánicas de rollizos de pequeño formato de madera de *Castanea sativa* Mill.". Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Oviedo

Futuras líneas de investigación

La caracterización de la madera de castaño de tamaño estructural es el primero y uno de los más importantes pasos para su puesta en valor. A raíz de este trabajo cabe plantearse nuevos enfoques directamente relacionados con la potencialidad de la especie. Algunas de estas posibles líneas ya se encuentran actualmente en desarrollo o en fase de planificación.

- La evaluación de madera de nuevas procedencias, tamaños y calidades permitirá corroborar (o modificar) las relaciones establecidas mediante las técnicas no destructivas, o definir modelos específicos según características de la madera o uso previsto. Actualmente el CETEMAS está llevando a cabo un proyecto conjunto con la Escuela Politécnica de Madrid para la evaluación no destructiva de madera estructural verde y seca con distintas especies, entre las que se incluye el castaño.
- Al igual que la madera aserrada, la madera en rollo cuenta con un potencial de aplicación en diversos campos que requiere un estudio de sus propiedades mecánicas y de su comportamiento estructural. Este proceso de caracterización se encuentra actualmente en desarrollo, habiéndose realizado en el año 2012 ensayos preliminares con madera en rollo de pequeño diámetro.
- Fuera del ámbito de la madera estructural, aunque con grandes similitudes en cuanto a metodologías y procesos, se encuentra la caracterización de la madera de castaño con destino no estructural. La normativa de clasificación por apariencia (norma EN 975) no contempla su aplicación a la madera de castaño (sólo es aplicable a roble, haya y chopo), pero cuenta con antecedentes recientes (aún sin publicación oficial en la norma) en los trabajos realizados en Francia por el Instituto Tecnológico Forestal de Madera Estructural, Celulosa y Mueble (FCBA), donde esta especie cuenta con un amplio mercado y gran potencialidad. El establecimiento de unos criterios de clasificación por apariencia (no estructural) adecuados a la madera de castaño nacional forma parte de un proyecto que está actualmente siendo desarrollado por el CETEMAS, y será la base para el planteamiento de su inclusión en la norma EN 975.

- El largo proceso llevado a cabo con la madera de castaño supone las bases de experiencia en cuanto a conocimientos y metodologías necesarias para el futuro planteamiento de nuevos trabajos de caracterización normativa con especies que, al igual que el castaño, cuenten con potencial e interés en el ámbito de la madera estructural.

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros y publicaciones científicas

A

Acuña, L.; Casado, M.; Renedo, F.; Llorente, A.; Basterra, A.; Barranco, I.; Cueto, G.; López, G. de Caso, E. (2004). "Evaluación resistente no destructiva de madera de *Pinus pinaster* Ait. de las regiones de procedencia Gredos y Bureba-Sierra de Oña". Iº Congresso iberico a madeira na construção. Braga, Portugal

Acuña, L.; Díez, M. R.; Casado, M. (2006). "Los ultrasonidos y la calidad de la madera estructural. Aplicación a *Pinus pinaster* Ait". Boletín del CIDEU, Vol. 2, pp. 7-26

Acuña, L.; Díez, M. R.; Casado, M.; Llorente, A.; Lázaro, T.; Martín, L.; Basterra, A.; Relea, E.; Cueto, G. (2007). "La transmisión de ultrasonidos aplicada a la madera estructural". 11º Congreso Español de END. Sociedad Española de Ensayos no Destructivos AEND. Gijón, España, pp. 91-102.

Aicher, S.; Dill-Langer, G.; Ringger, T. (2002). "Non-destructive detection of longitudinal cracks in glulam beams". Otto-Graff Journal, Vol. (13), pp. 165-182.

Ariza, I. (2002). "El nuevo enfoque en los ensayos mecánicos de la madera aserrada para uso estructural en la normativa europea". Madera y Bosques. Vol. (8), No. 002

Argüelles, A.; Arriaga, F.; Martínez J. J. (2000). "Estructuras de madera: diseño y cálculo". Editorial AITIM, Madrid. 663 p.

Arriaga, F.; García, L.; Gebremedhin, K. G.; Peraza, F. (1992). "Grading and load carrying capacity of old timber beams". International Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers, ASAE. Paper 92 4068

Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Esteban, M.; Bobadilla, I. (2009). "Proposal of a methodology for the assessment of existing timber structures in Spain". 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. Beijing, China

Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Fernández-Golfín, J.; Esteban, M. (2005). "Aplicación de la técnica de ultrasonidos en la clasificación de la madera de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) en piezas de gran escuadría para uso estructural". Actas de las I Jornadas de Investigación en Construcción. Madrid. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 403-415

Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Fernández-Golfín, J.; Esteban, M. (2006). "Structual Tali timber (*Erythrophleum ivorense* A. Chev., *Erythrophleum suaveolens* Brenan.): Assesment of strength and stiffness properties using visual and ultrasonic methods". Holz als Roh-und Werkstoff, Vol. (64), pp. 357-362.

Arriaga, F.; Peraza, F.; Esteban, M. (2003). "Madera aserrada estructural". Editorial AITIM. 159 p.

B

Baño, V. (2009). "Análisis mediante simulación numérica de la pérdida de resistencia de la madera por la presencia de nudos". Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

Baño, V.; Arriaga, F.; Soilán, A.; Guaita, M. (2011). "Prediction of bending load capacity of timber beams using a finite element method simulation of knots and grain deviation". Biosystem Engineering, Vol. (109), pp. 241-249.

Baonza, M.V.; Gutiérrez, A. (1996). "Características macroscópicas de la madera de *Castanea crenata* x *Castanea sativa*". Invest. Agr.: Sist. Recur. For., Vol. 5(1), pp. 141-152

Barducci, I.; Pasqualini, G. (1948). "Measurement of the internal friction and the elastic constants of wood". Benchmark Papers in Acoustics", Vol. (5), Musical Acoustics, Part I (ed. Carleen Hutchins), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg.

Barret, J.D.; Fewell, A.R. (1990). "Size factors for the bending and tensions strength ofstructural timber". Proceedings of CIB-W 18. Lisbon, Portugal.

Beall, F. (2002). "Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties". Wood Science and Technology, Vol. (36), pp. 197–212

Bennett, K.D.; Tzedakis, P.C.; Willis, K.J. (1991). "Quaternary refugia of north European trees". Journal of Biogeography, Vol. (18), pp. 103–115

Bertolini, C.; Brunetti, M.; Cavallero, P.; Macchioni, N. (1998). "A non-destructive diagnostic method on ancient timber structures: some practical application examples". Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering. Montreaux, Switzerland. Vol. (1), pp. 456-463.

Bonamini, G.; Togni, M. (1999). "Classificazione e determinazione dei valori caratteristici del legname di Douglasia e di Castagno per usi strutturali, di provenienze toscane". I legni di Castagno e di Douglasia della Toscana, Quaderno 9/99 ARSIA-Regione Toscana, Italia

Böstrom, L. (1994). "Machine strength grading: comparison of four different systems". Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology SP Report, Vol. (49)

Brancheriau, L. (2002). "Expertise mecanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique". These pour obtenir le grade de Docteur. Université de la Méditeranée – Aix Marseille II

Brancheriau, L.; Bailleres, H. (2002). "Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review". Wood Science and Technology, Berlin, Vol. (36), pp. 347-365

Branco, J.; Peixoto, T.; Lourenço, P.; Medeiros, P. (2011). "Mechanical characterization of old chestnut beams". SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Lisbon, Portugal

Brashaw, B.; Bucur, V.; Divos, F.; Gonçalves, R.; Lu, J.; Meder, R.; Pellerin, R.; Potter, S.; Ross, R.; Wang, X.; Yin, Y. (2009). "Nondestructive Testing and Evaluation of Wood: A Worldwide Research Update". Forest Products Journal Vol. (59), No. 3

Brunetti, M.; Cremonini, C.; Crivellaro, A.; Togni, M.; Zanuttini, R. (2009). "Il legname di castagno per uso strutturale". 5° Convegno Nazionale sul Castagno, 1° Convegno Europeo sul Castagno. Cuneo-Torino. Italy

Bucur, V. (1979). "Le comportement a la rupture du bois massif étudie para la méthode ultrasonique d´impulsion". 4e Congres FranÇais de Mécanique, Nancy, France

Bucur, V. (1984). "Relationships between grain angle of wood specimens and ultrasonic velocity". Catgut Acoustical Society Newsletter, Vol. (41), pp. 30-35

Bucur, V. (2006). "Acoustics of Wood". Springer Series in Wood Science. 393 p.

C

Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. (2009a). "Comparación de la evaluación y clasificación mecánica del *Pinus pinaster* Ait. con dos equipos de ultrasonidos". 5º Congreso Forestal Español. Ávila, España

Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. (2009b). "Mechanical properties of structural maritime pine sawn timber from Galicia (*Pinus pinaster* Ait. ssp. *atlantica*)". Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, Vol. 18 (2), pp. 152-158

Casado, M.; Acuña, L.; Vecilla, D.; Basterra, A.; Pando, V.; Relea, E. (2007). "Determinación de la capacidad resistente de madera estructural de *Pinus sylvestris* mediante PLG". 11º Congreso Español de END. Gijón, España

Casado M, Acuña L, Vecilla D, Basterra A, Relea E, López G. (2011). "Ultrasonidos y parámetros de clasificación visual para la caracterización de la madera estructural de *Populos x euramericana* I-214". CIMAD, 1º Congresso Ibero-Latinoamericano da Madeira na construção. Coimbra, Portugal

Ceballos, L.; Ruiz de la Torre, J. (2001). "Árboles y arbustos de España peninsular". ETSIM - Fundación Conde Valle de Salazar. Madrid. 2ª ed. 512 p.

Ceccotti, A.; Togni, M. (1996). NDT on ancient timber beams: Assessment of strength/stiffness properties combining visual and instrumental methods". Proceedings 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Laussane, Switzerland. Pp. 379-388

Chanson, B. (1988). "Etude de la variabilité de quelques propriétés physiques et anatomiques du bois de rejets de taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) application à l 'étude de la roulure". Doctorat Thèse Université des Sciences et Techniques du Languedoc

Conde, M.; Fernández-Golfín, J.; Hermoso, E. (2007). "Mejora de la predicción de la resistencia y rigidez de la madera estructural con el método de ultrasonidos combinado con parámetros de clasificación visual". Materiales de Construcción, Vol. 57 (288), pp. 49-59

Conedera, M.; Manetti, M.; Giudici, F.; Amorini, E. (2004). "Distribution and economic potential of the Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Europe". Ecología Mediterránea, tomo 30 fascículo 2, pp. 179-193

Crews, K.; Bijan, S.; Bakoss, S.; Champion, C. (2003). "Overview of assessing the load carrying capacity of timber bridges using dynamic methods". IPWEA NSW.

Curry, W.T.; Tory, J.R. (1976). "The relation between the modulus of rupture (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber". Princes Risborough Laboratory

D

De Oliveira, F.; Candian, M.; Lucchette, F. (2005). "Moisture Content Effect on Ultrasonic Velocity in *Goupia glabra*". Materials Research, Vol. (8), No. 1, pp. 11-14.

Delibes, A. (1984). "Estructuras de hormigón armado: técnicas de inspección". Curso de rehabilitación. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Tomo 5: La Estructura, pp. 83-120

Dickson, R.; Matheson, A.; Joe, B.; Ilic, J.; Owen, J. (2004). "Acoustic segregation of *Pinus radiata* logs for sawmilling". New Zealand Journal of Forestry Science 34 (2), pp. 175–189

Díez, M. R.; Conde, M.; Fernández-Golfín, J. I.; Rosskopf, S. (2000). "Clasificación visual de madera estructural de pino laricio: comparación de resultados usando las normas UNE 56.544 y DIN 4074". Revista Investigación Agraria, 9 (2), pp. 375-380.

Díez, M. R.; Fernández-Golfín, J. I. (1998). "Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructu al de P. Sylvestris L.". Revista de Investigación Agraria, 1 (2), pp. 41-53

Dill-Langer. G.; Aicher, S.; Bernauer, W. (2005a). "Reflection measurements at timber glue-lines by means of ultrasound shear waves". Otto-Graff Journal, Vol. (16), pp. 273-284

Dill-Langer. G.; Aicher, S.; Bernauer, W. (2005b). "Inspection of glue-lines of glue-laminated timber by means of ultrasonic testing". Proceedings 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Hannover, Germany. Pp. 49-60

Divos, F.; Sismandy, F. (2010). "Strength Grading of Structural Lumber by Portable Lumber Grading - effect of knots". Final Conference of COST Action E53. Edinburgh, Scotland

Divos, F.; Tanaka, T. (1997). Lumber strength estimation by multiple regression. Holzforschung, Vol. (51) pp. 467-471

Divos, F. (2005). "Course in Non-Destructive Testing of Wood. Apuntes y presentación del curso. ETS Ingenieros de Montes – ETS Arquitectura, UPM, Madrid

E

Esteban, M. (2003). "Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid

F

Faggiano, B.; Grippa, M.; Marzo, A.; Mazzolani, F. (2010a). "Experimental analysis on old chestnut timber by means of non-destructive techniques". World Conference on Timber Engineering 2010. Trentino, Italy

Faggiano, B.; Grippa, M.; Marzo, A.; Mazzolani, F. (2010b). "Structural grading of old chestnut elements by bending and compression tests". World Conference on Timber Engineering 2010. Trentino, Italy

Feio, A.; Machado, J.; Lourenço, P. (2004). "Caracterização da resistência da madeira de Castanho à tracção paralela ao fio". CIMAD'04, 1º Congresso Ibérico. Guimarães, Portugal, UM, pp.343-352

Fernández-Golfín, J.; Hermoso, E.; Díez, R. (2002). "Análisis del efecto del volumen sobre la resistencia característica a flexión de la madera de los pinos silvestre y laricio de procedencia española". Materiales de Construcción. Vol. (52), No. 268, pp. 43-55

Fernández-Golfín, J.; Díez, R.; Hermoso, E.; Baso, C.; Casas, J.; González, O. (2007). "Caracterización de la madera de *Eucalyptus globulus* para uso estructural". Boletín del CIDEU Vol. (4), pp. 91-100

Fiovaranti, M. (1995). "Nature and occurrence of juvenile Wood in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) stems from coppice forest". Forêt Mediterranéenne. XVI (1), pp. 58-65.

Fioravanti, M.; Lemaire J.; Togni, M. (2010). "Enhancement of timber production". Chestnut (*Castanea sativa*): a multipurpose European tree. Brussels, Belgium

G

Gonçalves, R.; Alex, J.; Domingos, G.; Bruno, P. (2011a). "Elastic constants of wood determined by ultrasound wave propagation". 17th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. Hungary

Gonçalves, R.; Domingos, G.; Chiara, B.; Fernando, A. (2011b). "Behavior of ultrasonic wave propagation in presence of holes on Pequiá (*Aspidosperma desmanthum*) wood". 17th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. Hungary

Graff, K. F. (1991). "Wave motion in elastic solids". Dover Publications, Inc., New York. 649 p.

Grimberg, R.; Savin, A.; Steigmann, R.; Bruma, A. (2005). "Ultrasound and visual examination of wood based products". 8th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing. Slovenia

Guilbot, J. (1992). "Célérités de phase et de groupe: relations explicites entre les lois de dispersion. J Acoust, Vol. (5), pp. 635-638.

H

Halabe, U. B.; Bidigalu, M.; GangaRao, V. S.; Ross, J. (1995). "Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques". Materials Evaluation, Vol. (55), No. 9, pp. 1013-1018

Halabe, U. B.; GangaRao, H. V. S.; Petro, S.H.; Hota, V. R. (1996). "Assesment of defects and mechanical properties of wood members using ultrasonic frequency analysis". Materials Evaluation, Vol. (54), No. 2, pp. 314-322

Hanhijarvi, A.; Ranta-Maunus, A. (2008). "Development of strength grading of timber using combined measurement techniques". VTT Publications 686, 60 p.

Hanhijärvi, A.; Ranta-Maunus, A.; Turk, G. (2005). "Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques". VTT Publications 568, 81 p.

Hasenstab, A.; Osterloh, K. (2009). "Defects in wood non-destructive locating with low frequency Ultrasonic Echo Technique". NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering Nantes, France

Hermoso, E. (2001). "Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus sylvestris". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid

Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R. (2002a). "Madera estructural de pino silvestre: caracterización mecánica". Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 11 (2)

Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R. (2002b). "Análisis del factor de altura kh en la madera aserrada estructural de pino silvestre". Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 11 (2)

Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R. (2003). "Mechanical characterization of timber according to European standard from Spanish provenances of Scots Pine". Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 12(3), pp. 103-110

Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R.; Mier, R. (2007). "Aplicación de los ultrasonidos a la evaluación de las propiedades mecánicas de la madera en rollo de pequeño diámetro". Informes de la Construcción Vol. (59), No. 506, pp. 87-95

I

Ibáñez, E. (2005). "El hórreo en Asturias". Esperanza, Ediciones Trea, S.L.

Íñiguez, G. (2007). "Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid

Íñiguez, G.; Arriaga, F.; Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M.; Hermoso, E.; Mier, R. (2005). Clasificación visual de pino radiata (Pinus radiata D. Don) en piezas de gran escuadría para uso estructural. Actas del 4º congreso Forestal Español. Zaragoza, España.

Íñiguez, G.; Martínez, R.; Bobadilla, I.; Arriaga, F.; Esteban, M. (2009). "Mechanical properties assessment of structural coniferous timber by means of parallel and perpendicullar to the grain wave velocity". 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. Beijing, China

J

James, K. (1961). "Effect of temperature and moisture content on internal friction and speed of sound in Douglas-fir". Forest Products Journal. Vol (11) No. 9

K

Kalinasari, L.; Wahyuna, M. E.; Nugroho, N. (2008). "Non-destructive ultrasonic testing method for determining bending strength properties of gmelina wood (*Gmelina arborea*)". Journal of tropical Forest Science, Vol. 20(2), pp. 99-104

Kawamoto, S.; Williams, R. S. (2002). "Acoustic emission and acousto-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites. A review". USDA Forest Service, General Technical Report. FPL-GTR-134. Forest Products Laboratory. 16 p.

Knowles, R.; Hansen, L.; Wedding, A.; Downes, G. (2004). "Evaluation of non-destructive methods for assessing stiffness of Douglas fir trees". New Zealand Journal of Forestry Science 34(1), pp. 87–101

Krebs, P.; Conedera, M.; Pradella, M.; Torriani, D.; Felber, M.; Tinner, W. (2004). "Quaternary refugia of the sweet chestnut (Castanea sativa Mill.): an extended palynological approach". Veget Hist Archaeobot, Vol. (13), pp. 145-160

M

Machado, J.; Palma, P.; Simoes, S. (2009). "Ultrasonic indirect method for evaluating clear wood strength and stiffness". Non-Destructive Testing in Civil Engineering. Nantes, France

Madsen, B. (1992). "Structural behaviour of timber". Timber Engineering Ltd, North Vancouver, BC, Canada. 405 p.

Malhotra, V. M.; Carino, N. J. (2003). "Handbook on nondestructive testing of concrete". CRC Press, 2nd edition. 384 p.

Mansilla, R.; Baradit, A.; Navarrete, A. (2009). "Estudio del efecto de la dirección de medición y contenido de humedad en la velocidad de ultrasonido en madera de *Pinus radiata* D. Don a través de análisis de varianza". Revista Ingeniería e Investigación Vol. (29), No. 3, pp. 139-141

Mariño, R. A.; Fernández, M. E.; Fernández-Rodríguez, C.; Méndez, M. (2010). "Detection of pith location in chestnut lumber (*Castanea sativa* Mill.) by means of acoustic tomography and longitudinal stress-wave velocity". European Journal of Wood and Wood Products, Vol. (68), pp. 197-206

Martínez, J. (1992). "Determinación de los valores característicos de la madera de *Pinus pinaster* Ait., mediante ensayos en tamaño estructural". E.T.S.L Montes, Madrid.

Méndez, M. (1996). "Análisis de las propiedades físico-mecánicas de la madera de castaño (*Castanea sativa*) aserrada en la provincia de Lugo". Tesis Doctoral. E.T.S.L Industriales, Vigo

Montero, M. J. (2013). "Clasificación de madera estructural de gran escuadría de *Pinus sylvestris* mediante métodos no destructivos". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid

N

Newlin J. A.; Trayer, G. W. (1924). "Form factors of beams subjected to transverse loading only". United States National Advisory Committee for Aeronautics Report No. 181.

Nocceti, M.; Bacher, M.; Brunetti, M.; Crivellaro, A.; van de Kuilen, J. W. G. (2010). "Machine grading of Italian structural timber: preliminary results on different wood species". World Conference on Timber Engineering 2010. Trentino, Italy

O

Olsson, A.; Oscarsson, J.; Johansson, M.; Källsner, B. (2010). "Prediction of timber bending strength using dynamic excitation of bending modes". World Conference on Timber Engineering 2010. Trentino, Italy

P

Pedras, F.; Riesco, G.; Remacha, A. (1997). "Determinación de las características elásticas de la madera de castaño (*Castanea sativa* Mill.) mediante ensayos no destructivos". IRATI 97. Montes del futuro: respuestas ante un mundo en cambio. Pamplona. Tomo VI, mesa 7, pp. 295-300

Pellerin, R. F.; Ross, R. J. (2002). "Nondestructive evaluation of wood". Forest Products Society. Madison, WI, USA. 210 p.

Pitte, J.R. (1986). "Terres de castanide. Hommes et paysages du châtaignier de l'Antiquité à nos jours". Librairie Arthème Fayard, Paris

Polge, H.; Keller, R. (1973). "Qualité du bois et largeur dáccroissements en forêt de Tronçais. Ann. Sci. For 30 (2), pp. 91-125

R

Rajeshwar, B.; Bender, D. A.; Bray, D. E.; McDonald, K. A. (1997). "An ultrasonic technique for predicting tensile strength of Southern pine Lumber". American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/97/4004-1153

Riesco, G.; Remacha, A. (2012). "Prediction of bending strength in Oak beams on the basis of elasticity, density, and wood defects". J. Mater. Civ. Eng. (24), pp. 629-634.

Riesco, G.; Remacha A.; Pedras-Saavedra, F. (2011). "Implications in the design of a method for visual grading and mechanical testing of hardwood structural timber for assignation within the European strength clases". Forest Systems, Vol. 20(2), 235-244

Rouger, F.; Fewell, A. T. (1994). "Size effects in timber: Novelty never ends". Proceedings of the CIB-W18A/27-5-2, Sydney, Australia

Ross, R.; Hunt, M. (2000). "Stress wave timing nondestructive evaluation tools for inspecting historic structures". A guide for use and interpretation. General Technical Report FPL-GTR -119. Department of Agriculture Forest Service, pp.15.

S

Sachse, W.; Pao, Y. H. (1978). "On the determination of phase and group velocities of dispersive waves in solids". J Appl Phys, Vol. (49), pp. 4320-4327

Sahay, S. K.; Kline R. A.; Mignona, R. (1992). "Phase and group velocitiy considerations fro dynamic modulus measurement in anisotropic media". Ultrasonics, Vol. (30), pp. 373-382

Sanabria, S. J.; Furrer, R.; Neuenschwander, J.; Niemz, P.; Sennhauser, U. (2010). "Air-coupled Ultrasound Wave Propagation in Glued Laminated Timber Structures Applied to Bonding Quality Assessment". IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings

Sánchez, M. (2012). "Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticornis* Smith, su aptitud de usos en Argentina". Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid

Sandoz, J. L.; Benoit, Y.; Demay, L. (2002). "Wood testing using Acousto-ultrasonic". Proceedings of the World Conference on Timber Engineering Conference. pp. 1079-1084

Sandoz, J. L. (1989). "Grading of construction timber by ultrasound". Wood Science and Technology, Vol. (23), pp. 95–108

Sandoz, J. L. (1994). "Reliability assurance of structural timber using ultrasound". Proceedings of the 1st Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood. Sopron, Hungary

Sandoz, J. L. (1996). "Ultrasonic solid wood evaluation in industrial aplications". 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Lausanne, Switzerland

Sasaki, Y.; Ando, K. (1998). "Acoustoelastic phenomena of Wood". Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering. Montreaux, Switzerland

Schajer, G.; Orhan, F. (2005). "Microwave non-destructive testing of wood and similar orthotropic materials". Subsurface Sensing Technologies and Applications, Vol. (6), No. 4

Simpson, W.; Wang, X. (2001). "Relationship between longitudinal stress wave transit time and moisture content of lumber during kiln-drying". Forest Products Journal Vol. (51) No. 10

Sobue, N. (1986). "Measurement of Elasticidad longitudinal´s modulus by the transient longitudinal vibration of wooden beams using FFT spectrum analyzer". Mozukai Gakkaishi, Vol. (32), pp. 744-747

T

Togni, M. (2009). "Chestnut timber for structural use". Castanea 2009. 5° convegno nazionale sul castagno, 1° Convegno Europeo sul castagno

V

Van de kuilen, J. W.; Ravenshorst, G. (2002). "Bending strength and stress wave grading of (tropical) hardwoods". COST E24 Reliability analysis of timber structures Joint Committee on Structural Safety. Zurich

Vázquez de Parga, A.; Méndez, M.; González, P.; Carreira, X. C. (1997). "Caracterización y estudio del módulo de elasticidad en la madera de castaño (*Castanea sativa*) aserrada en Galicia".

Vignote, S.; Picos, J.; Zamora, R. (2002). "Características de las principales maderas utilizadas en Bizkaia: Tecnología y aplicaciones". Departamento de Agricultura de la Diputación Foral de Bizkaia

W

Wang, X.; Ross, R.; Mattson, J.; Erickson, J.; Forsman, J.; Geske, E.; Wehr, M. (2002). "Nondestructive evaluation techniques for assessing modulus of elasticity and stiffness of small-diameter logs". Forest Products Journal Vol. 52 No. 2

Weibull, W. (1939). "A statistical theory of the strength of materials". Royal Swedish Institute for Engineering Research. Proceedings nº 151. 45 p.

Workman, G.; Kishoni, D.; Moore, P. (2007). "Nondestructive testing handbook". Volume 7: Ultrasonic testing. American Society for nondestructive testing. 587 p.

Wu, S.; Xu, G.; Risto, V.; Lu, Z.; Li, B.; Wang, W. (2011). "Estimation of basic density and modulus of elasticity of eucalypt clones in sourthern China using non-destructive methods". Journal of tropical Forest Science, Vol. 23(1): pp. 51-56

Y

Young, W.; Budynas, R. (2002). "Roark´s formulas for stress and strain". Seventh Edition, McGraw Hill.

Z

Zhang, S. Y. (1995). "Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories". Wood Sci. Tech., Vol. 29 (6), pp. 451.465

Zobel, B. J. (1992). "Silvicultural effects on Wood properties". IPEF INTERNATIONAL, Piracicaba, Vol. (2): pp. 31-33

Zobel, B. J.; van Buijtenen, J. P. (1989). "Wood variation: its cuases and control". Berlin, Spirnger-Verlag, 418 p.

Normativa

BS 4978 (2007) + A1 (2011). Visual strength grading of softwood. Specification – Reino Unido

BS 5756 (2007) + A1 (2011). Visual strength grading of hardwood. Specification - Reino Unido

CTE-DB SE-M. Madera (2009)**.** Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento

DIN 4074-1 (2012). Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz (Strength grading of wood - Part 1: Coniferous sawn timber - Alemania)

DIN 4074-5 (2008). Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz (Strength grading of wood - Part 5: Sawn hardwood - Alemania)

DS 483 (2004). Visuel styrkesortering af konstruktionstræ (Clasificación visual de madera aserrada para construcción - Dinamarca)

EN 336 (2003). Madera estructural. Dimensiones y tolerancias

EN 338 (2010). Madera estructural. Clases resistentes

prEN 338 (2012). Madera estructural. Clases resistentes

EN 384 (2010). Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

EN 408 (2010) + A1 (2012). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas

EN 975-1 (2010). Madera aserrada de frondosas. Clasificación por aspecto. Parte 1: Haya y roble

EN 1309-1 (1997). Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 1: Madera aserrada

EN 1310 (1997). Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades

EN 1912 (2012). Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidades visuales

EN 1995-1-1 (2006). Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación

EN 13183-1 (2002). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa

EN 13183-1 / AC: (2004). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa

EN 13183-2 (2002). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica

EN 13183-2 / AC (2004). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica

EN 14081-1 (2006) + A1 (2011). Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales

INSTA 142 (2009). "Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast". "Reglas nórdicas de clasificación visual de madera aserrada de la madera nórdica

NF B 52001 (2011). "Classement visuel pour l´emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus". "Clasificación visual de la madera aserrada de coníferas y frondosas para uso estructural de madera francesa

UNE 56.544 (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas

UNE 56.546 (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas

Sitios web

Asociación Española de Normalización y Certificación: http://www.aenor.es/

AITIM: http://www.infomadera.net

CBS-CBT: http://www.cqbs-cbt.com

Comité Europeo de Normalización (CEN): http://www.cenorm.be

Fakkop: http://www.fakopp.com

Fibre-Gen: http://www.fibre-gen.com

Ineltec: http://www.ineltec.es/

Instituto Nacional de Estadística: http://www.ine.es/

MADEFON Sociedade Cooperativa: http://www.madefonsociedadecoop.com/

Maderas Ángel Suárez: http://www.maderasangelsuarez.com/

Maderas Cascón: http://www.maderascascon.net/

Maderas La Sierra: http://maderaslasierra.es/es/

Maderas Siero: http://www.sierolam.com

Maderera Gerundense S. A.: http://www.madegesa.com/

Metriguard INC.: http://metriguard.com/

M. de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: http://www.magrama.gob.es/

San Martín del Rey Aurelio. Sitio Oficial Ayuntamiento: http://www.smra.eu

Web of Knowledge del S. Español de Ciencia y Tecnología: http://www.accesowok.fecyt.es/

ANEXOS

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

ANEXO I. CALIBRACIÓN DEL XILOHIGRÓMETRO

El equipo calibrado fue un xilohigrómetro Gann RTU 600, con número de serie 09-17082, el cual fue empleado en la estimación del contenido de humedad de todas las piezas evaluadas en este trabajo. El objetivo de la calibración fue la obtención de un valor de corrección para mejorar la exactitud de las medidas.

Para la calibración fueron empleadas 37 probetas de madera de castaño. Sobre ellas, se midió el contenido de humedad mediante xilohigrómetro y posteriormente fueron secadas en estufa para la determinación del contenido de humedad real. Las variables y relaciones obtenidas se muestran en la tabla AI.1.

Tabla AI.1. Variables y relaciones entre variables empleadas en la calibración del xilohigrómetro

Variable	Descripción
H_{xil_sc}	Contenido de humedad mediante xilohigrómetro (sin corregir)
H_{est}	Contenido de humedad mediante secado en estufa
H_{xil_sc} - H_{est}	Diferencia entre la humedad con xilohigrómetro sin corregir y la humedad de secado en estufa
H_{xil_c}	Contenido de humedad mediante xilohigrómetro (corregido)
H_{est} - H_{xil_c}	Diferencia entre la humedad con xilohigrómetro corregida y la humedad de secado en estufa

La figura AI.1 muestra el gráfico de correlación H_{sil_sc} – H_{est}:

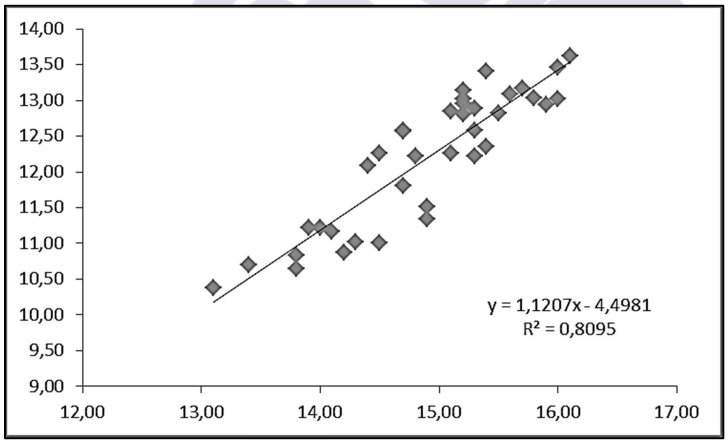


Figura A1.I. Regresión lineal H_{sil_sc} – H_{est}

La tabla AI.2 muestra los datos a partir de los cuales fue realizada la regresión. Se determinó el error máximo, mínimo y medio cometido comparando ambas medidas (H_{xil_sc} - H_{est}). Con el valor medio del error cometido (2,70 %), fue corregida la variable H_{xil_sc} obteniendo la variable H_{xil_c}. La comparación del valor de H_{xil_c} y el valor de H_{est} proporcionó un error de entre -0,71 % y 0,87 %, con un valor medio inferior a 0,01 %.

Por tanto, la corrección para el empleo del xilohigrómetro en la medición del contenido de humedad de la madera de castaño fue:

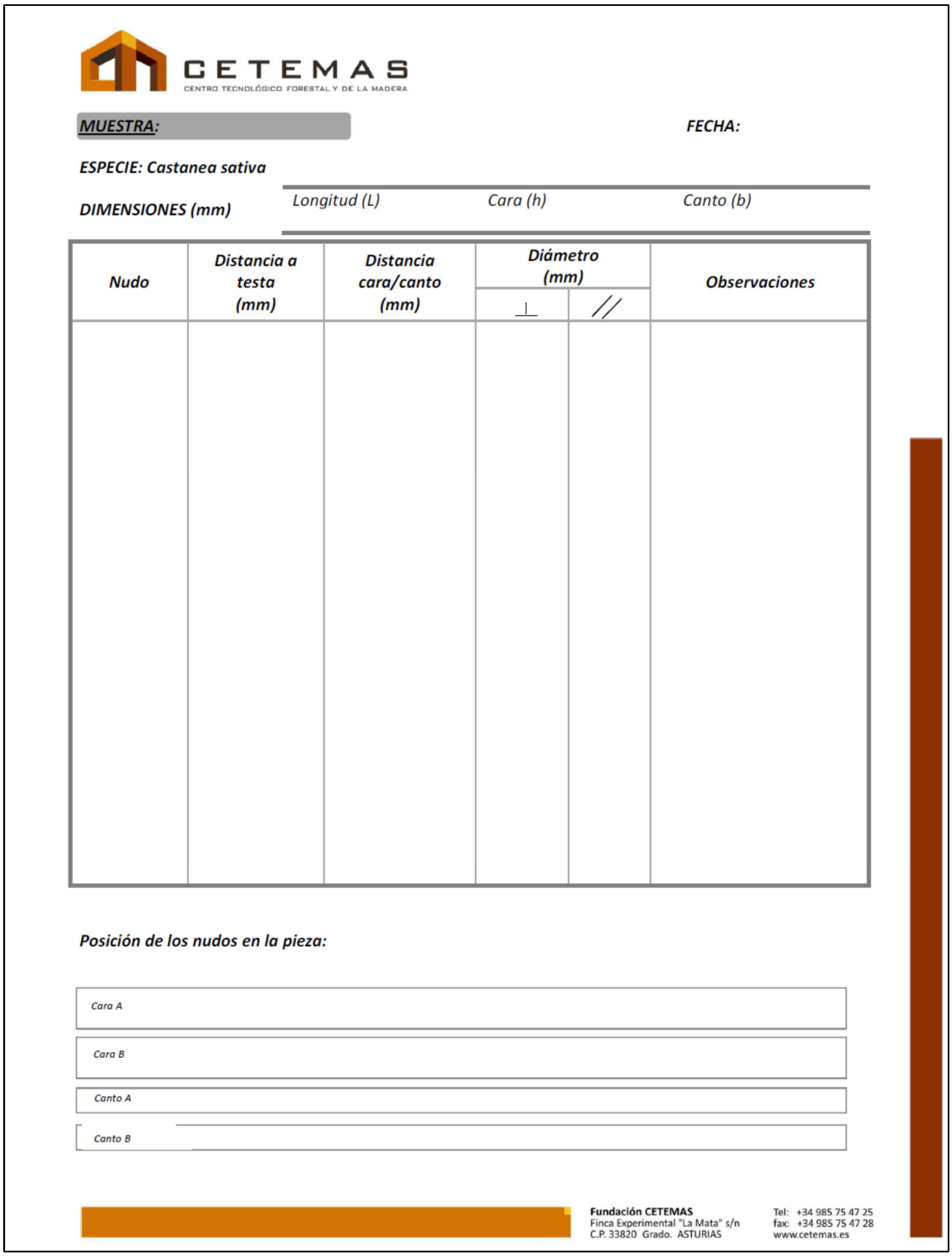
$H_{xil_c} = H_{xil_sc} - 2{,}70$ (%) (error de ±0,87%) [AI.1]

Tabla AI.2. Calibración del xilohigrómetro para la estimación del contenido de humedad de la madera de castaño.

H_{xil_sc}	H_{est}	$H_{xil_sc} - H_{est}$	H_{xil_c}	$H_{est} - H_{xil_c}$
15,30	12,88	2,42	12,60	-0,28
15,20	12,95	2,25	12,50	-0,45
15,20	13,14	2,06	12,50	-0,64
14,90	11,51	3,39	12,20	0,69
14,10	11,17	2,93	11,40	0,23
13,80	10,83	2,97	11,10	0,27
14,00	11,22	2,78	11,30	0,08
15,30	12,22	3,08	12,60	0,38
15,20	13,02	2,18	12,50	-0,52
15,20	12,81	2,39	12,50	-0,31
14,70	12,58	2,12	12,00	-0,58
14,50	11,00	3,50	11,80	0,80
13,90	11,23	2,67	11,20	-0,03
14,90	11,33	3,57	12,20	0,87
13,40	10,69	2,71	10,70	0,01
14,30	11,03	3,27	11,60	0,57
16,00	13,02	2,98	13,30	0,28
15,90	12,94	2,96	13,20	0,26
15,40	12,35	3,05	12,70	0,35
14,70	11,81	2,89	12,00	0,19
15,10	12,85	2,25	12,40	-0,45
13,80	10,64	3,16	11,10	0,46
15,50	12,82	2,68	12,80	-0,02
15,70	13,17	2,53	13,00	-0,17
15,80	13,03	2,77	13,10	0,07
14,80	12,23	2,57	12,10	-0,13
15,30	12,58	2,72	12,60	0,02
14,40	12,09	2,31	11,70	-0,39
14,70	12,57	2,13	12,00	-0,57
15,40	13,41	1,99	12,70	-0,71
15,60	13,09	2,51	12,90	-0,19
16,00	13,46	2,54	13,30	-0,16
16,10	13,62	2,48	13,40	-0,22
13,10	10,38	2,72	10,40	0,02
15,10	12,26	2,84	12,40	0,14
14,20	10,87	3,33	11,50	0,63
14,50	12,26	2,24	11,80	-0,46
	Máximo	3,57	**Máximo**	0,87
	Valor medio	2,70	**Valor medio**	<0,01
	Mínimo	1,99	**Mínimo**	-0,71

ANEXO II. ESTADILLOS DE LABORATORIO

II.1. Estadillo para la toma de datos de clasificación visual



CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA

MUESTRA: *FECHA:*

ESPECIE: Castanea sativa

DIMENSIONES (mm) *Longitud (L)* *Cara (h)* *Canto (b)*

Nudo	*Distancia a testa (mm)*	*Distancia cara/canto (mm)*	*Diámetro (mm)* ⊥	*Diámetro (mm)* //	*Observaciones*

Posición de los nudos en la pieza:

Cara A

Cara B

Canto A

Canto B

Fundación CETEMAS
Finca Experimental "La Mata" s/n
C.P. 33820 Grado. ASTURIAS

Tel: +34 985 75 47 25
fax: +34 985 75 47 28
www.cetemas.es

CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA

Fendas Identificación: F_1, F_2,..,F_n Posición: cara A/B, canto A/B y/o testa A/B Tipo: pasante/no pasante Dimensiones (mm): longitud y profundidad.	
Gemas Identificación: G_1, G_2 ... Posición: arista de cara A/B y/o canto A/B Dimensiones (mm): . longitud . dimensión limpia en cara . dimensión limpia en canto	
Desviación de la Fibra . Longitud tomada en el eje X (mm) Longitud de la desviación en el eje Y (mm)	
Acebolladuras	
Médula	
Alteraciones biológicas	
Deformaciones	***Curvatura de cara*** (deformación máx. en 2m de longitud, mm):
	Curvatura de canto (deformación máx. en 2m de longitud, mm):
	Alabeo (deformación máx. de la superficie en 2m de longitud, mm):
	Abarquillado (deformación máx. sobre la anchura de la sección, mm):

Observaciones adicionales:

Fundación CETEMAS
Finca Experimental "La Mata" s/n
C.P. 33820 Grado. ASTURIAS

Tel: +34 985 75 47 25
fax: +34 985 75 47 28
www.cetemas.es

II.1. Estadillo para la toma de datos de los ensayos no destructivos

CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA

MUESTRA:	
FECHA:	
CH (%):	

MICROSECOND TIMER	DIRECTA (Testa-Testa)	INDIRECTA (18h)
	TIEMPO (µs)	*TIEMPO (µs)*

SYLVATEST

DIRECTA (Testa-Testa)	*TIEMPO (µs)*	*VELOCIDAD (m/s)*	*AMPLITUD (mV)*
INDIRECTA (18h)	*TIEMPO (µs)*	*VELOCIDAD (m/s)*	*AMPLITUD (mV)*

PLG

PESO:	
DIFERENCIA DE HUMEDAD:	
CKDR: (Σdi)/(2·(b+h))=	
Frecuencia:	
Velocidad:	
MOE_{mea}:	
MOE_{calc}:	
Densidad:	
Clase resistente asignada:	

HITMAN

VELOCIDAD (km/s)				

II.1. Plantilla de ensayo mecánico según EN 408

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
UNIDADE XESTIÓN FORESTAL SOSTIBLE

PEMADE
PLATAFORMA DE ENXEÑERIA DA MADEIRA ESTRUTURAL

INFORME Nº:
FECHA:
PROBETA:

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA:		
Ancho de la probeta (b):		mm
Alto de la probeta (h):		mm
Largo de la probeta:		mm
Peso de la probeta:		kg
PARÁMETROS GEOMÉTRICOS:		
Luz de ensayo (l):		mm
Distancia entre carga y apoyo (a):		mm
Distancia de rotura fuera del tercio central:		mm
PARÁMETROS DE EJECUCIÓN:		
Velocidad del ensayo:		mm/min
Sensibilidad de rotura:		%
Precarga de contacto:		kN
Porcentaje Fmáx inicio:		%
Porcentaje Fmáx fin:		%
CARACTERÍSTICAS DE LA REBANADA:		
Ancho de la rebanada:		mm
Alto de la rebanada:		mm
Espesor de la rebanada:		mm
Peso húmedo de la rebanada:		g
Peso anhidro de la rebanada:		g
RESULTADOS:		
Humedad de la probeta en el momento del ensayo:		%
Densidad global a la humedad de ensayo:		kg/m^3
Densidad global al 12% de humedad:		kg/m^3
Densidad de la rebanada a la humedad de ensayo:		kg/m^3
Densidad de la rebanada al 12% de humedad:		kg/m^3
Fuerza máxima ($F_{máx.}$):		kN
Fuerza al % del inicio (F_1):		kN
Fuerza al % del fin (F_2):		kN
Resistencia a la flexión (f_m):		N/mm^2
Módulo de elasticidad LOCAL Ext 7 ($E_{m,l}$):		N/mm^2
Módulo de elasticidad LOCAL Ext 8 ($E_{m,l}$):		N/mm^2
Módulo de elasticidad LOCAL medio ($E_{m,l}$):		N/mm^2
Módulo de elasticidad LOCAL medio al 12% ($E_{m,l}$):		N/mm^2
Módulo de elasticidad GLOBAL ($E_{m,g}$):		N/mm^2
Módulo de elasticidad GLOBAL al 12% ($E_{m,g}$):		N/mm^2
Tiempo de Ensayo:		s

Ensayo Realizado en Bastidor 3 con célula de Carga de 200 kN.
Extensómetros empleados: Ext 3 para $E_{m,l}$ y Ext 7 y 8 para $E_{m,l}$.
Certificado de Calibración ENAC 55/LC091. Emisión: 9/01/2010.

ENAC CALIBRACIÓN N.º 55/LC091

OBSERVACIONES:

Director	Técnico

ANEXO III. BASE DE DATOS

Tabla AIII.1. Tabla de datos genéricos, dimensiones y contenidos de humedad

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AI01a	1	MEF	Asturias	I	6,60	100	40	2500	15,10	12,40	12,40
AI01b	1	R	Asturias	I	5,20	92	36	2500	14,20	11,50	10,70
AI01c	1	MEF	Asturias	I	5,10	100	42	2500	12,00	9,30	12,00
AI02a	1	MEF	Asturias	I	6,10	100	40	2500	14,70	12,00	11,80
AI02b	1	MEF	Asturias	I	5,00	93	36	2450	16,00	13,30	13,20
AI02c	1	R	Asturias	I	5,90	100	41	2500	11,70	9,00	12,40
AI03a	1	R	Asturias	I	6,00	100	40	2500	14,70	12,00	11,70
AI03b	1	MEF	Asturias	I	4,80	93	36	2500	12,70	10,00	11,90
AI03c	1	MEF	Asturias	I	6,50	100	40	2500	12,40	9,70	11,60
AI04a	1	MEF	Asturias	I	5,40	100	40	2500	15,50	12,80	11,60
AI04b	1	MEF	Asturias	I	5,60	93	36	2500	27,20	24,50	15,80
AI04c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	11,90	9,20	11,40
AI05a	1	MEF	Asturias	I	6,50	100	40	2500	16,50	13,80	13,10
AI05b	1	R	Asturias	I	5,60	93	36	2500	18,10	15,40	14,30
AI05c	1	MEF	Asturias	I	5,80	100	42	2500	11,40	8,70	10,80
AI06a	1	MEF	Asturias	I	6,40	100	40	2500	14,70	12,00	12,80
AI06b	1	MEF	Asturias	I	5,20	92	36	2500	16,90	14,20	10,50
AI06c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	11,70	9,00	10,90
AI07a	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	15,70	13,00	11,50
AI07b	1	MEF	Asturias	I	5,30	92	36	2500	16,00	13,30	12,50
AI07c	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	41	2500	12,00	9,30	11,60
AI08a	1	MEF	Asturias	I	5,80	100	40	2500	15,00	12,30	11,50
AI08b	1	MEF	Asturias	I	5,20	93	36	2500	14,90	12,20	11,90
AI08c	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	42	2500	12,10	9,40	12,50
AI09a	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	40	2500	15,30	12,60	12,50
AI09b	1	MEF	Asturias	I	4,90	92	36	2500	18,80	16,10	22,50
AI09c	1	MEF	Asturias	I	6,80	100	41	2500	13,80	11,10	12,40
AI10a	1	MEF	Asturias	I	5,40	100	40	2500	14,70	12,00	11,90
AI10b	1	MEF	Asturias	I	5,10	93	36	2500	14,30	11,60	11,50
AI10c	1	MEF	Asturias	I	5,50	100	41	2500	11,10	8,40	10,90
AI11a	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	14,70	12,00	11,00
AI11b	1	MEF	Asturias	I	5,50	93	36	2500	20,40	17,70	18,10
AI11c	1	MEF	Asturias	I	7,30	100	41	2500	13,00	10,30	11,90
AI12a	1	MEF	Asturias	I	5,20	100	40	2500	15,20	12,50	12,10
AI12b	1	MEF	Asturias	I	5,40	93	36	2500	16,30	13,60	13,90
AI12c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	12,10	9,40	11,70
AI13a	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	15,30	12,60	12,00
AI13b	1	R	Asturias	I	5,10	92	38	2500	14,40	11,70	12,20
AI13c	1	R	Asturias	I	6,70	100	41	2500	13,30	10,60	11,50
AI14a	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	40	2500	14,90	12,20	11,30
AI14b	1	MEF	Asturias	I	5,60	89	36	2500	15,10	12,40	11,50
AI14c	1	MEF	Asturias	I	6,60	99	40	2500	12,50	9,80	11,30
AI15a	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	40	2500	15,30	12,60	12,10
AI15b	1	MEF	Asturias	I	4,70	93	40	2500	15,60	12,90	10,90
AI15c	1	R	Asturias	I	6,00	100	41	2500	12,00	9,30	10,80
AI16a	1	R	Asturias	I	6,60	100	40	2500	15,90	13,20	12,40
AI16b	1	MEF	Asturias	I	4,90	93	36	2500	20,80	18,10	18,80
AI16c	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	41	2500	11,80	9,10	11,20
AI17a	1	R	Asturias	I	6,00	100	40	2500	15,50	12,80	12,70
AI17b	1	MEF	Asturias	I	5,80	93	36	2500	15,80	13,10	13,50
AI17c	1	R	Asturias	I	6,10	100	41	2500	12,40	9,70	11,50
AI18a	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	15,40	12,70	12,00
AI18b	1	MEF	Asturias	I	4,90	93	36	2500	12,90	10,20	10,90
AI18c	1	R	Asturias	I	6,30	100	40	2500	11,80	9,10	11,10
AI19a	1	R	Asturias	I	6,00	100	40	2500	15,20	12,50	11,80
AI19b	1	MEF	Asturias	I	5,60	93	36	2500	13,20	10,50	12,70

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AI19c	1	MEF	Asturias	I	6,10	100	40	2500	12,10	9,40	10,80
AI20a	1	MEF	Asturias	I	5,40	100	40	2500	15,30	12,60	13,50
AI20b	1	MEF	Asturias	I	5,10	93	36	2500	20,10	17,40	14,40
AI20c	1	MEF	Asturias	I	5,30	99	40	2500	11,50	8,80	10,90
AI21a	1	MEF	Asturias	I	5,30	100	40	2500	15,10	12,40	14,60
AI21b	1	MEF	Asturias	I	5,00	93	36	2500	17,70	15,00	11,10
AI21c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	11,80	9,10	10,70
AI22a	1	MEF	Asturias	I	5,00	100	40	2500	15,80	13,10	12,20
AI22b	1	MEF	Asturias	I	5,50	93	36	2500	18,90	16,20	15,10
AI22c	1	R	Asturias	I	7,00	100	41	2500	11,50	8,80	13,60
AI23a	1	MEF	Asturias	I	6,10	100	40	2500	15,40	12,70	13,00
AI23b	1	R	Asturias	I	5,30	93	36	2500	18,00	15,30	14,70
AI23c	1	MEF	Asturias	I	5,60	99	40	2500	12,30	9,60	11,30
AI24a	1	MEF	Asturias	I	5,30	100	40	2500	15,10	12,40	12,00
AI24b	1	R	Asturias	I	4,90	93	36	2500	22,20	19,50	15,40
AI24c	1	MEF	Asturias	I	6,20	100	40	2500	11,70	9,00	10,90
AI25a	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	40	2500	14,80	12,10	11,90
AI25b	1	R	Asturias	I	5,20	93	36	2500	15,40	12,70	13,90
AI25c	1	MEF	Asturias	I	6,60	96	41	2500	12,00	9,30	11,30
AI26a	1	MEF	Asturias	I	4,80	96	39	2497	12,90	10,20	14,20
AI26b	1	MEF	Asturias	I	5,10	91	36	2500	15,40	12,70	13,80
AI26c	1	MEF	Asturias	I	5,60	100	40	2500	12,10	9,40	11,00
AI27a	1	R	Asturias	I	6,10	98	39	2498	16,10	13,40	16,10
AI27b	1	MEF	Asturias	I	5,20	92	36	2500	14,00	11,30	10,90
AI27c	1	R	Asturias	I	5,70	100	42	2500	11,40	8,70	11,10
AI28a	1	R	Asturias	I	5,80	96	39	2498	13,70	11,00	14,50
AI28b	1	R	Asturias	I	5,40	91	36	2500	13,30	10,60	10,80
AI28c	1	MEF	Asturias	I	6,20	100	42	2500	11,70	9,00	11,20
AI29a	1	R	Asturias	I	5,80	97	39	2498	15,60	12,90	15,70
AI29b	1	MEF	Asturias	I	5,60	93	36	2500	18,80	16,10	14,00
AI29c	1	MEF	Asturias	I	5,60	99	41	2500	12,30	9,60	10,90
AI30a	1	R	Asturias	I	5,70	97	39	2496	14,40	11,70	14,70
AI30b	1	MEF	Asturias	I	5,10	93	36	2500	13,90	11,20	11,70
AI30c	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	40	2500	12,20	9,50	11,20
AI31a	1	MEF	Asturias	I	5,80	98	39	2497	15,50	12,80	15,30
AI31b	1	MEF	Asturias	I	5,60	93	36	2500	12,80	10,10	10,80
AI31c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	12,00	9,30	10,80
AI32a	1	MEF	Asturias	I	4,60	97	38	2498	13,40	10,70	13,60
AI32b	1	MEF	Asturias	I	5,50	92	36	2500	18,40	15,70	14,10
AI32c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	12,20	9,50	10,90
AI33a	1	MEF	Asturias	I	5,50	97	39	2497	13,80	11,10	14,20
AI33b	1	MEF	Asturias	I	5,20	89	36	2500	16,70	14,00	12,90
AI33c	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	42	2500	12,50	9,80	11,10
AI34a	1	MEF	Asturias	I	5,70	97	39	2497	15,60	12,90	14,60
AI34b	1	MEF	Asturias	I	5,30	93	36	2500	17,30	14,60	13,30
AI34c	1	MEF	Asturias	I	5,80	100	42	2500	12,50	9,80	11,60
AI35a	1	R	Asturias	I	5,00	97	40	2493	13,30	10,60	14,00
AI35b	1	MEF	Asturias	I	4,80	93	36	2500	15,20	12,50	8,90
AI35c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	12,20	9,50	10,90
AI36a	1	MEF	Asturias	I	4,80	98	39	2497	13,20	10,50	14,00
AI36b	1	MEF	Asturias	I	5,90	91	36	2500	17,10	14,40	13,60
AI36c	1	MEF	Asturias	I	6,30	100	41	2500	11,50	8,80	11,20
AI37a	1	MEF	Asturias	I	5,70	96	39	2497	14,30	11,60	13,60
AI37b	1	MEF	Asturias	I	5,20	93	36	2500	22,70	20,00	17,10
AI37c	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	40	2500	12,00	9,30	10,90
AI38a	1	R	Asturias	I	6,10	96	39	2499	15,80	13,10	15,30
AI38b	1	MEF	Asturias	I	5,00	93	36	2500	16,30	13,60	19,40
AI38c	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	42	2500	11,60	8,90	11,20
AI39a	1	MEF	Asturias	I	5,90	96	39	2499	17,40	14,70	16,10

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AI39b	1	MEF	Asturias	I	4,60	93	36	2500	13,70	11,00	10,40
AI39c	1	MEF	Asturias	I	5,20	100	43	2500	12,00	9,30	11,10
AI40a	1	MEF	Asturias	I	5,00	98	38	2496	13,20	10,50	13,50
AI40b	1	R	Asturias	I	5,00	93	37	2500	16,70	14,00	13,80
AI40c	1	MEF	Asturias	I	6,10	100	43	2500	12,40	9,70	10,00
AI41a	1	MEF	Asturias	I	5,80	97	38	2496	14,40	11,70	15,90
AI41b	1	MEF	Asturias	I	5,50	100	40	2539	16,80	14,10	13,90
AI41c	1	R	Asturias	I	6,60	100	40	2500	11,90	9,20	11,30
AI42a	1	MEF	Asturias	I	5,80	95	39	2495	13,40	10,70	15,10
AI42b	1	MEF	Asturias	I	5,80	100	40	2545	16,60	13,90	14,60
AI42c	1	MEF	Asturias	I	5,10	100	41	2500	11,40	8,70	11,60
AI43a	1	MEF	Asturias	I	5,10	97	39	2495	13,40	10,70	13,70
AI43b	1	MEF	Asturias	I	6,50	100	40	2500	16,60	13,90	14,90
AI43c	1	MEF	Asturias	I	6,30	101	41	2492	11,00	8,30	11,30
AI44a	1	MEF	Asturias	I	5,30	96	39	2498	13,50	10,80	13,90
AI44b	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2530	17,00	14,30	14,30
AI44c	1	MEF	Asturias	I	6,20	101	40	2500	11,40	8,70	11,80
AI45a	1	R	Asturias	I	4,90	97	38	2497	13,40	10,70	13,60
AI45b	1	MEF	Asturias	I	6,00	101	40	2532	16,70	14,00	13,50
AI45c	1	MEF	Asturias	I	5,40	100	41	2500	11,40	8,70	11,40
AI46a	1	R	Asturias	I	5,20	96	39	2495	13,20	10,50	13,50
AI46b	1	MEF	Asturias	I	6,00	100	40	2545	16,70	14,00	14,40
AI46c	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	41	2500	11,00	8,30	11,50
AI47a	1	MEF	Asturias	I	5,60	96	39	2497	14,10	11,40	14,00
AI47b	1	MEF	Asturias	I	5,40	101	41	2535	16,80	14,10	13,50
AI48a	1	MEF	Asturias	I	5,80	97	39	2498	14,40	11,70	15,00
AI48b	1	MEF	Asturias	I	5,80	100	40	2557	16,90	14,20	14,90
AI48c	1	MEF	Asturias	I	5,00	100	41	2500	11,30	8,60	11,80
AI49a	1	R	Asturias	I	5,80	97	38	2496	14,40	11,70	14,60
AI49b	1	R	Asturias	I	6,10	100	40	2500	16,10	13,40	14,80
AI49c	1	MEF	Asturias	I	6,20	100	41	2500	11,80	9,10	11,60
AI50a	1	R	Asturias	I	5,70	98	39	2500	14,30	11,60	14,50
AI50b	1	R	Asturias	I	6,10	100	40	2505	15,90	13,20	14,60
AI50c	1	R	Asturias	I	5,90	100	40	2499	11,60	8,90	11,70
AI51b	1	R	Asturias	I	5,80	100	40	2545	17,00	14,30	14,30
AI51c	1	MEF	Asturias	I	6,50	100	40	2500	10,80	8,10	11,20
AI52b	1	R	Asturias	I	6,70	100	40	2546	17,60	14,90	14,90
AI52c	1	R	Asturias	I	5,70	100	41	2500	10,80	8,10	11,60
AI53b	1	MEF	Asturias	I	6,40	100	40	2500	15,60	12,90	15,00
AI53c	1	MEF	Asturias	I	5,70	101	40	2503	11,10	8,40	11,60
AI54b	1	MEF	Asturias	I	6,20	100	40	2528	16,20	13,50	14,50
AI54c	1	MEF	Asturias	I	5,70	99	40	2497	11,10	8,40	11,90
AI55b	1	MEF	Asturias	I	5,50	100	40	2500	17,40	14,70	14,20
AI55c	1	MEF	Asturias	I	5,70	100	40	2500	11,20	8,50	11,50
AI56b	1	MEF	Asturias	I	6,10	100	40	2500	16,00	13,30	14,00
AI57b	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2529	17,20	14,50	14,10
AI58b	1	MEF	Asturias	I	5,90	100	40	2500	16,20	13,50	14,30
AI59b	1	MEF	Asturias	I	5,60	100	40	2544	17,00	14,30	13,90
AI60b	1	MEF	Asturias	I	6,30	100	40	2531	16,80	14,10	14,40
AI61b	1	R	Asturias	I	5,80	100	40	2536	16,80	14,10	14,20
AI62b	1	MEF	Asturias	I	5,40	100	41	2544	17,40	14,70	14,00
AII01b	2	MEF	Asturias	II	11,20	144	36	3490	12,60	9,90	13,20
AII01c	2	MEF	Asturias	II	13,40	148	41	3498	12,70	10,00	12,40
AII02b	2	MEF	Asturias	II	11,00	144	37	3497	13,00	10,30	14,30
AII02c	2	MEF	Asturias	II	12,20	151	40	3500	12,60	9,90	12,20
AII03b	2	MEF	Asturias	II	11,50	144	36	3500	12,70	10,00	14,60
AII03c	2	MEF	Asturias	II	12,50	151	40	3498	12,60	9,90	12,50
AII04b	2	R	Asturias	II	10,90	144	36	3500	14,10	11,40	13,00
AII04c	2	MEF	Asturias	II	12,40	152	42	3500	12,70	10,00	13,00

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AII05b	2	R	Asturias	II	10,90	142	36	3500	15,60	12,90	15,20
AII05c	2	MEF	Asturias	II	12,80	153	44	3500	12,50	9,80	13,10
AII06b	2	MEF	Asturias	II	11,00	144	37	3500	12,70	10,00	13,50
AII06c	2	MEF	Asturias	II	11,20	154	43	3500	13,50	10,80	12,50
AII07b	2	MEF	Asturias	II	12,20	143	36	3500	12,80	10,10	15,00
AII07c	2	MEF	Asturias	II	12,10	151	43	3500	13,00	10,30	13,70
AII08b	2	MEF	Asturias	II	11,10	144	36	3314	12,70	10,00	14,70
AII08c	2	MEF	Asturias	II	11,50	151	41	3500	12,10	9,40	12,60
AII09b	2	R	Asturias	II	11,30	144	36	3500	12,30	9,60	14,20
AII09c	2	MEF	Asturias	II	12,70	150	41	3500	12,70	10,00	12,20
AII10b	2	MEF	Asturias	II	11,20	144	36	3500	15,00	12,30	14,50
AII10c	2	MEF	Asturias	II	12,30	150	41	3500	12,20	9,50	12,80
AII11a	2	MEF	Asturias	II	11,70	146	38	3496	18,10	15,40	14,80
AII11c	2	MEF	Asturias	II	11,40	151	40	3500	12,30	9,60	13,00
AII12a	2	R	Asturias	II	12,00	144	40	3492	17,10	14,40	15,30
AII12b	2	MEF	Asturias	II	10,30	144	36	3500	13,90	11,20	14,50
AII12c	2	MEF	Asturias	II	13,40	150	40	3500	15,80	13,10	12,50
AII13a	2	R	Asturias	II	14,30	143	38	3493	16,90	14,20	20,00
AII13b	2	R	Asturias	II	11,30	144	36	3500	14,40	11,70	14,40
AII13c	2	MEF	Asturias	II	11,90	153	41	3500	12,30	9,60	12,50
AII14a	2	MEF	Asturias	II	13,60	145	38	3500	15,10	12,40	15,10
AII14b	2	MEF	Asturias	II	11,50	142	36	3500	14,20	11,50	14,50
AII14c	2	MEF	Asturias	II	12,10	148	40	3500	12,60	9,90	12,30
AII15b	2	R	Asturias	II	12,00	143	36	3500	13,30	10,60	13,60
AII15c	2	MEF	Asturias	II	10,90	150	42	3500	12,50	9,80	11,90
AII16a	2	MEF	Asturias	II	11,60	146	38	3497	17,60	14,90	15,00
AII16b	2	R	Asturias	II	11,50	143	37	3500	12,50	9,80	13,10
AII16c	2	MEF	Asturias	II	12,70	154	43	3500	12,50	9,80	16,80
AII17a	2	R	Asturias	II	14,20	144	39	3493	16,70	14,00	15,40
AII17b	2	MEF	Asturias	II	10,40	144	36	3500	13,50	10,80	14,20
AII17c	2	MEF	Asturias	II	12,00	150	41	3500	15,60	12,90	12,20
AII18a	2	MEF	Asturias	II	12,10	145	40	3498	15,50	12,80	15,70
AII18b	2	R	Asturias	II	10,50	143	36	3500	14,80	12,10	14,20
AII18c	2	MEF	Asturias	II	11,90	152	40	3500	13,00	10,30	13,00
AII19a	2	MEF	Asturias	II	11,40	145	40	3497	16,50	13,80	14,70
AII19b	2	R	Asturias	II	10,90	143	36	3495	12,40	9,70	14,00
AII19c	2	MEF	Asturias	II	13,20	150	41	3500	11,80	9,10	12,40
AII20a	2	MEF	Asturias	II	11,80	147	39	3492	13,80	11,10	13,90
AII20b	2	R	Asturias	II	10,90	144	36	3500	13,70	11,00	15,00
AII20c	2	MEF	Asturias	II	13,00	151	41	3500	13,10	10,40	13,10
AII21b	2	MEF	Asturias	II	9,60	144	36	3497	13,40	10,70	13,80
AII21c	2	MEF	Asturias	II	12,10	152	42	3503	12,00	9,30	12,40
AII22a	2	MEF	Asturias	II	11,40	146	38	3496	19,60	16,90	15,80
AII22b	2	MEF	Asturias	II	11,30	143	36	3496	14,80	12,10	14,60
AII22c	2	MEF	Asturias	II	11,70	151	41	3500	12,80	10,10	12,40
AII23a	2	MEF	Asturias	II	12,20	146	39	3494	18,00	15,30	16,30
AII23b	2	R	Asturias	II	11,00	144	36	3500	14,80	12,10	14,90
AII23c	2	MEF	Asturias	II	11,90	150	41	3500	12,90	10,20	11,80
AII24b	2	R	Asturias	II	10,80	144	36	3495	13,90	11,20	13,30
AII24c	2	MEF	Asturias	II	11,30	150	40	3500	12,30	9,60	12,20
AII25a	2	MEF	Asturias	II	12,20	145	39	3500	17,70	15,00	16,60
AII25b	2	MEF	Asturias	II	10,50	142	37	3495	13,60	10,90	13,30
AII25c	2	MEF	Asturias	II	12,70	151	42	3500	12,20	9,50	12,10
AII26a	2	R	Asturias	II	9,90	146	39	3497	13,60	10,90	15,60
AII26b	2	MEF	Asturias	II	10,60	142	36	3497	15,20	12,50	13,60
AII26c	2	MEF	Asturias	II	13,50	151	42	3500	12,20	9,50	12,70
AII27a	2	R	Asturias	II	11,90	144	38	3497	14,80	12,10	15,00
AII27b	2	MEF	Asturias	II	11,50	143	36	3500	14,20	11,50	15,60
AII27c	2	MEF	Asturias	II	12,90	151	40	3500	12,10	9,40	12,30

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AII28a	2	MEF	Asturias	II	10,80	145	39	3502	16,80	14,10	15,30
AII28b	2	MEF	Asturias	II	11,10	142	36	3500	17,60	14,90	15,40
AII28c	2	MEF	Asturias	II	13,10	151	41	3500	13,10	10,40	13,10
AII29a	2	MEF	Asturias	II	11,90	146	40	3495	17,80	15,10	19,20
AII29b	2	MEF	Asturias	II	11,10	143	36	3500	16,20	13,50	15,60
AII29c	2	MEF	Asturias	II	13,70	151	40	3500	12,80	10,10	12,30
AII30a	2	R	Asturias	II	11,70	147	38	3496	18,20	15,50	15,70
AII30b	2	MEF	Asturias	II	10,50	143	36	3500	13,90	11,20	13,80
AII30c	2	MEF	Asturias	II	12,10	150	42	3500	12,80	10,10	13,00
AII31b	2	MEF	Asturias	II	11,00	143	36	3496	14,30	11,60	14,70
AII31c	2	MEF	Asturias	II	12,40	150	40	3500	12,80	10,10	12,80
AII32a	2	R	Asturias	II	11,00	146	38	3495	13,20	10,50	16,00
AII32b	2	MEF	Asturias	II	12,40	141	36	3500	14,70	12,00	15,40
AII32c	2	MEF	Asturias	II	12,70	152	42	3500	12,20	9,50	12,90
AII33a	2	MEF	Asturias	II	10,60	146	39	3500	15,70	13,00	15,80
AII33b	2	R	Asturias	II	11,00	142	36	3493	16,00	13,30	16,00
AII33c	2	MEF	Asturias	II	13,90	150	42	3500	13,10	10,40	15,90
AII34a	2	MEF	Asturias	II	12,40	145	40	3496	17,50	14,80	16,30
AII34b	2	MEF	Asturias	II	10,70	145	37	3496	13,80	11,10	13,80
AII34c	2	MEF	Asturias	II	13,00	150	42	3500	13,60	10,90	14,00
AII35a	2	R	Asturias	II	11,70	145	39	3496	17,20	14,50	16,00
AII35b	2	R	Asturias	II	9,80	144	36	3496	13,90	11,20	13,90
AII35c	2	R	Asturias	II	14,10	150	41	3517	13,70	11,00	12,80
AII36a	2	MEF	Asturias	II	11,10	145	37	3496	16,90	14,20	15,20
AII36b	2	MEF	Asturias	II	10,30	144	37	3500	13,30	10,60	13,60
AII36c	2	MEF	Asturias	II	12,40	151	40	3500	12,10	9,40	12,70
AII37a	2	R	Asturias	II	12,50	145	37	3497	17,30	14,60	16,10
AII37b	2	MEF	Asturias	II	10,60	144	36	3500	15,00	12,30	15,20
AII37c	2	MEF	Asturias	II	11,40	151	42	3500	12,60	9,90	13,90
AII38a	2	MEF	Asturias	II	11,50	145	38	3493	14,40	11,70	15,40
AII38b	2	MEF	Asturias	II	11,30	143	36	3500	13,70	11,00	13,60
AII38c	2	R	Asturias	II	12,40	151	40	3500	12,80	10,10	12,50
AII39a	2	MEF	Asturias	II	11,70	146	38	3500	19,30	16,60	16,40
AII39b	2	MEF	Asturias	II	9,80	144	36	3500	12,60	9,90	12,50
AII39c	2	MEF	Asturias	II	13,50	151	41	3500	12,80	10,10	12,90
AII40a	2	MEF	Asturias	II	12,40	144	39	3495	17,40	14,70	15,90
AII40b	2	MEF	Asturias	II	10,50	144	36	3497	13,50	10,80	13,10
AII40c	2	MEF	Asturias	II	12,50	150	41	3500	12,60	9,90	12,80
AII41a	2	MEF	Asturias	II	10,80	147	39	3496	17,30	14,60	15,90
AII41b	2	MEF	Asturias	II	12,10	149	40	3532	17,30	14,60	14,20
AII41c	2	MEF	Asturias	II	12,40	145	40	3498	11,90	9,20	11,60
AII42a	2	R	Asturias	II	12,20	146	38	3497	18,30	15,60	17,30
AII42b	2	MEF	Asturias	II	12,40	149	39	3500	19,10	16,40	14,70
AII42c	2	MEF	Asturias	II	12,20	148	41	3500	11,40	8,70	12,10
AII43a	2	MEF	Asturias	II	11,60	147	38	3497	18,60	15,90	15,50
AII43b	2	R	Asturias	II	11,00	150	40	3505	19,40	16,70	16,90
AII43c	2	MEF	Asturias	II	11,00	149	40	3495	11,00	8,30	11,80
AII44a	2	MEF	Asturias	II	11,50	145	38	3500	17,80	15,10	16,20
AII44b	2	R	Asturias	II	14,30	148	40	3516	22,80	20,10	15,80
AII44c	2	MEF	Asturias	II	11,40	150	40	3524	11,40	8,70	11,00
AII45a	2	R	Asturias	II	12,90	147	37	3492	14,90	12,20	15,40
AII45b	2	MEF	Asturias	II	11,90	150	40	3514	26,00	23,30	12,80
AII45c	2	MEF	Asturias	II	11,50	150	40	3497	11,40	8,70	11,30
AII46a	2	MEF	Asturias	II	10,50	147	39	3496	16,10	13,40	14,40
AII46b	2	MEF	Asturias	II	12,10	148	40	3537	24,00	21,30	14,90
AII46c	2	MEF	Asturias	II	12,50	151	40	3500	11,00	8,30	11,70
AII47a	2	R	Asturias	II	11,30	145	40	3498	17,30	14,60	12,80
AII47b	2	MEF	Asturias	II	14,00	140	40	3542	25,20	22,50	16,30
AII47c	2	MEF	Asturias	II	13,10	147	40	3500	11,50	8,80	12,00

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AII48a	2	MEF	Asturias	II	11,60	145	38	3496	17,30	14,60	14,80
AII48b	2	MEF	Asturias	II	12,90	150	41	3540	19,00	16,30	15,00
AII48c	2	MEF	Asturias	II	11,00	149	40	3498	11,30	8,60	11,50
AII49a	2	MEF	Asturias	II	11,50	145	39	3496	18,50	15,80	15,40
AII49b	2	MEF	Asturias	II	14,00	149	40	3544	20,50	17,80	19,80
AII49c	2	MEF	Asturias	II	12,60	149	40	3494	11,80	9,10	11,90
AII50a	2	MEF	Asturias	II	11,40	145	38	3498	17,60	14,90	16,20
AII50b	2	MEF	Asturias	II	12,50	148	40	3540	19,10	16,40	14,40
AII50c	2	R	Asturias	II	11,80	150	40	3503	11,60	8,90	11,80
AII51a	2	MEF	Asturias	II	11,60	147	37	3497	14,90	12,20	15,20
AII51b	2	MEF	Asturias	II	14,00	148	39	3542	21,00	18,30	16,40
AII51c	2	MEF	Asturias	II	12,70	147	40	3488	10,80	8,10	11,60
AII52a	2	MEF	Asturias	II	10,50	147	38	3496	14,20	11,50	15,30
AII52b	2	MEF	Asturias	II	12,90	149	40	3560	20,80	18,10	14,10
AII52c	2	MEF	Asturias	II	10,90	149	41	3496	10,80	8,10	11,60
AII53a	2	MEF	Asturias	II	12,50	145	38	3497	18,90	16,20	16,90
AII53b	2	MEF	Asturias	II	13,20	149	40	3500	18,70	16,00	15,40
AII53c	2	MEF	Asturias	II	11,80	150	40	3501	11,10	8,40	11,50
AII54b	2	MEF	Asturias	II	12,30	149	40	3500	19,70	17,00	12,90
AII54c	2	MEF	Asturias	II	12,00	149	40	3500	11,10	8,40	11,30
AII55a	2	R	Asturias	II	11,40	146	39	3495	15,10	12,40	14,30
AII55b	2	MEF	Asturias	II	13,60	149	40	3500	24,60	21,90	16,10
AII55c	2	MEF	Asturias	II	11,40	150	41	3496	11,20	8,50	11,60
AII56a	2	MEF	Asturias	II	12,30	146	38	3496	17,70	15,00	16,20
AII56b	2	MEF	Asturias	II	14,00	150	40	3543	19,50	16,80	18,00
AII57a	2	R	Asturias	II	9,90	144	39	3495	15,90	13,20	15,40
AII57b	2	MEF	Asturias	II	11,60	149	40	3511	19,30	16,60	14,30
AII58a	2	MEF	Asturias	II	11,80	145	39	3495	16,80	14,10	15,30
AII58b	2	R	Asturias	II	14,20	149	40	3532	21,90	19,20	15,80
AII59a	2	R	Asturias	II	11,00	145	40	3492	18,10	15,40	15,90
AII59b	2	R	Asturias	II	13,20	148	40	3532	19,90	17,20	16,40
AII60a	2	MEF	Asturias	II	11,70	144	38	3497	14,90	12,20	15,50
AII60b	2	MEF	Asturias	II	11,00	148	40	3505	19,40	16,70	15,00
AII61b	2	MEF	Asturias	II	13,40	148	40	3500	19,30	16,60	17,70
AII62b	2	MEF	Asturias	II	14,20	150	40	3500	18,80	16,10	15,50
AII63b	2	MEF	Asturias	II	11,50	149	40	3500	22,80	20,10	15,00
AII64b	2	R	Asturias	II	12,60	149	40	3547	18,00	15,30	14,70
AIII53c	3	MEF	Asturias	III	17,70	150	69	3493	12,70	10,00	12,30
AIII01b	3	MEF	Asturias	III	19,60	142	64	3526	13,20	10,50	15,80
AIII01c	3	MEF	Asturias	III	21,00	150	71	3522	17,90	15,20	14,50
AIII02b	3	MEF	Asturias	III	19,00	142	62	3529	13,00	10,30	16,40
AIII02c	3	MEF	Asturias	III	22,80	150	71	3506	15,40	12,70	14,40
AIII03b	3	MEF	Asturias	III	16,20	140	63	3498	12,70	10,00	15,40
AIII03c	3	R	Asturias	III	19,00	141	64	3494	17,80	15,10	17,00
AIII04b	3	MEF	Asturias	III	16,90	140	63	3525	11,70	9,00	14,90
AIII04c	3	MEF	Asturias	III	22,30	150	71	3500	15,80	13,10	15,10
AIII05b	3	R	Asturias	III	19,50	142	64	3542	13,90	11,20	17,70
AIII05c	3	MEF	Asturias	III	22,40	150	71	3497	16,00	13,30	14,10
AIII06b	3	MEF	Asturias	III	20,30	140	63	3500	14,50	11,80	15,10
AIII06c	3	MEF	Asturias	III	22,60	150	71	3497	17,50	14,80	14,90
AIII07b	3	MEF	Asturias	III	17,50	142	64	3542	14,30	11,60	14,70
AIII07c	3	MEF	Asturias	III	21,70	150	71	3498	14,50	11,80	14,40
AIII08b	3	MEF	Asturias	III	18,00	143	62	3500	17,00	14,30	15,40
AIII08c	3	MEF	Asturias	III	20,40	150	72	3495	15,50	12,80	15,90
AIII09b	3	R	Asturias	III	18,90	140	65	3500	16,40	13,70	16,50
AIII09c	3	R	Asturias	III	22,20	148	71	3495	16,40	13,70	16,00
AIII10b	3	MEF	Asturias	III	17,10	141	63	3503	16,50	13,80	16,20
AIII10c	3	MEF	Asturias	III	23,60	151	71	3498	15,80	13,10	16,50
AIII11b	3	R	Asturias	III	19,20	140	63	3500	14,40	11,70	15,60

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AIII11c	3	MEF	Asturias	III	22,30	151	71	3496	14,40	11,70	15,30
AIII12b	3	MEF	Asturias	III	17,60	140	63	3500	16,20	13,50	15,80
AIII12c	3	MEF	Asturias	III	21,80	152	71	3500	15,90	13,20	12,30
AIII13b	3	MEF	Asturias	III	18,40	141	63	3500	17,00	14,30	17,10
AIII13c	3	R	Asturias	III	20,80	148	70	3500	16,00	13,30	14,10
AIII14b	3	R	Asturias	III	20,30	141	63	3530	16,60	13,90	17,10
AIII14c	3	MEF	Asturias	III	19,90	151	71	3501	15,30	12,60	13,40
AIII15b	3	MEF	Asturias	III	23,20	141	65	3513	9,60	6,90	16,10
AIII15c	3	MEF	Asturias	III	23,50	150	71	3501	17,50	14,80	18,80
AIII16b	3	R	Asturias	III	18,10	142	63	3535	13,70	11,00	15,90
AIII16c	3	MEF	Asturias	III	22,90	150	71	3493	14,70	12,00	15,00
AIII17b	3	R	Asturias	III	20,70	141	63	3507	14,90	12,20	17,50
AIII17c	3	MEF	Asturias	III	27,20	151	71	3518	16,60	13,90	15,60
AIII18b	3	R	Asturias	III	17,90	142	64	3510	17,10	14,40	15,90
AIII18c	3	MEF	Asturias	III	25,10	150	71	3502	15,50	12,80	14,90
AIII19b	3	MEF	Asturias	III	17,50	140	63	3525	11,00	8,30	15,30
AIII19c	3	MEF	Asturias	III	21,60	151	71	3499	15,00	12,30	15,10
AIII20b	3	MEF	Asturias	III	19,10	141	63	3500	13,10	10,40	16,10
AIII20c	3	MEF	Asturias	III	20,80	150	71	3499	18,50	15,80	15,00
AIII21b	3	MEF	Asturias	III	19,50	141	62	3497	14,10	11,40	15,10
AIII21c	3	MEF	Asturias	III	23,10	151	71	3496	15,80	13,10	14,40
AIII22b	3	MEF	Asturias	III	19,60	142	62	3500	11,60	8,90	15,50
AIII22c	3	R	Asturias	III	23,10	150	71	3500	22,00	19,30	18,40
AIII23b	3	MEF	Asturias	III	16,90	150	60	3500	9,60	6,90	16,20
AIII23c	3	MEF	Asturias	III	27,60	150	71	3496	14,10	11,40	15,30
AIII24b	3	MEF	Asturias	III	16,60	141	64	3491	14,20	11,50	16,20
AIII24c	3	MEF	Asturias	III	22,90	150	71	3495	14,50	11,80	14,80
AIII25b	3	R	Asturias	III	17,40	140	64	3490	12,90	10,20	16,40
AIII25c	3	R	Asturias	III	23,60	150	72	3500	16,20	13,50	15,00
AIII26b	3	MEF	Asturias	III	16,60	141	65	3525	14,20	11,50	15,50
AIII26c	3	MEF	Asturias	III	22,60	150	71	3496	17,40	14,70	15,20
AIII27b	3	MEF	Asturias	III	20,20	141	64	3490	12,60	9,90	17,50
AIII27c	3	MEF	Asturias	III	20,10	150	71	3499	14,00	11,30	14,60
AIII28b	3	MEF	Asturias	III	18,00	141	64	3490	15,90	13,20	16,40
AIII28c	3	MEF	Asturias	III	20,40	150	71	3496	14,20	11,50	13,70
AIII29b	3	R	Asturias	III	20,40	142	63	3500	15,50	12,80	14,90
AIII29c	3	MEF	Asturias	III	23,80	152	72	3499	17,60	14,90	15,60
AIII30b	3	MEF	Asturias	III	16,40	141	61	3525	13,30	10,60	15,20
AIII30c	3	MEF	Asturias	III	24,00	150	71	3500	17,50	14,80	14,80
AIII31b	3	MEF	Asturias	III	17,10	142	64	3500	16,40	13,70	16,60
AIII31c	3	MEF	Asturias	III	23,90	149	70	3499	17,30	14,60	16,80
AIII32b	3	MEF	Asturias	III	20,60	141	64	3545	17,90	15,20	17,20
AIII32c	3	MEF	Asturias	III	21,90	150	71	3496	16,40	13,70	17,10
AIII33b	3	MEF	Asturias	III	19,00	142	66	3530	14,90	12,20	16,00
AIII33c	3	MEF	Asturias	III	20,00	150	71	3499	13,80	11,10	14,80
AIII34b	3	R	Asturias	III	16,90	142	63	3497	13,30	10,60	15,30
AIII35b	3	MEF	Asturias	III	17,60	140	63	3500	14,20	11,50	15,60
AIII35c	3	MEF	Asturias	III	21,90	150	71	3499	15,20	12,50	14,30
AIII36b	3	MEF	Asturias	III	20,20	141	64	3496	11,70	9,00	15,70
AIII36c	3	MEF	Asturias	III	22,10	150	71	3537	16,30	13,60	15,30
AIII37b	3	MEF	Asturias	III	19,20	142	63	3499	11,00	8,30	15,30
AIII37c	3	MEF	Asturias	III	21,70	150	69	3500	14,90	12,20	14,70
AIII38b	3	R	Asturias	III	18,30	142	63	3500	12,20	9,50	14,00
AIII38c	3	MEF	Asturias	III	22,70	149	72	3498	15,30	12,60	14,80
AIII39b	3	MEF	Asturias	III	19,60	141	63	3500	11,80	9,10	15,70
AIII40b	3	MEF	Asturias	III	23,20	141	64	3500	9,60	6,90	16,00
AIII41b	3	MEF	Asturias	III	17,30	141	64	3490	15,90	13,20	16,70
AIII41c	3	MEF	Asturias	III	19,90	148	69	3493	15,90	13,20	14,70
AIII42b	3	R	Asturias	III	20,20	141	65	3490	19,70	17,00	21,00

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AIII42c	3	MEF	Asturias	III	20,00	150	70	3500	14,30	11,60	12,90
AIII43b	3	MEF	Asturias	III	19,80	140	65	3495	17,90	15,20	21,50
AIII43c	3	MEF	Asturias	III	20,00	148	70	3496	12,70	10,00	13,10
AIII44b	3	MEF	Asturias	III	18,50	141	64	3495	10,20	7,50	15,20
AIII44c	3	MEF	Asturias	III	19,40	151	69	3485	12,60	9,90	13,70
AIII45b	3	MEF	Asturias	III	18,70	142	64	3500	15,20	12,50	17,70
AIII45c	3	MEF	Asturias	III	22,50	145	69	3496	14,00	11,30	13,20
AIII46b	3	MEF	Asturias	III	19,20	142	65	3545	13,70	11,00	16,00
AIII46c	3	MEF	Asturias	III	23,40	147	68	3500	12,80	10,10	13,50
AIII47b	3	MEF	Asturias	III	18,40	141	63	3530	15,40	12,70	16,60
AIII47c	3	MEF	Asturias	III	19,80	149	70	3498	13,80	11,10	12,50
AIII48b	3	R	Asturias	III	18,10	142	64	3542	13,00	10,30	16,30
AIII48c	3	MEF	Asturias	III	22,80	146	68	3500	14,20	11,50	13,40
AIII49b	3	MEF	Asturias	III	19,20	141	64	3530	11,50	8,80	15,90
AIII49c	3	MEF	Asturias	III	20,80	150	68	3492	14,00	11,30	13,60
AIII50b	3	MEF	Asturias	III	18,10	141	61	3498	17,80	15,10	16,00
AIII50c	3	MEF	Asturias	III	21,10	146	69	3483	14,00	11,30	13,30
AIII51b	3	R	Asturias	III	19,10	140	63	3520	17,00	14,30	16,50
AIII51c	3	R	Asturias	III	20,40	148	70	3497	14,40	11,70	13,50
AIII52b	3	MEF	Asturias	III	19,10	142	61	3536	17,20	14,50	16,70
AIII52c	3	MEF	Asturias	III	19,00	148	70	3490	13,20	10,50	12,10
AIII53b	3	MEF	Asturias	III	19,50	142	63	3533	13,40	10,70	17,20
AIII54b	3	MEF	Asturias	III	21,10	141	61	3543	12,10	9,40	17,90
AIII54c	3	MEF	Asturias	III	21,30	149	68	3498	13,50	10,80	12,20
AIII55b	3	MEF	Asturias	III	19,40	142	63	3527	16,90	14,20	16,30
AIII55c	3	MEF	Asturias	III	20,80	148	70	3496	13,00	10,30	12,50
AIII56b	3	MEF	Asturias	III	17,10	142	63	3537	13,50	10,80	15,90
AIII56c	3	MEF	Asturias	III	19,60	147	70	3496	12,70	10,00	12,40
AIII57b	3	MEF	Asturias	III	17,80	141	62	3536	14,20	11,50	17,00
AIII57c	3	MEF	Asturias	III	20,20	150	70	3496	12,60	9,90	12,50
AIII58b	3	MEF	Asturias	III	19,50	150	60	3500	14,90	12,20	17,60
AIII58c	3	MEF	Asturias	III	19,40	149	69	3500	13,90	11,20	11,80
AIII59b	3	MEF	Asturias	III	19,00	141	62	3545	13,20	10,50	16,10
AIII59c	3	MEF	Asturias	III	18,00	150	70	3495	13,40	10,70	12,20
AIII60b	3	MEF	Asturias	III	18,10	142	62	3500	13,80	11,10	16,20
AIII60c	3	MEF	Asturias	III	21,20	150	69	3497	12,00	9,30	12,60
AIII61b	3	R	Asturias	III	22,40	141	64	3503	14,50	11,80	20,50
AIII61c	3	MEF	Asturias	III	20,70	150	69	3543	12,30	9,60	11,90
AIII62b	3	MEF	Asturias	III	22,80	139	64	3548	13,40	10,70	20,00
AIII62c	3	MEF	Asturias	III	21,20	146	66	3497	12,30	9,60	11,80
AIII63b	3	MEF	Asturias	III	17,30	141	63	3545	14,40	11,70	16,50
AIII63c	3	MEF	Asturias	III	19,80	147	69	3493	11,80	9,10	12,30
AIII64b	3	MEF	Asturias	III	17,10	141	63	3532	15,60	12,90	16,20
AIII64c	3	MEF	Asturias	III	20,50	146	69	3495	14,40	11,70	13,50
AIII65b	3	MEF	Asturias	III	18,10	141	61	3499	11,80	9,10	15,60
AIII65c	3	R	Asturias	III	25,50	146	69	3496	12,80	10,10	14,40
AIII66b	3	MEF	Asturias	III	19,30	143	63	3500	15,40	12,70	15,70
AIII66c	3	MEF	Asturias	III	19,80	148	70	3500	12,30	9,60	12,10
AIII67b	3	R	Asturias	III	17,10	142	62	3500	17,20	14,50	15,60
AIII67c	3	MEF	Asturias	III	20,70	147	69	3500	13,30	10,60	13,60
AIII68b	3	MEF	Asturias	III	18,60	141	62	3533	12,00	9,30	15,80
AIII68c	3	MEF	Asturias	III	19,50	148	70	3496	14,00	11,30	13,50
AIII69b	3	MEF	Asturias	III	18,50	141	61	3495	11,50	8,80	15,30
AIII69c	3	MEF	Asturias	III	20,20	145	69	3491	13,70	11,00	14,20
AIII70b	3	MEF	Asturias	III	18,60	141	64	3496	12,60	9,90	16,50
AIII70c	3	MEF	Asturias	III	21,10	149	70	3499	13,70	11,00	13,70
AIII71b	3	MEF	Asturias	III	19,10	141	64	3499	18,90	16,20	16,70
AIII71c	3	MEF	Asturias	III	22,80	148	70	3580	12,80	10,10	12,40
AIII72b	3	MEF	Asturias	III	17,80	141	64	3500	19,30	16,60	16,20

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
AIII72c	3	MEF	Asturias	III	19,00	149	70	3500	12,60	9,90	12,50
AIII73b	3	MEF	Asturias	III	18,40	141	64	3498	18,30	15,60	16,90
AIII73c	3	MEF	Asturias	III	20,80	147	69	3496	13,90	11,20	13,00
AIII74b	3	MEF	Asturias	III	18,50	141	62	3495	19,60	16,90	16,90
AIII74c	3	MEF	Asturias	III	21,00	149	69	3600	13,90	11,20	13,20
AIII75b	3	MEF	Asturias	III	18,30	140	61	3500	17,20	14,50	20,00
AIII75c	3	MEF	Asturias	III	18,80	149	69	3495	14,50	11,80	12,90
AIII76b	3	MEF	Asturias	III	19,70	141	64	3488	18,30	15,60	16,70
AIII77b	3	MEF	Asturias	III	18,10	141	62	3499	17,50	14,80	18,00
AIII78b	3	MEF	Asturias	III	19,60	142	64	3490	19,00	16,30	19,10
AIII79b	3	MEF	Asturias	III	17,20	142	66	3497	19,50	16,80	16,60
AIII80b	3	MEF	Asturias	III	18,00	141	63	3490	16,60	13,90	19,40
AIII81b	3	MEF	Asturias	III	18,80	141	63	3496	16,90	14,20	17,20
AIII82b	3	MEF	Asturias	III	18,60	141	62	3498	16,50	13,80	17,70
AIII83b	3	MEF	Asturias	III	18,20	148	64	3496	16,70	14,00	15,80
AIII84b	3	MEF	Asturias	III	19,40	140	62	3500	17,40	14,70	17,60
AIII85b	3	MEF	Asturias	III	19,30	141	64	3494	15,30	12,60	17,70
AIII86b	3	MEF	Asturias	III	23,20	141	62	3502	9,60	6,90	18,00
AIII87b	3	MEF	Asturias	III	23,20	142	63	3498	9,60	6,90	18,80
AIII88b	3	MEF	Asturias	III	19,10	141	63	3491	17,30	14,60	18,40
AIII90b	3	MEF	Asturias	III	19,70	142	64	3490	19,20	16,50	15,80
EI01	4	MEF	Extremadura	I	6,50	99	40	2512	15,90	13,20	12,30
EI02	4	MEF	Extremadura	I	6,40	98	41	2517	18,10	15,40	15,40
EI03	4	MEF	Extremadura	I	6,90	99	41	2533	16,50	13,80	12,80
EI04	4	MEF	Extremadura	I	5,60	96	42	2523	15,10	12,40	13,00
EI05	4	MEF	Extremadura	I	5,90	99	41	2525	16,90	14,20	11,60
EI06	4	MEF	Extremadura	I	5,50	100	42	2509	15,70	13,00	11,30
EI07	4	MEF	Extremadura	I	6,80	98	41	2534	17,20	14,50	12,50
EI08	4	MEF	Extremadura	I	5,80	97	39	2504	16,30	13,60	13,00
EI09	4	MEF	Extremadura	I	6,10	97	40	2517	16,10	13,40	11,90
EI10	4	MEF	Extremadura	I	6,50	100	41	2545	16,50	13,80	14,00
EI11	4	R	Extremadura	I	6,40	99	39	2506	16,20	13,50	11,90
EI12	4	R	Extremadura	I	6,30	97	39	2524	16,30	13,60	11,90
EI13	4	MEF	Extremadura	I	6,20	98	42	2517	16,10	13,40	11,50
EI14	4	MEF	Extremadura	I	6,40	99	42	2513	14,20	11,50	11,40
EI15	4	MEF	Extremadura	I	6,20	98	42	2508	15,10	12,40	13,40
EI16	4	MEF	Extremadura	I	6,00	98	43	2519	13,50	10,80	10,60
EI17	4	MEF	Extremadura	I	6,20	98	43	2519	13,80	11,10	11,30
EI18	4	MEF	Extremadura	I	6,60	97	41	2500	16,60	13,90	12,50
EI19	4	MEF	Extremadura	I	6,10	98	41	2515	13,20	10,50	11,70
EI20	4	R	Extremadura	I	6,30	98	39	2516	15,60	12,90	11,80
EI21	4	MEF	Extremadura	I	5,40	99	40	2510	13,30	10,60	11,30
EI22	4	MEF	Extremadura	I	6,60	98	40	2515	15,70	13,00	13,50
EI23	4	MEF	Extremadura	I	6,60	98	41	2517	13,70	11,00	11,50
EI24	4	R	Extremadura	I	6,20	99	40	2517	13,50	10,80	11,60
EI25	4	MEF	Extremadura	I	6,10	99	42	2526	13,70	11,00	11,00
EI26	4	MEF	Extremadura	I	6,20	98	41	2500	14,00	11,30	10,80
EI27	4	MEF	Extremadura	I	5,10	100	40	2515	12,60	9,90	10,50
EI28	4	MEF	Extremadura	I	6,50	99	40	2520	14,30	11,60	12,10
EI29	4	MEF	Extremadura	I	6,10	99	38	2513	14,40	11,70	13,20
EI30	4	MEF	Extremadura	I	6,60	99	42	2503	14,60	11,90	12,70
EI31	4	MEF	Extremadura	I	5,30	98	38	2528	13,30	10,60	10,90
EI32	4	MEF	Extremadura	I	6,30	98	43	2546	14,50	11,80	11,70
EI33	4	MEF	Extremadura	I	5,60	99	43	2512	14,10	11,40	12,00
EI34	4	MEF	Extremadura	I	6,00	96	41	2514	12,80	10,10	11,30
EI35	4	MEF	Extremadura	I	4,80	98	38	2518	14,90	12,20	12,70
EI36	4	MEF	Extremadura	I	6,30	98	41	2520	15,00	12,30	11,40
EI37	4	MEF	Extremadura	I	6,10	99	40	2530	15,40	12,70	12,30
EI38	4	MEF	Extremadura	I	6,40	99	40	2500	15,20	12,50	12,00

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
EI39	4	MEF	Extremadura	I	7,00	98	44	2526	13,20	10,50	11,70
EI40	4	MEF	Extremadura	I	5,70	98	40	2503	14,00	11,30	10,70
EI41	4	MEF	Extremadura	I	5,40	96	40	2510	14,20	11,50	11,40
EI42	4	MEF	Extremadura	I	6,00	99	42	2513	13,60	10,90	11,00
EI43	4	MEF	Extremadura	I	6,30	98	40	2497	17,00	14,30	12,60
EI44	4	MEF	Extremadura	I	6,60	98	40	2520	14,10	11,40	12,70
EI45	4	R	Extremadura	I	7,10	100	40	2508	13,60	10,90	12,00
EII02	5	R	Extremadura	II	13,10	146	40	3521	17,20	14,50	11,10
EII03	5	MEF	Extremadura	II	13,60	146	42	3532	16,60	13,90	12,50
EII04	5	R	Extremadura	II	12,70	147	39	3525	12,70	10,00	12,10
EII05	5	MEF	Extremadura	II	12,80	146	43	3518	17,70	15,00	12,10
EII06	5	MEF	Extremadura	II	12,50	146	42	3531	17,50	14,80	11,30
EII07	5	MEF	Extremadura	II	11,20	146	41	3520	16,30	13,60	11,10
EII08	5	MEF	Extremadura	II	12,90	146	42	3519	19,10	16,40	12,00
EII09	5	MEF	Extremadura	II	13,00	148	41	3513	17,80	15,10	11,90
EII10	5	MEF	Extremadura	II	12,40	147	39	3509	16,90	14,20	11,30
EII11	5	MEF	Extremadura	II	13,20	146	42	3525	19,10	16,40	13,00
EII12	5	MEF	Extremadura	II	12,80	146	44	3505	19,80	17,10	12,50
EII13	5	MEF	Extremadura	II	11,50	146	40	3520	18,00	15,30	11,40
EII14	5	MEF	Extremadura	II	12,20	148	41	3524	17,90	15,20	12,00
EII15	5	MEF	Extremadura	II	13,00	147	43	3508	17,50	14,80	11,20
EII16	5	MEF	Extremadura	II	12,80	146	40	3500	17,50	14,80	12,00
EII17	5	R	Extremadura	II	12,90	146	39	3508	18,20	15,50	12,30
EII18	5	MEF	Extremadura	II	11,50	146	39	3509	19,30	16,60	12,50
EII19	5	MEF	Extremadura	II	11,70	146	38	3497	17,40	14,70	11,10
EII20	5	R	Extremadura	II	11,00	148	39	3545	17,70	15,00	12,90
EII21	5	MEF	Extremadura	II	13,10	148	41	3527	18,40	15,70	13,80
EII22	5	MEF	Extremadura	II	11,60	147	40	3525	14,60	11,90	11,40
EII23	5	MEF	Extremadura	II	13,20	147	40	3515	15,90	13,20	13,50
EII24	5	MEF	Extremadura	II	12,90	146	40	3522	15,00	12,30	12,50
EII25	5	MEF	Extremadura	II	12,00	147	40	3496	13,50	10,80	11,50
EII26	5	R	Extremadura	II	12,40	147	42	3533	14,20	11,50	11,30
EII27	5	MEF	Extremadura	II	11,40	146	40	3510	12,10	9,40	12,10
EII28	5	R	Extremadura	II	12,60	147	41	3517	14,30	11,60	13,30
EII29	5	MEF	Extremadura	II	12,30	147	41	3539	17,40	14,70	14,20
EII30	5	MEF	Extremadura	II	11,50	146	42	3543	12,80	10,10	11,40
EII31	5	MEF	Extremadura	II	11,70	147	40	3535	13,70	11,00	12,40
EII32	5	MEF	Extremadura	II	12,30	146	42	3550	14,10	11,40	11,70
EII33	5	MEF	Extremadura	II	13,10	147	41	3516	16,10	13,40	13,60
EII34	5	MEF	Extremadura	II	12,40	146	39	3498	13,80	11,10	11,90
EII35	5	R	Extremadura	II	11,80	147	42	3520	13,70	11,00	11,40
EII36	5	MEF	Extremadura	II	12,80	146	41	3533	15,40	12,70	12,10
EII37	5	MEF	Extremadura	II	12,10	146	41	3516	13,90	11,20	11,50
EII38	5	MEF	Extremadura	II	12,80	147	42	3509	13,90	11,20	11,40
EII39	5	MEF	Extremadura	II	12,60	147	41	3528	15,20	12,50	12,40
EII40	5	MEF	Extremadura	II	13,30	148	42	3499	15,80	13,10	13,30
EII41	5	MEF	Extremadura	II	11,40	147	41	3504	14,10	11,40	11,90
EII42	5	R	Extremadura	II	13,10	147	42	3542	15,70	13,00	13,20
EII43	5	MEF	Extremadura	II	11,40	146	42	3539	16,80	14,10	12,20
EII44	5	MEF	Extremadura	II	13,70	147	42	3499	14,30	11,60	12,70
EII45	5	MEF	Extremadura	II	13,40	147	41	3524	18,80	16,10	13,70
EII46	5	MEF	Extremadura	II	12,10	147	42	3525	19,30	16,60	13,00
EII47	5	MEF	Extremadura	II	13,50	146	41	3522	19,10	16,40	13,00
EII48	5	R	Extremadura	II	12,70	147	41	3500	18,00	15,30	12,60
EII49	5	MEF	Extremadura	II	12,60	146	40	3499	17,90	15,20	13,20
EII50	5	MEF	Extremadura	II	13,40	149	42	3501	17,90	15,20	11,80
LI01	6	MEF	C. y León	I	5,90	97	40	2495	15,90	13,20	13,53
LI02	6	MEF	C. y León	I	5,80	99	39	2492	18,30	15,60	15,83
LI03	6	MEF	C. y León	I	6,20	98	39	2490	16,40	13,70	14,23

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
LI04	6	MEF	C. y León	I	6,50	100	39	2500	14,70	12,00	13,81
LI05	6	MEF	C. y León	I	6,10	99	39	2491	16,70	14,00	14,27
LI06	6	R	C. y León	I	6,10	99	40	2496	18,80	16,10	14,17
LI07	6	MEF	C. y León	I	5,90	98	39	2496	15,80	13,10	13,70
LI08	6	MEF	C. y León	I	6,80	98	39	2498	19,30	16,60	15,78
LI09	6	MEF	C. y León	I	5,53	97	39	2500	15,00	12,30	12,30
LI10	6	R	C. y León	I	6,40	98	38	2498	19,40	16,70	15,98
LI11	6	MEF	C. y León	I	6,00	100	40	2494	15,60	12,90	13,09
LI12	6	MEF	C. y León	I	6,80	99	39	2492	18,60	15,90	15,14
LI13	6	MEF	C. y León	I	6,20	99	39	2497	17,10	14,40	14,34
LI14	6	MEF	C. y León	I	5,62	97	39	2500	14,70	12,00	12,00
LI15	6	MEF	C. y León	I	6,00	100	40	2492	14,00	11,30	13,29
LI16	6	MEF	C. y León	I	5,71	98	39	2500	14,90	12,20	12,20
LI17	6	MEF	C. y León	I	5,90	100	40	2492	14,50	11,80	13,77
LI18	6	MEF	C. y León	I	5,60	98	39	2497	16,20	13,50	13,28
LI19	6	R	C. y León	I	6,00	98	39	2498	19,90	17,20	14,05
LI20	6	R	C. y León	I	6,90	99	39	2496	17,90	15,20	14,78
LI21	6	MEF	C. y León	I	6,40	100	40	2500	14,90	12,20	13,90
LI22	6	MEF	C. y León	I	5,80	100	40	2492	15,10	12,40	13,57
LI23	6	MEF	C. y León	I	6,80	98	48	2492	18,80	16,10	14,58
LI24	6	MEF	C. y León	I	5,79	97	39	2500	15,70	13,00	13,00
LI25	6	MEF	C. y León	I	5,50	100	40	2500	14,80	12,10	13,34
LI26	6	MEF	C. y León	I	6,00	99	39	2497	18,40	15,70	14,25
LI27	6	MEF	C. y León	I	5,08	97	40	2500	15,10	12,40	12,40
LI28	6	MEF	C. y León	I	6,30	98	40	2495	18,30	15,60	14,79
LI29	6	MEF	C. y León	I	6,00	100	39	2497	18,70	16,00	16,70
LI30	6	R	C. y León	I	6,90	98	40	2497	18,00	15,30	14,32
LI31	6	MEF	C. y León	I	5,90	98	38	2498	18,00	15,30	14,06
LI32	6	R	C. y León	I	6,10	100	40	2493	16,40	13,70	14,11
LI33	6	R	C. y León	I	6,10	100	40	2500	15,80	13,10	13,70
LI34	6	MEF	C. y León	I	6,40	99	38	2493	18,90	16,20	15,26
LI35	6	R	C. y León	I	6,10	98	39	2496	19,70	17,00	17,22
LI37	6	MEF	C. y León	I	6,40	99	39	2491	17,30	14,60	13,77
LI38	6	R	C. y León	I	5,80	98	39	2497	19,60	16,90	14,44
LI39	6	MEF	C. y León	I	6,30	99	38	2490	17,00	14,30	14,77
LI40	6	MEF	C. y León	I	5,45	97	39	2500	14,50	11,80	11,80
LI41	6	MEF	C. y León	I	6,60	97	39	2500	16,00	13,30	13,30
LI42	6	MEF	C. y León	I	6,49	97	39	2500	15,80	13,10	13,10
LI43	6	MEF	C. y León	I	5,75	97	39	2500	14,80	12,10	12,10
LI44	6	MEF	C. y León	I	5,94	97	39	2500	13,70	11,00	11,00
LI45	6	MEF	C. y León	I	6,60	97	39	2500	14,40	11,70	11,70
LI46	6	MEF	C. y León	I	6,36	98	39	2500	15,40	12,70	12,70
LI47	6	MEF	C. y León	I	5,63	98	39	2500	14,90	12,20	12,20
LI48	6	MEF	C. y León	I	5,20	97	39	2500	15,20	12,50	12,50
LI49	6	MEF	C. y León	I	5,32	98	39	2500	14,70	12,00	12,00
LI50	6	MEF	C. y León	I	6,24	98	39	2500	15,00	12,30	12,30
CI02	7	MEF	Cataluña	I	5,60	101	40	2500	11,10	8,40	11,90
CI03	7	MEF	Cataluña	I	5,30	101	40	2502	10,60	7,90	10,60
CI04	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	40	2500	11,50	8,80	10,80
CI05	7	R	Cataluña	I	5,80	101	40	2500	11,00	8,30	11,30
CI06	7	R	Cataluña	I	5,50	100	40	2502	11,60	8,90	11,80
CI07	7	MEF	Cataluña	I	5,60	100	40	2500	11,60	8,90	11,10
CI08	7	MEF	Cataluña	I	5,50	101	40	2500	11,30	8,60	10,80
CI09	7	MEF	Cataluña	I	5,50	101	41	2500	11,60	8,90	11,30
CI10	7	R	Cataluña	I	6,20	101	40	2500	11,60	8,90	11,50
CI11	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	40	2498	11,50	8,80	11,20
CI12	7	MEF	Cataluña	I	5,80	100	40	2498	11,90	9,20	11,10
CI13	7	MEF	Cataluña	I	5,50	101	41	2500	11,00	8,30	11,20
CI14	7	MEF	Cataluña	I	5,90	101	41	2500	11,10	8,40	11,10

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
CI15	7	MEF	Cataluña	I	6,30	100	40	2500	11,80	9,10	10,80
CI16	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	40	2500	10,90	8,20	10,90
CI17	7	MEF	Cataluña	I	5,30	101	41	2500	11,00	8,30	11,10
CI18	7	MEF	Cataluña	I	6,10	100	40	2500	11,40	8,70	11,00
CI19	7	MEF	Cataluña	I	5,60	101	40	2500	11,40	8,70	11,00
CI20	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	40	2500	11,30	8,60	11,20
CI21	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	41	2500	11,80	9,10	11,80
CI22	7	MEF	Cataluña	I	6,30	101	41	2500	11,80	9,10	12,20
CI23	7	MEF	Cataluña	I	5,60	101	40	2500	11,60	8,90	11,40
CI24	7	MEF	Cataluña	I	5,30	100	40	2500	11,10	8,40	10,80
CI25	7	MEF	Cataluña	I	5,70	101	41	2500	11,10	8,40	11,60
CI26	7	R	Cataluña	I	5,80	100	40	2500	11,50	8,80	11,20
CI27	7	MEF	Cataluña	I	5,70	101	40	2500	10,80	8,10	11,50
CI28	7	MEF	Cataluña	I	5,60	100	40	2500	11,90	9,20	11,20
CI29	7	R	Cataluña	I	5,40	101	40	2500	11,00	8,30	10,50
CI30	7	MEF	Cataluña	I	5,70	101	40	2500	12,20	9,50	11,10
CI31	7	MEF	Cataluña	I	5,60	100	41	2500	11,90	9,20	10,90
CI32	7	MEF	Cataluña	I	5,40	100	38	2488	11,30	8,60	11,10
CI33	7	MEF	Cataluña	I	5,90	101	41	2498	11,50	8,80	11,00
CI34	7	MEF	Cataluña	I	6,10	101	41	2536	11,20	8,50	11,30
CI35	7	MEF	Cataluña	I	5,30	101	41	2500	11,20	8,50	11,20
CI36	7	MEF	Cataluña	I	5,20	101	40	2497	11,30	8,60	10,90
CI37	7	MEF	Cataluña	I	5,30	101	40	2500	11,50	8,80	11,00
CI38	7	R	Cataluña	I	5,80	100	40	2545	11,20	8,50	11,00
CI39	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	41	2503	11,60	8,90	12,30
CI40	7	MEF	Cataluña	I	5,90	101	41	2497	11,30	8,60	11,30
CI41	7	MEF	Cataluña	I	6,00	101	41	2500	11,80	9,10	11,60
CI42	7	MEF	Cataluña	I	6,20	101	41	2500	11,60	8,90	11,30
CI43	7	R	Cataluña	I	5,40	100	40	2500	10,90	8,20	10,90
CI44	7	MEF	Cataluña	I	5,40	100	40	2500	11,00	8,30	11,20
CI45	7	MEF	Cataluña	I	5,70	101	40	2500	12,20	9,50	11,60
CI46	7	MEF	Cataluña	I	6,10	100	40	2495	11,50	8,80	11,50
CI47	7	R	Cataluña	I	6,00	101	40	2500	12,20	9,50	11,30
CI48	7	R	Cataluña	I	5,60	100	40	2496	10,90	8,20	10,70
CI49	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	41	2500	12,00	9,30	10,90
CI50	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	40	2500	11,90	9,20	11,30
CI51	7	MEF	Cataluña	I	5,80	101	41	2500	11,90	9,20	12,10
CI52	7	MEF	Cataluña	I	5,80	100	41	2500	11,30	8,60	12,40
CI53	7	MEF	Cataluña	I	5,50	101	41	2500	11,40	8,70	11,20
CI54	7	MEF	Cataluña	I	6,20	101	41	2500	11,60	8,90	11,80
CI55	7	MEF	Cataluña	I	5,60	99	40	2497	10,70	8,00	11,30
CI56	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	41	2500	11,30	8,60	11,20
CI57	7	R	Cataluña	I	6,00	100	41	2500	12,10	9,40	11,30
CI58	7	MEF	Cataluña	I	5,80	100	40	2500	11,30	8,60	11,10
CI59	7	MEF	Cataluña	I	5,90	100	40	2493	11,10	8,40	10,30
CI60	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	40	2497	11,40	8,70	11,10
CI61	7	MEF	Cataluña	I	5,30	100	40	2500	11,20	8,50	11,20
CI62	7	R	Cataluña	I	5,80	100	40	2542	12,10	9,40	11,50
CI63	7	MEF	Cataluña	I	5,70	100	39	2500	11,50	8,80	11,60
CI64	7	MEF	Cataluña	I	5,30	99	39	2502	11,00	8,30	11,20
CII01	8	MEF	Cataluña	II	12,20	149	40	3500	11,40	8,70	11,60
CII02	8	MEF	Cataluña	II	12,40	150	40	3530	11,30	8,60	11,20
CII03	8	MEF	Cataluña	II	12,80	150	40	3523	12,50	9,80	12,00
CII04	8	MEF	Cataluña	II	11,30	150	40	3532	11,20	8,50	10,80
CII06	8	MEF	Cataluña	II	10,80	150	41	3500	11,50	8,80	12,00
CII07	8	MEF	Cataluña	II	13,00	150	41	3562	12,00	9,30	11,60
CII08	8	MEF	Cataluña	II	12,90	149	40	3495	12,50	9,80	12,70
CII09	8	MEF	Cataluña	II	11,40	150	40	3540	11,80	9,10	11,90
CII10	8	MEF	Cataluña	II	12,50	149	40	3510	11,60	8,90	10,80

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
CII11	8	MEF	Cataluña	II	11,80	149	41	3538	11,50	8,80	11,50
CII12	8	MEF	Cataluña	II	13,70	150	40	3511	12,30	9,60	11,90
CII13	8	MEF	Cataluña	II	12,70	150	40	3500	11,70	9,00	11,10
CII14	8	MEF	Cataluña	II	11,50	149	40	3500	10,70	8,00	10,50
CII15	8	MEF	Cataluña	II	12,20	149	40	3530	12,40	9,70	11,80
CII16	8	MEF	Cataluña	II	11,30	150	40	3520	11,90	9,20	12,00
CII17	8	R	Cataluña	II	12,60	150	40	3500	12,40	9,70	11,60
CII18	8	MEF	Cataluña	II	13,10	150	40	3502	11,90	9,20	11,80
CII19	8	MEF	Cataluña	II	11,90	150	40	3500	11,80	9,10	12,10
CII20	8	R	Cataluña	II	13,00	150	40	3500	12,40	9,70	11,50
CII21	8	MEF	Cataluña	II	11,70	150	40	3531	12,20	9,50	12,00
CII23	8	MEF	Cataluña	II	11,40	150	40	3528	12,20	9,50	11,60
CII24	8	R	Cataluña	II	12,60	150	40	3544	12,00	9,30	11,70
CII25	8	MEF	Cataluña	II	11,40	150	40	3530	12,30	9,60	11,70
CII26	8	MEF	Cataluña	II	12,30	150	40	3507	11,80	9,10	10,80
CII27	8	MEF	Cataluña	II	11,30	150	40	3495	12,50	9,80	11,10
CII28	8	MEF	Cataluña	II	12,80	150	41	3498	12,10	9,40	12,00
CII29	8	MEF	Cataluña	II	12,80	150	40	3500	11,60	8,90	11,60
CII30	8	MEF	Cataluña	II	11,00	150	40	3520	11,70	9,00	11,90
CII31	8	MEF	Cataluña	II	12,60	150	40	3500	12,60	9,90	11,90
CII32	8	MEF	Cataluña	II	11,20	150	40	3524	11,50	8,80	10,60
CII33	8	R	Cataluña	II	11,20	150	40	3498	13,30	10,60	11,70
CII34	8	MEF	Cataluña	II	11,40	150	40	3500	11,70	9,00	11,00
CII35	8	MEF	Cataluña	II	11,60	150	41	3500	12,10	9,40	12,10
CII36	8	MEF	Cataluña	II	12,90	150	40	3520	12,20	9,50	11,50
CII37	8	MEF	Cataluña	II	12,00	149	40	3500	12,00	9,30	12,10
CII38	8	R	Cataluña	II	12,00	149	40	3500	11,60	8,90	11,60
CII39	8	MEF	Cataluña	II	12,80	150	40	3497	11,80	9,10	12,00
CII40	8	MEF	Cataluña	II	11,60	150	40	3500	12,00	9,30	11,70
CII41	8	MEF	Cataluña	II	11,60	149	40	3500	12,10	9,40	11,20
CII42	8	MEF	Cataluña	II	12,50	149	40	3524	12,30	9,60	11,50
CII43	8	MEF	Cataluña	II	12,60	150	40	3500	11,20	8,50	11,40
CII44	8	MEF	Cataluña	II	12,30	150	40	3509	11,60	8,90	11,10
CII46	8	MEF	Cataluña	II	12,20	150	40	3533	12,40	9,70	11,50
CII47	8	MEF	Cataluña	II	11,50	150	40	3498	11,40	8,70	11,70
CII48	8	MEF	Cataluña	II	13,30	149	41	3500	12,40	9,70	12,00
CII49	8	MEF	Cataluña	II	12,70	150	41	3500	12,30	9,60	11,40
CII50	8	MEF	Cataluña	II	11,90	150	40	3522	12,20	9,50	11,70
CII51	8	R	Cataluña	II	12,60	149	40	3510	11,80	9,10	11,60
CII52	8	MEF	Cataluña	II	12,40	150	40	3500	11,90	9,20	11,90
CII53	8	MEF	Cataluña	II	12,50	149	40	3510	12,60	9,90	12,10
CII54	8	MEF	Cataluña	II	11,30	150	40	3500	11,70	9,00	10,90
CII55	8	R	Cataluña	II	12,40	150	41	3532	12,00	9,30	11,70
CII56	8	MEF	Cataluña	II	13,00	150	40	3545	12,60	9,90	11,90
CII57	8	MEF	Cataluña	II	13,10	149	40	3514	13,20	10,50	11,60
CII58	8	MEF	Cataluña	II	11,30	150	40	3544	11,80	9,10	11,70
CII59	8	MEF	Cataluña	II	12,70	149	40	3493	12,00	9,30	11,80
CII60	8	MEF	Cataluña	II	12,40	150	40	3530	12,30	9,60	11,00
CII61	8	MEF	Cataluña	II	11,80	150	40	3540	12,20	9,50	12,30
CII62	8	MEF	Cataluña	II	12,90	150	40	3505	12,00	9,30	11,60
CII63	8	MEF	Cataluña	II	11,60	149	40	3500	11,80	9,10	11,80
CII64	8	MEF	Cataluña	II	11,10	150	40	3488	11,30	8,60	11,30
CIII01	9	MEF	Cataluña	III	21,10	150	70	3501	15,70	13,00	14,00
CIII02	9	MEF	Cataluña	III	23,70	149	71	3500	16,20	13,50	15,70
CIII03	9	MEF	Cataluña	III	20,40	149	71	3497	15,00	12,30	11,20
CIII04	9	MEF	Cataluña	III	21,00	149	70	3500	16,20	13,50	13,10
CIII05	9	MEF	Cataluña	III	22,40	150	71	3505	14,60	11,90	13,30
CIII06	9	MEF	Cataluña	III	22,60	150	71	3500	16,00	13,30	13,40
CIII07	9	R	Cataluña	III	20,20	148	71	3530	13,80	11,10	12,60

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
CIII08	9	MEF	Cataluña	III	21,20	149	70	3520	17,60	14,90	14,30
CIII09	9	MEF	Cataluña	III	21,60	149	71	3509	12,90	10,20	12,40
CIII10	9	MEF	Cataluña	III	21,10	150	71	3500	14,20	11,50	13,70
CIII11	9	MEF	Cataluña	III	21,40	150	70	3500	15,80	13,10	13,70
CIII12	9	MEF	Cataluña	III	22,00	151	70	3497	16,50	13,80	16,40
CIII13	9	MEF	Cataluña	III	21,20	149	71	3495	15,10	12,40	12,90
CIII14	9	MEF	Cataluña	III	23,10	149	70	3498	15,30	12,60	13,60
CIII15	9	MEF	Cataluña	III	21,20	150	70	3500	15,00	12,30	12,30
CIII16	9	MEF	Cataluña	III	20,60	150	71	3498	14,90	12,20	13,00
CIII17	9	MEF	Cataluña	III	18,80	150	70	3497	14,40	11,70	12,50
CIII18	9	MEF	Cataluña	III	18,80	150	71	3500	14,40	11,70	12,90
CIII19	9	R	Cataluña	III	20,50	150	71	3500	15,60	12,90	14,90
CIII20	9	MEF	Cataluña	III	21,40	150	70	3503	16,50	13,80	15,40
CIII21	9	MEF	Cataluña	III	21,90	149	71	3500	17,10	14,40	13,60
CIII22	9	MEF	Cataluña	III	20,80	149	71	3496	13,80	11,10	12,10
CIII23	9	MEF	Cataluña	III	21,00	151	70	3500	14,10	11,40	12,40
CIII24	9	R	Cataluña	III	21,40	149	70	3498	14,30	11,60	13,10
CIII25	9	MEF	Cataluña	III	22,10	149	71	3502	14,30	11,60	12,40
CIII26	9	R	Cataluña	III	20,90	149	71	3500	13,20	10,50	12,10
CIII27	9	MEF	Cataluña	III	21,30	150	70	3471	13,60	10,90	12,10
CIII28	9	MEF	Cataluña	III	21,30	149	71	3500	15,10	12,40	13,10
CIII29	9	MEF	Cataluña	III	21,60	149	71	3528	13,70	11,00	13,30
CIII30	9	MEF	Cataluña	III	20,90	150	71	3514	13,90	11,20	12,60
CIII31	9	MEF	Cataluña	III	23,90	149	71	3508	16,20	13,50	14,60
CIII32	9	MEF	Cataluña	III	22,10	150	73	3513	12,90	10,20	12,80
CIII33	9	MEF	Cataluña	III	21,30	151	71	3505	13,50	10,80	13,40
CIII34	9	MEF	Cataluña	III	24,40	150	70	3535	14,60	11,90	13,80
CIII35	9	MEF	Cataluña	III	22,20	150	70	3534	13,00	10,30	12,40
CIII36	9	MEF	Cataluña	III	21,50	149	69	3533	14,20	11,50	12,20
CIII37	9	MEF	Cataluña	III	21,60	150	71	3496	15,80	13,10	14,90
CIII38	9	MEF	Cataluña	III	18,80	150	71	3547	14,10	11,40	12,50
CIII39	9	MEF	Cataluña	III	19,80	149	71	3531	15,00	12,30	14,80
CIII40	9	MEF	Cataluña	III	19,90	150	70	3500	12,30	9,60	12,70
CIII41	9	MEF	Cataluña	III	22,30	149	70	3497	14,80	12,10	16,70
CIII42	9	MEF	Cataluña	III	20,50	149	70	3500	13,30	10,60	13,10
CIII43	9	MEF	Cataluña	III	22,50	151	70	3495	15,20	12,50	16,40
CIII44	9	MEF	Cataluña	III	22,10	150	71	3502	13,00	10,30	14,80
CIII45	9	MEF	Cataluña	III	21,90	149	71	3504	18,40	15,70	17,40
CIII46	9	MEF	Cataluña	III	20,10	151	70	3506	14,50	11,80	14,40
CIII47	9	MEF	Cataluña	III	20,10	150	70	3503	13,30	10,60	12,60
CIII48	9	MEF	Cataluña	III	24,40	151	70	3507	15,70	13,00	20,40
CIII49	9	MEF	Cataluña	III	20,80	150	70	3500	17,60	14,90	17,50
CIII50	9	MEF	Cataluña	III	19,90	150	70	3506	13,00	10,30	12,70
CIII51	9	MEF	Cataluña	III	22,20	151	70	3504	15,40	12,70	17,10
CIII52	9	MEF	Cataluña	III	19,60	150	70	3499	11,60	8,90	11,80
CIII53	9	MEF	Cataluña	III	20,90	149	69	3497	13,20	10,50	15,10
CIII54	9	R	Cataluña	III	20,90	151	70	3500	12,60	9,90	17,30
CIII55	9	MEF	Cataluña	III	21,30	150	70	3508	14,10	11,40	16,80
CIII56	9	MEF	Cataluña	III	20,30	149	71	3500	14,00	11,30	14,50
CIII57	9	MEF	Cataluña	III	22,10	150	71	3499	13,80	11,10	12,40
CIII58	9	MEF	Cataluña	III	23,40	150	70	3500	13,90	11,20	13,90
CIII59	9	MEF	Cataluña	III	20,60	149	70	3500	15,70	13,00	16,60
CIII60	9	MEF	Cataluña	III	20,80	150	71	3503	15,20	12,50	16,70
CIII61	9	R	Cataluña	III	21,80	149	71	3500	12,50	9,80	12,70
CIII62	9	MEF	Cataluña	III	20,00	149	71	3500	11,90	9,20	11,40
CIII63	9	MEF	Cataluña	III	20,80	149	71	3500	14,10	11,40	12,10
CIII64	9	R	Cataluña	III	21,30	149	71	3500	13,20	10,50	14,10
GI01	10	R	Galicia	I	6,40	100	40	2550	17,30	14,60	14,50
GI02	10	MEF	Galicia	I	5,90	99	38	2625	21,90	19,20	21,90

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
GI03	10	MEF	Galicia	I	6,00	100	40	2570	16,40	13,70	14,20
GI04	10	MEF	Galicia	I	5,40	100	40	2546	17,50	14,80	14,50
GI05	10	MEF	Galicia	I	5,70	100	40	2510	19,80	17,10	14,00
GI06	10	MEF	Galicia	I	5,60	100	40	2594	20,00	17,30	14,50
GI07	10	MEF	Galicia	I	5,90	100	40	2570	19,60	16,90	15,70
GI08	10	MEF	Galicia	I	5,60	100	40	2610	16,60	13,90	13,90
GI09	10	MEF	Galicia	I	5,90	100	40	2590	18,00	15,30	14,30
GI10	10	MEF	Galicia	I	5,80	100	40	2570	16,50	13,80	14,70
GI11	10	MEF	Galicia	I	5,70	99	39	2625	25,90	23,20	25,90
GI12	10	MEF	Galicia	I	5,30	100	40	2580	20,00	17,30	13,60
GI13	10	MEF	Galicia	I	5,24	99	39	2507	21,30	18,60	21,30
GI14	10	MEF	Galicia	I	6,20	100	40	2560	16,80	14,10	14,20
GI15	10	MEF	Galicia	I	5,60	100	40	2476	15,70	13,00	14,40
GI16	10	MEF	Galicia	I	6,85	99	37	2695	21,30	18,60	21,30
GI17	10	R	Galicia	I	5,60	99	40	2500	16,40	13,70	14,70
GI18	10	MEF	Galicia	I	6,42	100	38	2622	30,00	27,30	30,00
GI19	10	MEF	Galicia	I	4,80	100	40	2500	15,80	13,10	13,80
GI20	10	MEF	Galicia	I	4,90	100	40	2500	17,30	14,60	15,30
GI21	10	MEF	Galicia	I	6,10	99	40	2500	16,60	13,90	15,40
GI22	10	MEF	Galicia	I	6,04	98	38	2644	29,10	26,40	29,10
GI23	10	MEF	Galicia	I	7,29	99	38	2650	30,00	27,30	30,00
GI24	10	MEF	Galicia	I	5,90	100	40	2500	16,20	13,50	15,00
GI25	10	MEF	Galicia	I	5,50	100	40	2499	17,50	14,80	15,00
GI26	10	MEF	Galicia	I	5,60	100	40	2501	15,70	13,00	14,10
GI27	10	MEF	Galicia	I	5,40	100	40	2500	17,60	14,90	14,40
GI28	10	MEF	Galicia	I	4,20	99	40	2500	18,70	16,00	15,40
GI29	10	R	Galicia	I	6,00	100	40	2503	17,80	15,10	16,10
GI30	10	MEF	Galicia	I	6,10	99	40	2502	16,50	13,80	15,60
GI31	10	R	Galicia	I	5,80	99	40	2498	20,30	17,60	16,10
GI32	10	R	Galicia	I	6,97	100	40	2636	30,00	27,30	30,00
GI33	10	R	Galicia	I	6,00	100	40	2502	18,90	16,20	16,50
GI34	10	MEF	Galicia	I	5,68	100	40	2636	24,30	21,60	24,30
GI35	10	MEF	Galicia	I	5,90	99	40	2500	16,90	14,20	14,80
GI36	10	R	Galicia	I	7,20	100	40	2500	17,80	15,10	17,40
GI37	10	MEF	Galicia	I	5,80	100	40	2500	16,70	14,00	15,70
GI38	10	MEF	Galicia	I	6,10	100	40	2490	17,60	14,90	15,90
GI39	10	R	Galicia	I	6,00	100	40	2502	15,80	13,10	14,40
GI40	10	MEF	Galicia	I	7,00	99	40	2500	16,50	13,80	16,20
GI41	10	MEF	Galicia	I	6,42	99	38	2616	20,00	17,30	20,00
GI42	10	MEF	Galicia	I	5,40	99	40	2500	16,80	14,10	14,50
GI43	10	MEF	Galicia	I	6,20	99	40	2500	16,30	13,60	16,50
GI44	10	MEF	Galicia	I	6,20	99	40	2498	16,50	13,80	15,50
GI45	10	R	Galicia	I	5,50	100	39	2501	17,00	14,30	15,10
GI47	10	MEF	Galicia	I	6,40	100	40	2500	18,20	15,50	14,90
GI48	10	MEF	Galicia	I	5,90	100	40	2500	19,40	16,70	15,40
GI49	10	MEF	Galicia	I	6,10	100	40	2500	18,30	15,60	15,60
GI50	10	MEF	Galicia	I	6,40	99	40	2500	16,50	13,80	15,90
GII01	11	MEF	Galicia	II	13,10	149	40	3500	17,70	15,00	16,50
GII02	11	MEF	Galicia	II	12,40	149	40	3500	19,50	16,80	15,80
GII03	11	MEF	Galicia	II	11,00	149	40	3500	15,00	12,30	14,50
GII04	11	MEF	Galicia	II	12,20	149	40	3500	15,40	12,70	14,80
GII05	11	MEF	Galicia	II	12,10	149	40	3500	16,70	14,00	17,60
GII06	11	MEF	Galicia	II	11,00	150	40	3500	19,00	16,30	15,30
GII07	11	R	Galicia	II	13,20	149	40	3500	18,30	15,60	16,50
GII08	11	MEF	Galicia	II	11,80	148	40	3500	17,90	15,20	14,90
GII09	11	R	Galicia	II	13,90	148	40	3500	17,80	15,10	17,70
GII10	11	R	Galicia	II	11,10	149	40	3500	16,50	13,80	15,60
GII11	11	MEF	Galicia	II	12,60	149	40	3495	18,10	15,40	16,40
GII12	11	MEF	Galicia	II	11,50	148	40	3500	17,60	14,90	15,00

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
GII13	11	MEF	Galicia	II	13,30	149	40	3498	18,00	15,30	17,10
GII14	11	MEF	Galicia	II	13,32	148	39	3494	50,09	47,39	30,00
GII15	11	R	Galicia	II	11,90	149	40	3500	17,40	14,70	14,80
GII16	11	MEF	Galicia	II	11,90	149	40	3500	18,60	15,90	17,60
GII17	11	R	Galicia	II	11,60	149	40	3500	18,00	15,30	17,30
GII18	11	R	Galicia	II	12,50	149	40	3500	17,30	14,60	16,20
GII19	11	MEF	Galicia	II	12,00	149	40	3500	18,60	15,90	17,50
GII20	11	MEF	Galicia	II	11,50	149	40	3500	17,50	14,80	16,00
GII21	11	R	Galicia	II	12,60	150	40	3500	16,60	13,90	15,30
GII22	11	MEF	Galicia	II	11,70	149	40	3500	16,50	13,80	16,00
GII23	11	MEF	Galicia	II	11,90	148	40	3500	18,60	15,90	16,20
GII24	11	MEF	Galicia	II	11,30	149	40	3500	18,50	15,80	15,30
GII25	11	MEF	Galicia	II	12,70	149	40	3500	17,20	14,50	16,10
GII26	11	R	Galicia	II	13,80	149	40	3465	18,10	15,40	17,00
GII27	11	MEF	Galicia	II	13,00	148	40	3500	19,80	17,10	18,20
GII28	11	R	Galicia	II	12,60	149	40	3500	16,60	13,90	16,30
GII29	11	MEF	Galicia	II	11,70	149	40	3500	17,30	14,60	16,50
GII30	11	MEF	Galicia	II	12,50	149	40	3500	18,10	15,40	15,20
GII31	11	R	Galicia	II	12,70	149	40	3500	17,20	14,50	15,80
GII32	11	MEF	Galicia	II	11,70	149	40	3500	16,90	14,20	15,30
GII33	11	MEF	Galicia	II	13,20	149	40	3496	19,90	17,20	18,10
GII34	11	MEF	Galicia	II	13,20	149	40	3500	19,00	16,30	16,40
GII35	11	MEF	Galicia	II	11,30	150	40	3500	18,80	16,10	18,20
GII36	11	R	Galicia	II	12,90	149	40	3500	17,80	15,10	16,70
GII37	11	MEF	Galicia	II	15,67	149	39	3910	38,79	36,09	38,79
GII38	11	MEF	Galicia	II	12,10	149	40	3500	17,30	14,60	16,90
GII39	11	MEF	Galicia	II	14,20	149	40	3500	18,60	15,90	18,00
GII40	11	R	Galicia	II	11,80	149	40	3500	17,30	14,60	16,70
GII41	11	R	Galicia	II	12,80	149	40	3505	17,50	14,80	16,70
GII42	11	MEF	Galicia	II	12,50	149	40	3474	16,50	13,80	15,90
GII43	11	MEF	Galicia	II	13,70	149	40	3485	17,00	14,30	17,80
GII44	11	MEF	Galicia	II	14,74	149	39	3701	33,23	30,53	33,23
GII45	11	MEF	Galicia	II	13,84	148	39	3622	31,11	28,41	31,11
GII46	11	MEF	Galicia	II	13,59	149	39	3622	32,06	29,36	32,06
GII47	11	MEF	Galicia	II	13,21	148	39	3502	41,67	38,97	41,67
GII48	11	MEF	Galicia	II	15,02	147	39	3693	34,45	31,75	34,45
GII49	11	MEF	Galicia	II	13,55	147	39	3649	23,72	21,02	23,72
GII50	11	MEF	Galicia	II	14,31	147	39	3687	29,93	27,23	29,93
GII51	11	MEF	Galicia	II	13,80	149	39	3650	24,46	21,76	24,46
GII52	11	MEF	Galicia	II	14,16	149	39	3710	29,97	27,27	29,97
GII53	11	MEF	Galicia	II	14,91	148	39	3796	25,16	22,46	25,16
GII54	11	MEF	Galicia	II	14,47	147	39	3907	27,23	24,53	27,23
GII55	11	MEF	Galicia	II	11,80	149	39	3502	25,39	22,69	25,39
GII56	11	MEF	Galicia	II	12,08	148	39	3496	25,21	22,51	25,21
GIII01	12	MEF	Galicia	III	21,60	148	69	3670	16,10	13,40	17,60
GIII02	12	MEF	Galicia	III	25,30	148	70	3810	20,60	17,90	24,90
GIII03	12	R	Galicia	III	23,10	148	70	3670	17,90	15,20	22,80
GIII04	12	MEF	Galicia	III	24,40	148	70	3720	25,90	23,20	26,50
GIII05	12	MEF	Galicia	III	23,00	148	70	3540	21,70	19,00	18,30
GIII06	12	MEF	Galicia	III	24,50	149	70	3610	21,80	19,10	22,50
GIII07	12	MEF	Galicia	III	23,80	148	70	3587	16,80	14,10	17,80
GIII08	12	MEF	Galicia	III	24,00	149	69	3676	19,60	16,90	18,70
GIII09	12	R	Galicia	III	27,90	148	71	3732	31,70	29,00	23,40
GIII10	12	MEF	Galicia	III	24,30	147	70	3715	15,60	12,90	16,80
GIII11	12	MEF	Galicia	III	21,70	149	70	3840	16,10	13,40	18,30
GIII12	12	MEF	Galicia	III	21,20	149	70	3830	16,70	14,00	16,80
GIII13	12	MEF	Galicia	III	28,05	148	71	3500	49,90	47,20	30,00
GIII14	12	MEF	Galicia	III	21,00	150	69	3659	17,60	14,90	16,60
GIII15	12	MEF	Galicia	III	19,60	149	70	3505	18,00	15,30	17,10

Probeta	Muestra	Clase visual	Proc.	Sec.	P	h	b	L	H_{xil_sc}	H_{xil_c}	H_{est}
GIII16	12	MEF	Galicia	III	21,00	147	69	3655	15,90	13,20	16,30
GIII17	12	MEF	Galicia	III	20,90	150	70	3520	22,60	19,90	15,70
GIII18	12	R	Galicia	III	22,50	149	70	3700	20,80	18,10	19,20
GIII19	12	R	Galicia	III	22,30	148	70	3450	20,80	18,10	20,40
GIII20	12	MEF	Galicia	III	27,60	147	70	3693	19,80	17,10	20,20
GIII21	12	MEF	Galicia	III	27,60	149	71	3500	43,80	41,10	30,00
GIII22	12	MEF	Galicia	III	24,60	150	70	3705	23,70	21,00	29,50
GIII23	12	MEF	Galicia	III	29,90	147	70	3840	16,00	13,30	17,30
GIII24	12	MEF	Galicia	III	24,70	140	71	3770	19,90	17,20	24,30
GIII25	12	R	Galicia	III	24,40	149	71	3740	19,00	16,30	19,40
GIII26	12	R	Galicia	III	24,50	150	71	3885	17,80	15,10	18,30
GIII27	12	R	Galicia	III	26,90	151	71	3870	24,90	22,20	34,80
GIII28	12	MEF	Galicia	III	24,10	149	71	3740	24,40	21,70	28,70
GIII30	12	R	Galicia	III	22,90	147	69	3456	18,50	15,80	20,50
GIII31	12	MEF	Galicia	III	25,30	147	70	3840	22,50	19,80	18,30
GIII32	12	R	Galicia	III	24,30	149	70	3692	18,70	16,00	19,50
GIII33	12	R	Galicia	III	22,60	146	70	3705	18,80	16,10	18,70
GIII34	12	R	Galicia	III	25,80	149	70	3697	18,40	15,70	19,90
GIII35	12	R	Galicia	III	21,80	147	70	3635	16,00	13,30	15,10
GIII36	12	MEF	Galicia	III	24,50	148	70	3592	20,30	17,60	20,70
GIII37	12	MEF	Galicia	III	23,50	147	70	3740	18,60	15,90	17,50
GIII38	12	MEF	Galicia	III	22,80	148	70	3706	19,40	16,70	19,10
GIII39	12	MEF	Galicia	III	22,20	148	70	3574	16,90	14,20	17,80
GIII40	12	MEF	Galicia	III	22,60	149	70	3466	20,80	18,10	20,60
GIII41	12	MEF	Galicia	III	22,70	147	69	3496	19,80	17,10	25,40
GIII42	12	MEF	Galicia	III	20,40	148	70	3453	19,80	17,10	21,00
GIII43	12	R	Galicia	III	23,30	149	70	3846	17,60	14,90	17,60
GIII44	12	MEF	Galicia	III	22,10	148	70	3822	21,70	19,00	18,20
GIII45	12	MEF	Galicia	III	26,10	145	70	3695	18,70	16,00	18,10
GIII46	12	MEF	Galicia	III	25,00	149	70	3842	20,60	17,90	22,30
GIII47	12	R	Galicia	III	24,40	148	70	3834	17,60	14,90	21,10
GIII48	12	R	Galicia	III	22,40	148	70	3704	18,30	15,60	18,80
GIII49	12	MEF	Galicia	III	22,60	148	71	3825	20,20	17,50	16,10
GIII50	12	MEF	Galicia	III	20,80	148	68	3644	32,00	29,30	34,50
GIII51	12	MEF	Galicia	III	21,30	150	70	3815	21,50	18,80	15,90
GIII52	12	MEF	Galicia	III	28,31	149	71	3500	42,30	39,60	30,00
GIII53	12	MEF	Galicia	III	30,45	149	70	3500	57,90	55,20	30,00
GIII54	12	MEF	Galicia	III	24,81	149	70	3500	37,20	34,50	30,00
GIII55	12	MEF	Galicia	III	32,58	149	70	3500	53,80	51,10	30,00
GIII56	12	MEF	Galicia	III	27,57	149	70	3500	44,90	42,20	30,00

Tabla AIII.2. Tabla de datos de densidades y propiedades mecánicas

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AI01a	660,00	649,80	618,89	617,62	8,32	8,37	8,19	8,35	8,41	8,24	38,87	34,99	162	
AI01b	628,00	621,10	617,28	621,23	15,05	10,64	11,14	14,85	10,50	10,96	32,14	32,14	103	
AI01c	485,70	485,70	486,61	486,61	12,08	11,00	11,61	12,08	11,00	11,61	55,35	55,35	291	1,00
AI02a	610,00	601,80	615,64	616,16	15,19	14,23	15,81	15,17	14,21	15,78	54,49	54,49	228	
AI02b	609,60	597,40	647,24	643,21	14,72	12,95	14,15	14,90	13,12	14,37	55,95	52,94	252	
AI02c	575,60	576,50	526,88	525,82	9,95	10,19	10,56	9,99	10,23	10,61	34,92	34,92	234	1,34
AI03a	600,00	591,90	584,88	585,84	13,60	13,03	14,25	13,55	12,99	14,20	72,61	72,61	304	
AI03b	573,50	571,50	586,54	586,91	12,94	11,90	12,78	12,93	11,89	12,77	77,97	77,97	378	
AI03c	650,00	648,70	651,46	652,77	13,52	12,96	14,16	13,46	12,90	14,08	51,88	51,88	246	1,16
AI04a	540,00	530,60	521,49	522,43	13,04	12,21	13,18	13,00	12,16	13,12	67,62	67,62	283	
AI04b	669,10	618,20	656,38	643,93	12,88	11,28	11,97	13,37	11,71	12,53	64,83	56,00	318	
AI04c	575,60	575,90	576,58	578,31	14,00	12,63	13,73	13,92	12,56	13,64	74,04	74,04	296	1,03
AI05a	650,00	635,40	616,73	613,40	17,04	15,32	17,23	17,22	15,48	17,43	94,70	94,70	398	
AI05b	669,10	648,60	671,35	663,48	13,42	12,77	13,91	13,73	13,07	14,30	72,67	72,67	354	
AI05c	552,40	554,00	557,63	560,97	13,59	11,98	12,88	13,42	11,84	12,70	60,28	60,28	284	1,00
AI06a	640,00	631,40	615,31	612,91	14,29	13,29	14,59	14,41	13,40	14,73	84,11	84,11	353	
AI06b	628,00	612,60	619,74	624,36	12,06	12,68	13,79	11,88	12,49	13,55	75,46	75,46	359	
AI06c	575,60	576,50	558,79	561,86	12,80	11,87	12,74	12,66	11,74	12,57	54,24	54,24	217	1,16
AI07a	590,00	579,10	614,68	616,15	12,83	12,34	13,35	12,77	12,29	13,29	86,52	86,52	365	
AI07b	640,10	627,30	636,86	635,14	9,80	11,00	11,61	9,85	11,06	11,69	58,70	58,70	280	
AI07c	585,40	585,40	573,57	574,71	10,63	10,06	10,39	10,59	10,02	10,34	62,20	62,20	328	1,44
AI08a	580,00	571,30	576,80	578,24	11,61	10,07	10,40	11,55	10,02	10,34	33,07	33,07	137	
AI08b	621,30	612,30	608,41	608,66	10,88	11,74	12,57	10,87	11,73	12,56	53,52	53,52	259	
AI08c	542,90	542,60	532,25	530,92	12,43	12,14	13,09	12,50	12,20	13,17	81,87	81,87	404	1,70
AI09a	600,00	590,10	610,11	608,46	11,00	10,52	10,99	11,06	10,58	11,06	24,27	24,27	83	
AI09b	591,80	571,70	562,10	532,56	12,23	12,13	13,08	13,52	13,41	14,74	49,41	49,41	244	
AI09c	663,40	657,40	660,50	659,17	15,00	13,80	15,25	15,06	13,85	15,32	67,81	67,81	256	1,20
AI10a	540,00	532,70	467,62	467,88	15,28	13,17	14,43	15,26	13,15	14,41	58,67	58,67	248	
AI10b	609,30	602,30	667,72	669,30	13,15	12,42	13,46	13,09	12,36	13,38	54,22	54,22	263	
AI10c	536,60	539,00	543,78	546,77	11,24	10,84	11,40	11,12	10,72	11,25	47,67	47,67	211	1,26
AI11a	590,00	582,00	609,38	612,42	16,02	14,79	16,54	15,86	14,65	16,36	73,92	73,92	310	
AI11b	657,10	629,50	624,77	605,66	15,45	14,01	15,52	16,40	14,86	16,63	64,13	64,13	210	
AI11c	712,20	708,60	715,54	715,89	15,04	14,12	15,67	15,02	14,11	15,65	69,11	69,11	279	1,53
AI12a	520,00	511,70	492,99	492,72	12,11	11,92	12,81	12,12	11,93	12,82	52,00	52,00	217	
AI12b	645,20	631,30	647,06	640,87	14,38	13,70	15,12	14,65	13,96	15,46	61,12	61,12	300	
AI12c	575,60	575,30	573,71	574,57	10,99	10,62	11,12	10,96	10,59	11,08	46,68	46,68	279	1,38
AI13a	590,00	580,30	621,62	621,65	11,56	10,82	11,38	11,56	10,81	11,36	41,46	41,46	173	
AI13b	583,50	576,50	582,89	582,29	14,97	12,97	14,17	15,00	13,00	14,21	73,57	73,57	370	
AI13c	653,70	649,40	623,88	625,44	15,11	14,06	15,59	15,04	13,99	15,50	66,25	66,25	314	1,47
AI14a	570,00	561,70	564,75	566,69	12,95	12,85	14,02	12,86	12,76	13,90	66,60	66,60	280	
AI14b	699,10	688,30	710,59	712,30	12,26	12,78	13,92	12,20	12,71	13,83	90,18	90,18	404	
AI14c	666,70	665,00	653,85	656,14	14,30	13,31	14,61	14,20	13,21	14,48	47,48	47,48	234	1,48
AI15a	570,00	560,60	550,49	550,35	17,18	15,05	16,88	17,19	15,06	16,89	55,31	40,56	232	
AI15b	505,40	496,30	624,13	627,51	10,78	10,60	11,09	10,66	10,49	10,95	52,91	52,91	286	
AI15c	585,40	585,40	576,26	579,71	14,35	12,82	13,98	14,17	12,66	13,77	61,94	61,94	247	1,64
AI16a	660,00	647,10	613,17	611,85	14,53	12,70	13,82	14,59	12,76	13,90	35,36	31,24	150	
AI16b	585,40	559,70	586,85	567,02	13,16	11,81	12,66	14,05	12,60	13,69	43,91	43,91	214	
AI16c	585,40	586,00	560,54	562,78	11,81	10,93	11,52	11,71	10,85	11,42	35,07	35,07	141	1,02
AI17a	600,00	589,50	577,81	575,73	8,47	9,48	9,63	8,53	9,55	9,73	12,02	12,02	48	
AI17b	693,00	679,80	661,40	656,52	15,67	13,21	14,48	15,91	13,40	14,73	79,09	79,09	385	
AI17c	595,10	593,90	599,81	601,31	12,54	11,08	11,71	12,48	11,03	11,65	31,69	31,69	139	1,29
AI18a	590,00	580,00	577,94	578,06	14,17	13,37	14,69	14,16	13,36	14,68	52,40	52,40	236	
AI18b	585,40	582,80	536,77	539,81	9,65	12,27	13,26	9,54	12,13	13,08	56,47	56,47	274	
AI18c	630,00	630,60	593,33	596,00	10,51	10,99	11,60	10,42	10,90	11,48	32,11	32,11	160	1,40
AI19a	600,00	590,40	564,74	565,31	13,94	13,09	14,33	13,91	13,06	14,29	50,34	50,34	211	
AI19b	669,10	665,00	567,34	565,42	15,27	12,37	13,39	15,37	12,45	13,50	54,32	39,72	263	
AI19c	610,00	609,70	535,39	538,60	12,32	11,75	12,59	12,17	11,61	12,40	24,68	24,68	88	1,61

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AI20a	540,00	531,10	529,88	525,93	15,79	13,92	15,41	16,02	14,12	15,67	61,72	58,64	258	
AI20b	609,30	584,60	597,71	590,47	14,17	13,13	14,38	14,52	13,45	14,80	70,86	70,86	338	
AI20c	535,40	536,70	508,79	511,59	15,79	13,19	14,46	15,62	13,05	14,28	54,65	54,65	291	0,93
AI21a	530,00	521,80	530,06	523,27	12,73	11,88	12,75	13,05	12,18	13,14	55,39	55,39	232	
AI21b	597,40	580,30	612,41	615,24	14,17	13,13	14,38	14,04	13,01	14,22	81,75	81,75	398	
AI21c	590,00	590,60	603,70	607,63	12,44	11,95	12,85	12,28	11,79	12,64	74,55	74,55	372	1,27
AI22a	500,00	490,50	486,33	485,92	11,69	10,60	11,09	11,71	10,62	11,12	40,85	36,08	189	
AI22b	657,10	634,40	645,16	635,22	16,06	13,50	14,86	16,55	13,92	15,41	57,72	57,72	273	
AI22c	682,90	684,60	693,50	687,95	14,92	13,12	14,37	15,16	13,33	14,64	83,78	83,78	369	1,53
AI23a	610,00	599,60	582,03	579,12	10,65	10,58	11,06	10,76	10,69	11,21	56,79	56,79	238	
AI23b	633,20	614,20	664,56	655,52	11,88	11,52	12,29	12,20	11,83	12,69	57,58	57,58	279	
AI23c	565,70	564,80	576,42	578,44	14,68	12,81	13,96	14,57	12,72	13,85	48,46	48,46	223	0,88
AI24a	530,00	521,80	513,95	513,95	13,28	12,13	13,08	13,28	12,13	13,08	75,77	75,77	345	
AI24b	585,40	555,60	560,61	551,11	15,16	13,26	14,55	15,68	13,70	15,12	58,13	52,93	282	
AI24c	620,00	620,90	566,54	569,66	15,44	14,01	15,52	15,27	13,85	15,32	64,16	64,16	206	1,25
AI25a	570,00	562,00	607,92	608,35	11,65	10,83	11,39	11,63	10,81	11,36	31,56	24,19	140	
AI25b	621,30	610,70	586,09	580,61	11,56	11,66	12,47	11,78	11,88	12,75	65,00	65,00	318	
AI25c	670,70	670,70	620,80	622,98	14,61	15,01	16,82	14,51	14,91	16,69	52,43	52,43	183	1,64
AI26a	513,40	511,10	496,78	491,32	10,86	9,93	10,22	11,10	10,14	10,49	57,98	57,98	388	
AI26b	622,70	612,10	576,77	571,46	12,09	12,29	13,29	12,31	12,51	13,57	66,77	66,77	311	
AI26c	560,00	559,70	640,89	644,09	11,73	11,07	11,70	11,62	10,96	11,56	42,21	42,21	188	1,37
AI27a	638,90	625,80	640,09	626,97	14,89	11,23	11,91	15,50	11,69	12,51	26,31	26,31	132	
AI27b	628,00	621,70	629,59	632,97	13,01	13,01	14,22	12,87	12,87	14,04	50,51	50,51	241	
AI27c	542,90	544,50	642,73	645,62	9,68	10,19	10,56	9,59	10,09	10,43	33,29	33,29	183	1,43
AI28a	620,20	614,90	627,65	619,80	11,69	9,62	9,82	11,98	9,86	10,13	34,45	34,45	277	
AI28b	659,30	655,10	661,46	665,59	13,65	12,60	13,69	13,48	12,44	13,48	66,99	66,99	312	
AI28c	590,50	591,40	603,89	606,30	15,03	14,00	15,51	14,91	13,89	15,37	83,06	83,06	389	1,08
AI29a	613,80	602,70	602,39	591,25	12,51	10,92	11,51	12,97	11,33	12,04	51,04	51,04	335	
AI29b	669,10	646,30	660,21	653,44	15,38	13,54	14,91	15,69	13,82	15,28	81,94	81,94	399	
AI29c	551,90	551,00	544,28	547,28	15,40	14,32	15,93	15,23	14,16	15,72	73,92	73,92	307	1,25
AI30a	603,70	596,40	591,72	583,73	11,94	10,60	11,09	12,27	10,89	11,47	47,24	47,24	401	
AI30b	609,30	603,50	619,12	619,91	15,05	13,47	14,82	15,01	13,43	14,77	78,06	78,06	382	
AI30c	600,00	599,40	598,31	600,71	11,71	10,93	11,52	11,62	10,85	11,42	65,32	65,32	296	1,44
AI31a	607,70	597,10	636,82	626,31	11,61	11,03	11,65	11,99	11,39	12,12	43,21	43,21	239	
AI31b	669,10	666,40	575,92	579,49	13,12	12,08	13,01	12,96	11,93	12,82	79,57	79,57	263	
AI31c	575,60	575,60	628,11	631,87	13,44	12,90	14,08	13,28	12,74	13,87	78,94	78,94	352	1,29
AI32a	499,60	496,10	525,55	521,35	13,01	11,82	12,68	13,22	12,01	12,92	60,87	60,87	337	
AI32b	664,30	643,00	663,91	656,95	9,03	9,09	9,13	9,22	9,28	9,37	49,69	49,69	226	
AI32c	575,60	575,00	557,42	560,48	14,21	13,69	15,11	14,05	13,54	14,91	66,53	66,53	270	1,40
AI33a	582,20	577,00	598,69	592,10	13,41	12,03	12,95	13,70	12,29	13,29	66,20	66,20	362	
AI33b	649,20	633,90	631,66	628,89	13,65	14,09	15,63	13,77	14,21	15,78	68,51	68,51	306	
AI33c	542,90	541,50	555,54	558,04	12,62	11,52	12,29	12,51	11,42	12,16	54,28	54,28	243	1,39
AI34a	603,40	592,60	601,27	593,45	13,53	11,75	12,59	13,88	12,06	12,99	64,77	64,77	437	
AI34b	633,20	616,60	628,52	624,37	12,61	10,48	10,93	12,78	10,62	11,12	51,44	51,44	252	
AI34c	552,40	551,00	517,82	518,86	10,66	9,93	10,22	10,61	9,89	10,17	52,89	52,89	267	1,68
AI35a	516,90	513,60	531,49	526,18	12,66	10,70	11,22	12,92	10,91	11,49	53,38	53,38	410	
AI35b	573,50	564,40	588,40	597,49	11,77	11,01	11,62	11,41	10,67	11,18	74,57	74,57	364	
AI35c	590,00	589,40	589,29	592,53	12,36	12,23	13,21	12,22	12,10	13,04	55,71	55,71	217	1,04
AI36a	503,00	499,90	509,29	504,20	10,60	8,95	8,95	10,81	9,13	9,18	55,82	55,82	404	
AI36b	720,40	702,00	692,30	686,72	15,74	14,16	15,72	15,99	14,39	16,02	51,44	51,44	233	
AI36c	614,60	616,20	619,54	622,02	12,35	11,69	12,51	12,25	11,60	12,39	73,27	73,27	437	1,28
AI37a	609,70	602,70	591,19	586,46	10,89	10,39	10,82	11,07	10,55	11,03	51,04	51,04	245	
AI37b	621,30	588,00	594,66	579,50	11,20	11,89	12,77	11,78	12,49	13,55	57,31	57,31	281	
AI37c	600,00	600,00	562,24	565,34	13,99	12,66	13,77	13,84	12,52	13,59	43,17	43,17	186	1,44
AI38a	652,00	639,60	632,95	622,51	10,31	11,67	12,48	10,65	12,05	12,98	37,41	37,41	252	
AI38b	597,40	584,50	616,34	593,65	13,02	12,65	13,76	13,98	13,58	14,96	79,41	79,41	355	
AI38c	571,40	572,60	562,49	564,74	11,37	10,36	10,78	11,28	10,28	10,67	39,43	39,43	166	1,11
AI39a	630,60	613,60	627,86	614,99	15,02	14,68	16,39	15,64	15,28	17,17	72,53	72,53	346	
AI39b	549,60	544,90	598,71	603,36	11,41	10,00	10,31	11,24	9,85	10,12	64,97	64,97	317	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AI39c	483,70	483,70	505,86	508,14	10,78	10,54	11,01	10,68	10,44	10,88	46,10	46,10	227	1,09
AI40a	537,90	534,70	501,02	497,26	11,90	9,94	10,23	12,08	10,09	10,43	41,33	41,33	231	
AI40b	581,20	567,70	579,67	574,47	15,70	13,12	14,37	15,98	13,36	14,68	62,67	62,67	317	
AI40c	567,40	566,30	657,28	663,85	12,23	11,16	11,82	11,99	10,94	11,53	34,30	34,30	153	1,20
AI41a	630,40	622,90	728,84	714,63	14,08	12,16	13,12	14,63	12,63	13,73	68,67	68,67	520	
AI41b	541,60	528,60	517,89	512,86	15,52	11,80	12,65	15,83	12,03	12,95	68,69	53,65	410	0,98
AI41c	660,00	660,30	597,63	599,60	13,92	12,56	13,64	13,83	12,48	13,53	50,86	50,86	208	1,19
AI42a	627,40	623,00	738,35	726,91	10,63	11,33	12,04	10,96	11,68	12,49	51,18	51,18	374	
AI42b	569,70	556,60	582,97	575,27	15,59	12,25	13,24	16,00	12,57	13,65	70,45	70,45	364	0,81
AI42c	497,60	499,10	495,39	600,89	10,79	9,75	9,99	10,75	9,71	9,93	39,97	31,97	280	0,98
AI43a	540,30	536,60	553,67	548,96	13,30	11,93	12,82	13,53	12,13	13,08	63,63	63,63	410	
AI43b	650,00	635,10	668,71	659,12	13,96	10,93	11,52	14,36	11,24	11,92	45,62	42,02	240	1,19
AI43c	610,50	613,60	601,49	603,47	10,03	8,37	8,19	9,96	8,32	8,13	40,51	40,51	367	1,96
AI44a	566,70	562,40	551,76	546,52	14,59	13,73	15,16	14,86	13,99	15,50	74,86	74,86	339	
AI44b	583,00	568,40	583,94	577,29	13,45	11,65	12,46	13,75	11,91	12,79	49,79	49,79	254	0,99
AI44c	613,90	615,70	596,45	597,14	13,47	11,25	11,94	13,44	11,22	11,90	42,95	42,95	220	1,16
AI45a	532,40	528,70	559,39	554,91	12,65	8,94	8,93	12,85	9,08	9,11	37,79	37,79	136	
AI45b	586,60	572,80	599,49	594,87	16,94	13,14	14,39	17,20	13,34	14,65	74,43	74,43	354	1,17
AI45c	526,80	528,40	493,54	495,06	10,27	9,88	10,15	10,21	9,82	10,08	43,08	43,08	234	0,85
AI46a	556,70	553,30	527,31	523,36	11,65	10,95	11,55	11,82	11,12	11,77	57,64	57,64	310	
AI46b	589,40	575,50	595,44	588,16	13,16	11,02	11,64	13,48	11,29	11,99	57,83	57,83	345	0,98
AI46c	575,60	578,50	564,94	566,43	11,47	10,10	10,44	11,40	10,04	10,36	50,96	50,96	373	1,45
AI47a	599,00	592,70	585,07	579,22	12,16	10,98	11,58	12,40	11,20	11,87	60,89	60,89	315	
AI47b	514,40	502,10	513,49	509,72	15,44	11,76	12,60	15,67	11,93	12,82	43,10	43,10	157	0,89
AI48a	613,80	606,40	598,92	589,94	13,28	11,59	12,38	13,68	11,94	12,83	51,56	51,56	331	
AI48b	567,10	553,20	566,32	558,15	14,33	11,98	12,88	14,75	12,32	13,33	60,62	60,62	313	1,16
AI48c	487,80	489,50	494,17	494,62	10,81	9,83	10,09	10,79	9,81	10,06	46,39	46,39	232	1,20
AI49a	630,40	622,90	601,87	594,05	9,12	8,46	8,31	9,36	8,68	8,59	26,92	26,92	487	
AI49b	610,00	597,50	639,73	630,74	13,51	11,07	11,70	13,89	11,38	12,10	30,06	30,06	67	0,88
AI49c	604,90	605,50	569,52	570,55	17,04	14,63	16,33	16,98	14,58	16,26	69,51	69,51	293	0,82
AI50a	596,50	589,70	602,12	594,59	14,08	11,41	12,14	14,43	11,69	12,51	47,63	47,63	305	
AI50b	608,80	596,90	574,31	566,87	15,09	11,12	11,77	15,48	11,41	12,14	49,26	49,26	206	0,85
AI50c	590,20	591,40	578,59	579,51	13,09	12,11	13,05	13,04	12,07	13,00	60,65	60,65	263	1,38
AI51b	569,70	555,50	584,08	577,45	15,17	11,97	12,87	15,52	12,24	13,22	69,63	58,65	406	1,06
AI51c	650,00	653,90	644,32	646,87	14,80	12,96	14,16	14,68	12,86	14,03	58,01	58,01	260	1,19
AI52b	657,90	639,50	613,49	604,44	14,88	12,38	13,40	15,32	12,75	13,89	50,06	50,06	245	0,85
AI52c	556,10	559,40	541,82	542,99	13,45	12,28	13,27	13,39	12,22	13,20	34,13	28,73	146	0,92
AI53b	640,00	628,50	621,15	611,98	13,13	11,47	12,22	13,52	11,81	12,66	67,39	60,31	358	0,94
AI53c	563,70	566,20	515,06	516,20	14,05	12,18	13,14	13,99	12,13	13,08	54,13	39,70	284	0,91
AI54b	613,10	600,30	624,90	616,98	10,89	9,56	9,74	11,17	9,80	10,05	57,00	57,00	368	1,15
AI54c	576,40	579,00	570,79	570,95	12,82	11,59	12,38	12,81	11,58	12,36	62,86	52,90	274	1,32
AI55b	550,00	535,20	555,95	549,96	15,37	11,29	11,99	15,70	11,53	12,30	42,22	27,80	199	0,79
AI55c	570,00	572,30	534,75	536,13	12,02	10,17	10,53	11,96	10,12	10,47	29,82	28,33	133	1,23
AI56b	610,00	597,80	608,76	602,58	19,39	15,79	17,84	19,79	16,11	18,25	77,42	77,42	328	0,88
AI57b	583,20	568,10	559,80	553,85	14,14	12,13	13,08	14,45	12,38	13,40	52,58	52,58	343	1,09
AI58b	590,00	577,60	591,25	584,46	11,43	11,55	12,33	11,70	11,82	12,68	51,56	51,56	322	0,80
AI59b	550,30	536,60	538,42	533,28	15,19	10,67	11,18	15,48	10,88	11,45	58,02	42,78	340	0,96
AI60b	622,30	607,30	667,83	659,67	11,26	10,07	10,40	11,54	10,31	10,71	61,67	61,67	402	1,18
AI61b	571,80	558,00	613,80	606,95	18,43	13,88	15,35	18,84	14,19	15,76	42,44	26,83	315	0,93
AI62b	517,70	503,70	536,12	530,71	14,57	11,45	12,20	14,86	11,68	12,49	66,31	66,31	433	0,78
AII01b	617,50	615,70	581,41	577,98	12,80	11,91	12,79	12,95	12,05	12,98	53,53	53,53	359	1,44
AII01c	628,90	626,70	645,51	644,23	14,24	13,12	14,37	14,29	13,17	14,43	59,37	59,37	325	1,43
AII02b	590,30	587,40	596,23	589,32	13,16	11,61	12,40	13,46	11,88	12,75	47,02	47,02	295	0,85
AII02c	577,40	575,70	589,57	589,05	15,65	14,60	16,29	15,68	14,63	16,33	59,27	59,27	266	1,38
AII03b	631,60	629,30	593,96	586,12	9,86	10,25	10,64	10,13	10,52	10,99	39,05	39,05	223	1,50
AII03c	591,00	589,20	544,57	543,09	15,61	14,07	15,60	15,70	14,15	15,71	64,67	64,67	362	1,15
AII04b	599,00	592,70	556,17	553,37	13,24	12,01	12,92	13,38	12,13	13,08	51,47	51,47	305	0,83
AII04c	553,30	551,40	598,15	595,18	14,05	13,36	14,68	14,19	13,49	14,85	56,34	56,34	270	1,19
AII05b	607,80	596,80	610,69	601,02	9,94	9,25	9,34	10,26	9,54	9,71	27,64	27,64	248	0,90

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AII05c	542,40	541,00	587,46	584,23	14,85	12,90	14,08	15,01	13,05	14,28	41,34	41,34	272	1,44
AII06b	590,30	588,20	601,78	597,17	8,12	9,76	10,00	8,24	9,91	10,19	26,63	26,63	283	1,34
AII06c	481,90	478,20	506,89	505,53	10,16	10,16	10,52	10,21	10,21	10,58	21,58	21,58	149	1,29
AII07b	677,50	674,80	671,29	661,26	11,06	11,24	11,92	11,39	11,57	12,35	36,22	36,22	200	1,54
AII07c	531,30	528,70	586,55	581,50	11,73	11,24	11,92	11,93	11,43	12,17	51,04	51,04	283	1,24
AII08b	644,20	641,90	661,18	652,10	12,41	11,94	12,83	12,75	12,27	13,26	49,98	49,98	282	1,00
AII08c	529,20	528,90	556,81	555,17	11,97	10,12	10,47	12,04	10,18	10,54	45,72	45,72	270	0,96
AII09b	625,30	624,30	696,10	688,45	12,64	11,21	11,88	12,92	11,46	12,21	52,08	52,08	333	0,90
AII09c	590,20	588,20	562,60	561,93	16,79	15,11	16,95	16,83	15,14	16,99	62,89	62,89	280	1,09
AII10b	618,70	609,40	601,99	594,52	12,98	11,19	11,86	13,31	11,47	12,22	40,77	40,77	266	1,28
AII10c	572,50	571,90	541,00	538,89	12,90	10,29	10,69	13,00	10,37	10,79	40,82	40,82	330	1,61
AII11a	605,20	586,70	607,49	599,02	11,84	9,83	10,09	12,17	10,11	10,45	49,31	49,31	348	1,40
AII11c	538,60	537,80	536,78	534,15	11,06	9,90	10,18	11,17	10,00	10,31	50,84	50,84	279	1,08
AII12a	595,00	579,80	572,26	562,94	9,41	9,28	9,37	9,72	9,58	9,76	43,04	43,04	247	1,22
AII12b	566,50	561,10	546,94	540,11	9,43	8,99	9,00	9,66	9,22	9,30	23,59	23,59	180	1,31
AII12c	636,10	624,00	626,38	624,75	13,50	11,69	12,51	13,57	11,76	12,60	56,54	50,29	280	1,75
AII13a	753,50	735,00	708,04	679,64	14,15	10,90	11,48	15,28	11,77	12,61	46,60	46,60	225	1,02
AII13b	625,20	617,70	622,00	614,49	10,25	10,79	11,34	10,49	11,05	11,68	40,79	40,79	279	1,41
AII13c	541,40	540,60	548,54	547,23	11,97	11,09	11,73	12,03	11,14	11,79	50,72	50,72	334	1,08
AII14a	704,80	693,90	691,23	680,47	17,28	15,65	17,66	17,82	16,14	18,29	64,76	64,76	321	1,25
AII14b	640,90	633,90	628,11	620,27	13,06	10,82	11,38	13,38	11,09	11,73	25,92	25,92	214	1,32
AII14c	586,10	584,30	614,63	613,56	12,50	12,26	13,25	12,54	12,30	13,30	52,82	52,82	213	1,41
AII15b	666,00	661,70	648,96	643,67	15,13	12,69	13,81	15,38	12,90	14,08	39,46	39,46	258	1,29
AII15c	492,70	491,50	505,60	505,81	10,25	9,43	9,57	10,24	9,42	9,56	39,64	39,64	330	1,22
AII16a	597,80	581,10	585,94	577,14	11,92	10,56	11,04	12,28	10,88	11,45	55,26	55,26	302	1,45
AII16b	618,70	617,10	613,81	610,37	11,71	8,67	8,58	11,84	8,77	8,71	14,72	14,72	234	0,87
AII16c	545,80	544,40	570,53	556,79	11,86	11,16	11,82	12,44	11,70	12,52	55,40	55,40	412	1,17
AII17a	722,90	705,90	687,00	675,30	16,21	10,81	11,36	16,77	11,17	11,83	36,23	36,23	229	1,11
AII17b	572,00	567,70	630,07	623,18	9,45	8,90	8,88	9,66	9,10	9,14	42,84	42,84	232	1,31
AII17c	555,90	545,90	604,64	604,11	15,99	14,11	15,65	16,02	14,13	15,68	48,47	45,26	270	0,89
AII18a	596,40	586,00	637,48	625,65	10,39	9,68	9,89	10,78	10,04	10,36	38,76	38,76	216	0,93
AII18b	581,80	573,70	613,87	607,18	11,58	10,41	10,84	11,84	10,64	11,14	51,00	51,00	372	1,18
AII18c	558,20	555,40	546,24	543,53	11,62	11,44	12,18	11,74	11,56	12,34	49,45	40,71	237	1,04
AII19a	564,40	551,70	648,09	639,26	11,03	9,89	10,17	11,33	10,16	10,52	47,90	47,90	281	0,84
AII19b	607,90	606,70	562,19	556,68	10,80	9,13	9,18	11,02	9,31	9,41	26,53	26,53	204	1,89
AII19c	612,30	612,90	610,24	609,13	14,09	13,34	14,65	14,14	13,39	14,72	50,03	50,03	317	1,64
AII20a	589,70	584,40	612,08	606,29	9,51	9,48	9,63	9,69	9,66	9,87	36,15	36,15	237	1,61
AII20b	602,90	597,80	618,40	609,08	13,65	12,53	13,60	14,07	12,91	14,09	50,76	50,76	226	1,11
AII20c	601,10	597,80	574,57	571,45	11,30	10,66	11,17	11,42	10,78	11,32	46,54	46,54	235	1,63
AII21b	527,40	523,70	503,28	498,80	12,42	11,27	11,96	12,64	11,47	12,22	31,77	31,77	208	0,98
AII21c	541,50	541,50	516,53	515,40	12,49	11,27	11,96	12,55	11,32	12,03	27,70	27,70	139	1,16
AII22a	588,80	566,40	616,67	604,97	8,14	7,96	7,66	8,45	8,26	8,05	41,47	41,47	332	1,54
AII22b	628,10	619,30	622,95	614,81	11,54	11,04	11,66	11,84	11,33	12,04	46,96	46,96	357	1,10
AII22c	540,50	538,30	540,25	539,14	10,67	11,17	11,83	10,72	11,21	11,88	37,00	37,00	244	1,18
AII23a	615,40	597,00	618,06	604,79	10,43	9,53	9,70	10,88	9,94	10,23	36,44	36,44	211	0,74
AII23b	607,80	599,30	598,33	589,54	11,72	10,75	11,29	12,06	11,06	11,69	43,83	43,83	296	1,33
AII23c	554,70	552,20	534,82	535,24	12,97	12,13	13,08	12,95	12,11	13,05	51,17	44,11	282	1,20
AII24b	598,50	592,80	565,80	562,17	13,78	12,80	13,95	13,96	12,96	14,16	53,22	53,22	283	1,02
AII24c	538,10	537,30	615,93	615,40	12,25	11,20	11,87	12,27	11,22	11,90	48,95	48,95	312	1,00
AII25a	613,90	596,40	643,10	628,35	9,55	9,03	9,05	9,99	9,44	9,58	28,50	28,50	185	1,95
AII25b	570,70	566,20	605,08	601,16	10,98	10,01	10,32	11,13	10,14	10,49	47,55	47,55	339	0,94
AII25c	570,50	569,90	571,60	571,36	13,71	11,02	11,64	13,73	11,03	11,65	55,30	49,80	334	1,69
AII26a	497,70	493,80	491,79	482,89	11,66	10,00	10,31	12,08	10,36	10,78	43,58	43,58	298	1,05
AII26b	594,70	585,20	575,45	570,71	9,78	9,90	10,18	9,94	10,07	10,40	48,52	48,52	294	3,49
AII26c	606,20	605,60	628,66	626,35	16,49	14,44	16,08	16,61	14,55	16,23	42,94	42,94	174	1,35
AII27a	621,40	612,70	613,69	604,64	13,97	12,68	13,79	14,38	13,06	14,29	53,01	53,01	324	1,01
AII27b	637,50	630,50	599,63	588,81	10,09	9,71	9,93	10,45	10,06	10,39	28,82	28,82	231	1,15
AII27c	610,20	609,90	599,08	598,11	12,60	10,98	11,58	12,64	11,01	11,62	56,87	56,87	288	1,43
AII28a	544,30	531,30	500,86	643,27	9,90	9,41	9,54	10,23	9,73	9,96	32,02	32,02	219	1,27

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AII28b	619,80	602,40	598,13	588,08	10,59	10,23	10,61	10,95	10,58	11,06	32,95	32,95	241	1,30
AII28c	602,50	599,20	597,49	594,34	14,41	12,89	14,07	14,56	13,03	14,25	46,75	46,75	227	1,54
AII29a	583,30	566,40	594,94	573,48	10,87	9,06	9,09	11,65	9,71	9,93	35,25	35,25	239	1,17
AII29b	615,90	603,00	634,72	623,40	10,47	9,85	10,12	10,85	10,20	10,57	44,06	44,06	358	1,12
AII29c	647,10	644,50	706,33	705,27	15,34	14,15	15,71	15,38	14,19	15,76	74,53	74,53	330	1,39
AII30a	601,60	582,90	572,86	562,28	11,07	10,26	10,65	11,48	10,64	11,14	44,63	44,63	401	1,23
AII30b	585,50	579,90	574,08	568,96	12,42	10,92	11,51	12,64	11,11	11,75	25,96	25,96	142	1,00
AII30c	549,10	546,90	536,32	533,75	15,00	13,50	14,86	15,14	13,63	15,03	55,96	55,96	270	0,97
AII31b	612,10	605,00	623,94	615,44	8,17	8,44	8,28	8,39	8,67	8,58	33,35	33,35	398	0,79
AII31c	589,40	587,00	593,30	591,07	14,25	11,81	12,66	14,35	11,89	12,77	51,42	40,06	215	1,51
AII32a	565,90	562,50	593,08	581,10	9,67	8,34	8,15	10,07	8,68	8,59	45,54	45,54	329	1,28
AII32b	695,90	686,50	684,72	673,15	10,68	12,73	13,86	11,04	13,16	14,42	30,29	30,29	202	0,98
AII32c	570,00	569,40	623,59	620,80	13,35	11,79	12,64	13,47	11,90	12,78	51,32	51,32	259	1,05
AII33a	529,40	519,60	566,32	555,49	9,63	8,20	7,97	9,99	8,51	8,37	30,14	30,14	242	1,16
AII33b	616,90	604,50	676,10	662,62	9,94	10,58	11,06	10,34	11,01	11,62	25,09	25,09	264	0,89
AII33c	631,20	627,70	725,70	711,46	15,31	14,24	15,82	15,91	14,80	16,55	58,93	49,49	354	1,10
AII34a	610,30	593,50	627,21	613,74	10,04	9,18	9,24	10,47	9,58	9,76	35,84	35,84	251	1,07
AII34b	572,50	567,40	592,59	587,33	13,17	11,77	12,61	13,40	11,98	12,88	43,20	43,20	247	1,45
AII34c	590,70	586,00	594,85	589,05	10,84	11,88	12,75	11,05	12,11	13,05	40,00	40,00	189	1,10
AII35a	590,00	574,60	578,38	566,90	9,94	8,98	8,98	10,34	9,34	9,45	53,62	53,62	392	1,22
AII35b	541,50	536,30	511,80	507,05	9,68	9,12	9,17	9,86	9,29	9,39	46,09	46,09	390	1,30
AII35c	650,70	645,20	692,08	689,21	11,56	10,97	11,57	11,65	11,07	11,70	59,17	59,17	355	1,54
AII36a	592,80	578,20	523,06	514,58	12,91	11,54	12,31	13,33	11,92	12,81	50,24	50,24	405	1,05
AII36b	553,20	549,60	565,46	560,80	11,19	10,13	10,48	11,38	10,29	10,69	46,87	46,87	357	1,00
AII36c	584,20	583,90	570,05	567,96	11,90	11,33	12,04	11,99	11,41	12,14	46,15	46,15	245	1,04
AII37a	664,70	647,10	642,40	629,15	14,74	13,19	14,46	15,35	13,73	15,16	40,42	40,42	166	0,98
AII37b	582,80	574,10	576,80	567,58	11,29	10,18	10,54	11,65	10,51	10,97	46,25	46,25	390	1,11
AII37c	513,90	512,40	572,73	515,59	10,92	9,57	9,75	11,12	9,75	9,99	42,89	42,89	272	1,12
AII38a	596,50	589,30	572,04	562,23	10,47	9,76	10,00	10,83	10,10	10,44	50,74	50,74	447	1,43
AII38b	625,30	619,90	621,76	616,87	15,56	14,23	15,81	15,80	14,45	16,10	54,96	54,96	339	0,95
AII38c	587,20	584,80	554,42	552,95	14,85	13,86	15,33	14,92	13,94	15,43	60,92	55,54	342	0,99
AII39a	602,30	580,30	623,54	609,82	12,34	10,74	11,27	12,88	11,22	11,90	42,12	42,12	326	1,37
AII39b	537,50	535,90	493,67	492,52	13,24	12,49	13,55	13,30	12,55	13,63	47,27	47,27	347	0,91
AII39c	624,90	622,40	610,35	607,50	15,13	14,22	15,80	15,27	14,36	15,98	54,79	54,79	196	1,97
AII40a	630,50	613,50	656,20	643,24	8,91	8,16	7,92	9,26	8,49	8,35	42,25	42,25	317	
AII40b	578,50	574,20	630,84	627,29	13,10	12,42	13,46	13,25	12,56	13,64	53,84	53,84	371	1,15
AII40c	579,00	577,30	567,49	565,23	10,54	11,28	11,97	10,63	11,37	12,09	41,90	41,90	275	1,40
AII41a	537,80	523,50	549,63	538,91	11,10	10,26	10,65	11,54	10,66	11,17	45,05	45,05	250	1,23
AII41b	574,80	559,60	589,16	582,55	12,74	11,73	12,56	13,03	11,99	12,90	49,26	49,26	297	1,27
AII41c	611,10	611,40	626,31	627,72	10,34	10,10	10,44	10,29	10,05	10,38	35,04	25,22	250	
AII42a	626,50	606,80	621,62	605,01	8,78	8,54	8,41	9,25	9,00	9,01	32,08	32,08	230	1,36
AII42b	609,70	588,00	585,53	577,76	12,17	11,41	12,14	12,49	11,71	12,53	44,07	40,12	280	1,08
AII42c	576,00	577,70	592,88	592,47	10,93	9,95	10,25	10,94	9,96	10,26	50,04	50,04	285	
AII43a	595,30	575,60	562,18	552,22	11,44	10,12	10,47	11,84	10,48	10,93	52,57	52,57	436	1,38
AII43b	523,10	503,70	682,56	665,93	14,99	12,12	13,07	15,72	12,71	13,83	54,79	54,79	498	0,99
AII43c	527,10	529,80	557,39	557,85	10,84	9,38	9,50	10,82	9,37	9,49	25,74	24,87	155	
AII44a	598,80	581,40	612,69	599,84	11,04	10,23	10,61	11,50	10,66	11,17	50,52	50,52	379	1,01
AII44b	687,00	649,90	613,21	601,44	11,04	11,46	12,21	11,46	11,90	12,78	46,19	46,19	267	1,71
AII44c	540,90	542,50	554,95	557,64	13,99	11,43	12,17	13,85	11,32	12,03	50,60	50,60	263	
AII45a	679,20	669,30	662,99	651,69	9,15	7,79	7,44	9,46	8,06	7,79	16,67	16,67	110	1,29
AII45b	564,40	524,90	535,76	533,55	13,21	12,26	13,25	13,32	12,36	13,38	34,30	26,63	206	0,78
AII45c	547,40	549,10	511,57	513,34	11,66	9,96	10,26	11,58	9,89	10,17	33,34	30,72	255	
AII46a	522,40	511,70	529,27	586,22	10,02	9,25	9,34	10,26	9,47	9,62	43,45	43,45	296	0,93
AII46b	577,90	543,20	595,54	587,05	13,46	11,55	12,33	13,85	11,88	12,75	55,85	44,92	361	0,98
AII46c	590,70	593,60	609,45	610,48	11,15	9,75	9,99	11,11	9,72	9,95	39,52	39,52	230	
AII47a	556,50	541,70	486,16	484,32	8,02	7,81	7,46	8,09	7,87	7,54	44,82	44,82	323	1,00
AII47b	705,80	659,20	626,43	613,06	14,18	13,07	14,30	14,79	13,63	15,03	48,20	34,45	215	0,91
AII47c	636,30	637,90	630,11	630,10	11,88	11,63	12,43	11,88	11,63	12,43	39,57	31,36	217	
AII48a	601,80	585,90	616,49	607,75	11,07	9,26	9,35	11,38	9,52	9,69	35,32	35,32	243	1,01

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AII48b	592,50	571,80	613,69	604,45	16,05	14,13	15,68	16,54	14,55	16,23	53,27	53,27	381	1,19
AII48c	526,90	528,80	500,40	501,72	11,53	11,23	11,91	11,46	11,17	11,83	37,58	23,89	244	
AII49a	580,60	561,80	564,04	554,42	10,62	9,62	9,82	10,99	9,95	10,25	38,08	38,08	265	0,90
AII49b	662,80	634,60	652,58	626,98	14,08	12,62	13,72	15,19	13,61	15,00	47,78	47,78	266	1,09
AII49c	603,00	603,60	583,53	583,78	12,45	11,40	12,13	12,44	11,39	12,12	62,93	62,93	387	
AII50a	592,20	575,70	615,39	602,32	11,09	10,22	10,60	11,56	10,65	11,16	50,59	50,59	382	0,86
AII50b	596,50	575,30	573,55	566,61	12,27	10,95	11,55	12,57	11,21	11,88	42,70	42,70	255	0,90
AII50c	560,70	561,80	588,09	588,69	12,95	11,18	11,84	12,93	11,15	11,81	49,68	49,68	322	
AII51a	608,80	600,00	555,18	546,31	10,40	9,65	9,86	10,73	9,96	10,26	40,41	40,41	246	1,31
AII51b	684,80	654,00	652,07	637,87	13,74	12,47	13,52	14,34	13,01	14,22	61,13	61,13	395	1,10
AII51c	617,40	621,10	598,59	599,90	13,87	13,62	15,02	13,81	13,56	14,94	42,80	42,80	259	
AII52a	536,90	531,00	511,69	503,24	12,16	11,05	11,68	12,56	11,42	12,16	57,47	57,47	339	1,12
AII52b	608,00	581,20	610,03	603,70	12,85	11,66	12,47	13,12	11,91	12,79	55,32	35,83	339	0,79
AII52c	510,90	514,00	539,50	540,70	12,67	11,92	12,81	12,62	11,87	12,74	49,85	49,85	260	
AII53a	648,20	625,80	602,37	587,73	10,62	9,59	9,78	11,14	10,06	10,39	40,33	40,33	373	
AII53b	632,80	611,60	591,11	581,16	11,51	11,02	11,64	11,90	11,39	12,12	39,38	39,38	214	1,22
AII53c	559,40	561,90	567,04	568,41	13,06	11,32	12,03	12,99	11,27	11,96	43,56	36,97	224	
AII54b	589,60	566,90	536,37	533,83	10,47	9,33	9,44	10,57	9,42	9,56	46,72	46,72	408	2,26
AII54c	573,90	576,50	559,35	561,19	12,57	12,10	13,04	12,48	12,02	12,94	48,37	48,37	269	
AII55a	570,90	562,10	506,72	500,88	8,33	7,25	6,74	8,52	7,41	6,94	35,53	35,53	284	0,83
AII55b	652,00	610,90	676,57	662,58	10,84	10,35	10,77	11,29	10,78	11,32	43,14	43,14	418	1,25
AII55c	529,80	531,90	532,39	533,50	11,70	11,09	11,73	11,65	11,05	11,68	46,58	46,58	303	
AII56a	633,00	615,00	651,32	637,49	10,45	8,99	9,00	10,90	9,38	9,50	21,55	21,55	131	1,06
AII56b	658,60	633,90	635,44	616,28	6,91	8,91	8,89	7,33	9,45	9,60	31,43	31,43	353	0,71
AII57a	503,90	494,00	488,72	480,48	11,28	9,90	10,18	11,66	10,24	10,62	31,99	31,99	253	0,91
AII57b	554,30	534,10	541,96	535,72	12,06	10,50	10,96	12,33	10,74	11,27	51,56	51,56	310	0,97
AII58a	597,60	583,30	591,77	581,93	11,89	10,82	11,38	12,28	11,18	11,84	43,23	43,23	428	1,02
AII58b	674,60	641,20	652,85	640,33	14,68	13,54	14,91	15,24	14,05	15,58	52,53	52,53	298	1,07
AII59a	545,50	528,90	518,93	508,89	9,30	8,38	8,20	9,66	8,71	8,63	39,94	39,94	279	0,93
AII59b	631,30	606,40	635,42	621,36	10,23	10,14	10,49	10,68	10,59	11,08	44,57	44,57	280	0,95
AII60a	613,90	605,00	605,58	595,03	13,82	12,25	13,24	14,30	12,67	13,78	42,74	42,74	244	1,11
AII60b	530,10	510,50	519,02	511,13	11,25	10,04	10,36	11,59	10,35	10,77	50,77	50,77	493	0,85
AII61b	646,70	623,10	668,41	649,30	11,98	11,25	11,94	12,66	11,89	12,77	34,90	34,90	329	0,85
AII62b	676,20	653,20	689,38	677,19	15,62	14,30	15,90	16,17	14,81	16,56	61,83	61,83	331	1,05
AII63b	551,30	521,50	556,37	548,13	10,04	9,17	9,23	10,34	9,44	9,58	42,83	35,16	312	0,71
AII64b	596,00	578,10	705,53	695,95	8,76	9,69	9,91	9,00	9,95	10,25	38,54	38,54	309	1,03
AIII53c	489,60	487,90	542,82	542,05	11,42	10,41	10,84	11,45	10,44	10,88	30,63	24,08	276	1,06
AIII01b	611,70	608,00	593,19	582,00	9,98	11,01	11,62	10,36	11,43	12,17	29,82	29,82	226	0,99
AIII01c	559,50	543,00	578,04	570,88	13,74	12,35	13,37	14,08	12,66	13,77	41,01	41,01	205	1,59
AIII02b	611,50	608,50	615,52	602,07	10,36	10,45	10,90	10,82	10,91	11,49	53,48	53,48	409	1,42
AIII02c	610,20	599,80	612,25	604,86	14,26	12,98	14,18	14,60	13,29	14,59	51,10	51,10	244	1,19
AIII03b	525,10	523,20	559,61	550,04	9,92	9,28	9,37	10,26	9,60	9,79	28,72	28,72	206	1,23
AIII03c	601,50	584,10	606,06	590,87	11,40	10,25	10,64	11,97	10,76	11,30	34,89	14,91	169	0,96
AIII04b	543,60	544,40	525,15	517,51	10,17	10,22	10,60	10,47	10,52	10,99	41,44	41,44	262	1,38
AIII04c	596,90	585,60	587,88	578,75	13,09	12,80	13,95	13,50	13,20	14,47	57,08	45,33	386	1,04
AIII05b	605,80	600,00	629,97	612,04	14,21	10,83	11,39	15,01	11,45	12,20	49,50	37,25	359	1,13
AIII05c	601,70	589,60	578,80	572,86	14,10	13,45	14,80	14,39	13,72	15,15	58,26	58,26	352	1,34
AIII06b	657,60	649,40	665,76	655,28	12,22	11,42	12,16	12,61	11,78	12,62	59,69	59,69	339	1,49
AIII06c	606,60	589,90	603,98	595,08	15,14	13,80	15,25	15,59	14,20	15,77	48,55	41,53	229	1,04
AIII07b	543,70	537,40	532,05	524,95	11,16	10,50	10,96	11,46	10,78	11,32	58,73	58,73	433	1,16
AIII07c	582,40	575,10	580,34	573,44	14,01	13,29	14,59	14,34	13,61	15,00	30,71	30,71	223	1,12
AIII08b	580,10	565,60	562,27	552,69	12,38	11,17	11,83	12,80	11,55	12,33	50,50	50,50	314	1,23
AIII08c	539,60	530,10	590,90	579,50	10,63	9,55	9,73	11,04	9,92	10,21	38,17	38,17	471	1,04
AIII09b	593,40	580,40	594,31	580,82	9,93	9,43	9,57	10,38	9,86	10,13	42,15	42,15	267	1,08
AIII09c	604,40	591,10	587,65	575,76	10,19	9,54	9,71	10,60	9,93	10,22	28,04	28,04	309	2,83
AIII10b	549,50	537,20	539,49	528,04	11,01	9,82	10,08	11,48	10,24	10,62	59,53	59,53	359	0,97
AIII10c	630,40	618,40	635,23	621,08	11,13	10,45	10,90	11,63	10,91	11,49	49,59	49,59	390	1,47
AIII11b	622,00	614,50	607,39	596,41	12,30	10,58	11,06	12,74	10,96	11,56	59,14	59,14	271	1,35
AIII11c	595,90	588,80	581,05	571,58	15,24	13,64	15,04	15,73	14,08	15,61	56,28	56,28	371	0,96

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AIII12b	570,10	558,20	547,45	536,97	13,52	11,84	12,70	14,04	12,30	13,30	52,31	52,31	320	1,03
AIII12c	576,10	564,90	541,22	540,46	14,06	13,20	14,47	14,10	13,24	14,52	31,26	22,39	171	1,17
AIII13b	591,80	577,00	570,72	556,11	13,58	12,13	13,08	14,28	12,76	13,90	49,81	41,00	273	1,05
AIII13c	572,70	561,20	575,59	569,66	10,80	10,42	10,86	11,02	10,63	11,13	55,45	55,45	420	1,19
AIII14b	647,40	632,50	682,41	665,00	10,73	10,12	10,47	11,28	10,64	11,14	34,16	34,16	231	1,49
AIII14c	530,40	521,70	520,30	516,71	13,27	11,90	12,78	13,45	12,06	12,99	46,52	46,52	302	1,14
AIII15b	720,60	729,20	639,23	625,98	14,57	12,71	13,83	15,17	13,24	14,52	58,60	58,60	418	1,21
AIII15c	629,30	612,00	623,38	602,04	6,75	7,35	6,87	7,21	7,85	7,52	22,15	22,15	398	
AIII16b	572,30	567,50	509,16	499,24	8,97	9,13	9,18	9,32	9,49	9,65	35,21	35,21	278	0,95
AIII16c	615,30	607,00	646,15	636,59	10,37	10,36	10,78	10,68	10,67	11,18	49,80	49,80	307	0,98
AIII17b	664,50	654,80	655,50	637,55	10,76	9,07	9,10	11,34	9,57	9,75	44,59	32,24	356	1,19
AIII17c	722,10	705,50	691,09	678,58	15,21	13,09	14,33	15,76	13,56	14,94	44,60	44,60	381	1,57
AIII18b	561,10	546,80	581,64	570,30	11,34	11,41	12,14	11,79	11,86	12,73	54,53	54,53	393	1,44
AIII18c	672,40	660,70	693,20	683,18	15,07	13,33	14,64	15,50	13,71	15,13	35,29	24,11	384	1,54
AIII19b	562,90	565,70	565,87	556,47	12,28	11,04	11,66	12,69	11,41	12,14	58,48	38,84	341	1,27
AIII19c	574,70	566,10	559,50	550,95	14,60	12,59	13,68	15,05	12,98	14,18	56,14	56,14	313	1,52
AIII20b	614,30	611,00	640,72	627,62	14,88	12,82	13,98	15,49	13,34	14,65	65,65	65,65	398	0,98
AIII20c	557,80	539,70	573,34	564,84	10,02	9,34	9,45	10,32	9,62	9,82	52,02	52,02	369	1,06
AIII21b	637,90	631,20	615,84	606,34	13,59	11,42	12,16	14,01	11,77	12,61	27,14	27,14	157	1,23
AIII21c	616,00	604,30	580,27	580,68	8,46	9,49	9,65	8,67	9,72	9,95	30,97	30,97	300	1,20
AIII22b	636,10	637,30	611,99	601,42	12,25	11,08	11,71	12,68	11,47	12,22	44,07	25,74	331	1,24
AIII22c	619,20	588,20	611,89	592,16	12,37	11,44	12,18	13,16	12,18	13,14	31,18	31,18	220	1,28
AIII23b	536,50	542,90	555,51	543,85	10,39	9,14	9,19	10,83	9,53	9,70	53,26	53,26	385	1,21
AIII23c	741,30	733,50	745,68	733,50	13,60	12,55	13,63	14,04	12,96	14,16	43,43	43,43	339	1,39
AIII24b	526,90	521,10	577,55	565,51	12,53	11,36	12,08	13,05	11,84	12,70	62,70	62,70	398	1,52
AIII24c	615,30	607,60	597,82	589,42	13,04	12,09	13,03	13,41	12,43	13,47	25,71	25,71	239	1,19
AIII25b	556,40	553,90	563,30	550,89	11,00	9,94	10,23	11,49	10,38	10,80	49,81	49,81	346	0,97
AIII25c	625,40	612,30	628,11	618,62	16,18	13,95	15,45	16,67	14,37	15,99	54,73	54,73	304	1,14
AIII26b	513,80	508,20	522,50	513,49	10,48	10,16	10,52	10,85	10,51	10,97	51,56	51,56	364	1,20
AIII26c	607,00	590,60	657,41	646,90	12,57	11,22	11,90	12,97	11,58	12,36	43,60	43,60	284	1,18
AIII27b	641,40	639,50	655,97	637,86	10,83	9,45	9,60	11,42	9,97	10,27	61,42	61,42	399	1,36
AIII27c	539,10	533,80	515,62	508,88	12,03	10,91	11,49	12,34	11,19	11,86	36,49	36,49	352	1,00
AIII28b	571,50	560,40	567,15	554,81	12,60	11,33	12,04	13,15	11,83	12,69	57,15	57,15	332	1,38
AIII28c	547,90	541,90	593,74	588,69	11,90	10,60	11,09	12,10	10,78	11,32	42,25	42,25	307	1,38
AIII29b	651,50	640,10	653,33	643,74	11,30	10,63	11,13	11,63	10,94	11,53	66,35	66,35	415	1,45
AIII29c	621,70	604,20	647,84	636,23	14,24	13,41	14,74	14,75	13,89	15,37	59,84	59,84	388	1,11
AIII30b	540,90	537,40	538,70	529,98	11,93	10,97	11,57	12,31	11,32	12,03	57,02	57,02	299	1,11
AIII30c	643,70	626,00	668,05	658,73	12,28	10,94	11,53	12,62	11,25	11,94	56,71	46,30	419	1,38
AIII31b	537,60	525,80	569,41	556,33	12,32	11,53	12,30	12,88	12,06	12,99	53,43	53,43	323	1,43
AIII31c	653,70	636,40	721,50	704,27	12,38	11,02	11,64	12,98	11,55	12,33	56,44	56,44	420	1,32
AIII32b	643,90	625,00	630,53	614,17	12,06	11,01	11,62	12,69	11,58	12,36	65,04	65,04	390	1,33
AIII32c	587,40	574,50	590,88	575,79	11,06	10,25	10,64	11,63	10,78	11,32	51,73	51,73	350	1,08
AIII33b	574,30	566,00	528,16	517,59	11,47	9,97	10,27	11,93	10,37	10,79	46,83	46,83	282	1,13
AIII33c	536,90	532,10	534,36	526,98	11,42	10,60	11,09	11,73	10,89	11,47	42,89	42,89	308	1,31
AIII34b	540,20	536,70	583,52	573,86	11,17	10,61	11,10	11,54	10,96	11,56	59,23	59,23	312	1,47
AIII35b	570,10	563,90	593,78	583,03	13,06	12,05	12,98	13,53	12,49	13,55	58,08	58,08	413	1,11
AIII35c	586,40	577,00	575,89	569,32	12,93	12,03	12,95	13,22	12,31	13,31	47,99	47,99	268	1,28
AIII36b	640,30	641,30	637,24	625,33	12,40	11,52	12,29	12,87	11,95	12,85	55,05	55,05	375	1,25
AIII36c	586,20	573,60	599,31	589,28	14,19	12,53	13,60	14,67	12,95	14,15	46,00	46,00	364	1,20
AIII37b	613,40	616,40	654,36	643,61	15,31	13,55	14,93	15,82	13,99	15,50	54,05	54,05	250	1,21
AIII37c	598,60	589,90	572,56	564,95	14,82	12,56	13,64	15,22	12,89	14,07	58,51	58,51	426	1,07
AIII38b	584,50	583,90	571,36	565,57	13,53	12,29	13,29	13,81	12,54	13,61	55,72	55,72	317	1,24
AIII38c	603,70	593,70	643,94	634,94	14,52	13,64	15,04	14,93	14,02	15,54	25,08	25,08	140	1,21
AIII39b	630,40	631,00	603,56	592,53	11,35	10,09	10,43	11,76	10,46	10,91	61,64	61,64	362	1,31
AIII40b	734,50	743,40	536,84	525,97	11,14	9,99	10,30	11,59	10,39	10,82	40,21	40,21	322	1,25
AIII41b	549,30	538,60	570,62	557,16	13,45	12,05	12,98	14,09	12,62	13,72	57,85	57,85	314	1,16
AIII41c	557,90	547,00	566,26	558,50	11,32	10,44	10,88	11,63	10,72	11,25	36,69	36,69	214	1,35
AIII42b	631,50	607,20	628,98	600,55	10,83	8,27	8,06	11,81	9,01	9,02	19,71	19,71	301	0,86
AIII42c	544,20	538,00	540,06	537,53	11,72	10,75	11,29	11,83	10,85	11,42	32,08	25,76	225	1,46

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AIII43b	622,60	604,20	638,76	599,47	9,70	8,82	8,78	10,62	9,66	9,87	36,32	36,32	336	1,27
AIII43c	552,20	550,30	551,56	548,62	12,90	11,69	12,51	13,04	11,82	12,68	55,48	55,48	385	1,22
AIII44b	586,60	591,90	600,94	591,19	12,27	11,76	12,60	12,67	12,14	13,09	60,11	60,11	356	1,26
AIII44c	534,30	532,70	551,91	547,18	14,51	12,51	13,57	14,76	12,72	13,85	66,43	66,43	402	1,22
AIII45b	587,90	578,50	609,79	592,52	11,07	10,06	10,39	11,70	10,63	11,13	40,81	40,81	264	1,22
AIII45c	643,30	636,80	672,03	668,11	14,95	13,93	15,42	15,13	14,09	15,63	44,02	44,02	244	1,78
AIII46b	586,80	581,80	612,82	600,55	11,49	11,76	12,60	11,95	12,23	13,21	57,64	57,64	377	1,86
AIII46c	668,80	666,20	664,44	659,38	15,16	13,75	15,19	15,39	13,96	15,46	64,64	64,64	385	2,87
AIII47b	586,80	576,80	598,41	584,55	10,15	9,27	9,36	10,62	9,70	9,92	25,60	25,60	150	0,91
AIII47c	542,70	537,80	529,50	528,28	16,11	14,24	15,82	16,19	14,31	15,91	64,85	64,85	294	1,45
AIII48b	562,30	559,50	574,33	562,01	10,57	9,49	9,65	11,02	9,90	10,18	40,67	24,37	248	1,11
AIII48c	656,20	648,90	650,65	646,04	14,96	14,61	16,30	15,17	14,81	16,56	48,71	48,71	309	1,74
AIII49b	602,70	604,20	618,02	605,89	10,44	9,78	10,02	10,85	10,16	10,52	49,51	49,51	276	1,50
AIII49c	584,00	578,10	529,89	525,72	9,67	9,14	9,19	9,82	9,28	9,37	36,81	30,59	302	1,20
AIII50b	601,60	584,20	556,19	545,08	10,21	9,27	9,36	10,62	9,64	9,84	50,85	50,85	404	1,21
AIII50c	601,30	595,30	574,53	570,91	12,44	10,97	11,57	12,60	11,11	11,75	30,81	30,81	214	1,39
AIII51b	615,20	599,80	585,42	572,16	12,81	11,77	12,61	13,39	12,30	13,30	63,64	63,64	358	0,89
AIII51c	563,10	556,30	582,70	578,43	10,66	10,70	11,22	10,81	10,86	11,43	31,86	15,18	237	1,00
AIII52b	623,60	607,40	608,88	594,47	12,87	12,22	13,20	13,48	12,80	13,95	52,03	52,03	290	1,55
AIII52c	525,50	522,30	506,58	506,29	12,80	11,57	12,35	12,82	11,59	12,38	52,95	52,95	337	1,15
AIII53b	617,00	612,60	640,86	624,16	11,16	10,71	11,23	11,74	11,27	11,96	46,90	46,90	308	1,10
AIII54b	692,40	692,10	627,16	608,62	12,95	11,97	12,87	13,71	12,68	13,79	63,31	63,31	344	1,26
AIII54c	601,00	596,50	538,57	537,94	13,02	11,67	12,48	13,05	11,70	12,52	40,73	40,73	287	2,37
AIII55b	614,80	599,80	608,96	595,86	10,69	11,88	12,75	11,15	12,39	13,42	34,89	34,89	297	0,96
AIII55c	574,30	571,40	547,82	546,58	12,59	11,55	12,33	12,65	11,60	12,39	31,66	31,66	196	1,86
AIII56b	540,40	536,40	578,89	567,51	12,59	11,24	11,92	13,08	11,68	12,49	39,45	39,45	211	1,52
AIII56c	544,80	542,90	539,99	539,00	12,46	11,02	11,64	12,51	11,06	11,69	25,82	17,24	195	1,74
AIII57b	575,80	569,50	619,44	603,86	12,12	11,42	12,16	12,73	12,00	12,91	55,24	55,24	377	0,97
AIII57c	550,30	548,60	529,69	528,24	13,03	11,42	12,16	13,10	11,48	12,23	52,16	52,16	263	1,60
AIII58b	619,00	610,10	640,49	622,58	11,96	10,92	11,51	12,63	11,53	12,30	47,39	47,39	291	1,33
AIII58c	539,10	534,00	508,80	509,41	12,01	10,68	11,19	11,98	10,66	11,17	17,31	14,97	120	1,65
AIII59b	613,10	609,40	635,93	622,91	11,95	10,63	11,13	12,44	11,06	11,69	41,70	41,70	234	1,19
AIII59c	490,50	487,10	504,63	673,19	10,60	8,85	8,82	10,62	8,87	8,84	29,55	29,55	175	1,18
AIII60b	587,40	582,10	555,16	543,47	11,48	10,13	10,48	11,97	10,56	11,04	45,96	45,96	369	1,07
AIII60c	585,70	585,70	582,18	580,43	13,01	10,74	11,27	13,08	10,81	11,36	26,53	24,43	261	1,22
AIII61b	708,60	699,80	727,59	696,68	14,04	11,76	12,60	15,23	12,76	13,90	39,48	39,48	437	1,08
AIII61c	564,50	563,60	551,40	551,69	12,99	11,89	12,77	12,98	11,88	12,75	37,21	37,21	240	1,41
AIII62b	722,40	717,30	700,87	672,76	12,71	11,21	11,88	13,73	12,11	13,05	52,24	52,24	270	0,95
AIII62c	629,10	628,20	591,08	591,58	9,72	9,36	9,48	9,71	9,35	9,47	34,85	34,85	272	1,21
AIII63b	549,40	542,80	567,99	555,25	11,64	11,73	12,56	12,16	12,25	13,24	43,15	43,15	236	1,07
AIII63c	558,90	559,40	564,55	563,79	14,37	12,89	14,07	14,41	12,92	14,11	47,86	47,86	243	1,64
AIII64b	545,00	535,20	552,04	540,56	11,52	10,49	10,95	12,00	10,93	11,52	58,75	58,75	360	1,05
AIII64c	582,20	575,30	580,01	575,77	12,99	12,00	12,91	13,18	12,18	13,14	55,58	55,58	281	1,44
AIII65b	601,40	602,00	583,15	572,61	12,79	12,01	12,92	13,25	12,44	13,48	54,73	50,54	331	1,36
AIII65c	724,00	721,20	713,22	704,78	10,55	13,34	14,65	10,80	13,65	15,06	52,15	52,15	272	1,57
AIII66b	612,10	601,70	611,93	600,63	11,82	11,25	11,94	12,25	11,67	12,48	32,10	32,10	205	1,28
AIII66c	546,10	545,20	562,60	562,19	12,24	10,94	11,53	12,26	10,96	11,56	41,62	41,62	232	1,72
AIII67b	554,90	540,50	543,60	533,82	12,66	11,21	11,88	13,11	11,62	12,42	41,30	41,30	227	1,11
AIII67c	583,10	579,30	552,69	548,14	11,30	10,83	11,39	11,48	11,00	11,61	45,62	45,62	337	1,85
AIII68b	602,20	602,20	584,83	573,65	13,05	11,56	12,34	13,55	12,00	12,91	38,98	38,98	279	0,99
AIII68c	538,40	533,00	512,23	508,46	11,89	10,15	10,51	12,06	10,30	10,70	30,94	30,94	175	1,73
AIII69b	615,40	617,00	588,49	578,67	12,76	11,64	12,44	13,19	12,02	12,94	57,02	57,02	333	1,27
AIII69c	578,30	573,40	618,52	611,71	11,61	11,77	12,61	11,87	12,03	12,95	41,97	41,97	325	1,45
AIII70b	589,60	587,80	627,13	612,95	11,26	11,12	11,77	11,77	11,62	12,42	53,41	53,41	269	1,57
AIII70c	578,20	573,30	586,17	581,06	14,76	12,84	14,00	15,01	13,07	14,30	46,71	36,98	254	1,38
AIII71b	604,90	584,00	619,85	605,28	13,95	13,21	14,48	14,61	13,83	15,29	61,40	61,40	438	1,02
AIII71c	614,70	612,30	662,75	661,34	11,86	12,52	13,59	11,91	12,57	13,65	36,81	34,12	330	2,11
AIII72b	563,60	543,00	535,40	524,20	11,46	10,66	11,17	11,94	11,10	11,74	51,92	51,92	276	1,41
AIII72c	520,50	518,90	526,49	525,26	14,39	13,10	14,34	14,46	13,16	14,42	60,15	60,15	283	1,13

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
AIII73b	582,90	564,50	589,38	574,91	11,22	10,06	10,39	11,77	10,55	11,03	38,34	38,34	244	1,47
AIII73c	586,60	581,00	629,79	626,54	12,51	11,70	12,52	12,63	11,82	12,68	58,72	58,72	319	1,75
AIII74b	605,50	582,50	574,26	560,23	11,47	9,96	10,26	12,03	10,45	10,90	28,36	28,36	232	0,97
AIII74c	567,40	562,00	568,25	564,94	12,18	11,37	12,09	12,32	11,50	12,26	52,32	52,32	250	1,68
AIII75b	612,20	596,30	591,77	568,09	12,84	11,74	12,57	13,87	12,68	13,79	52,07	52,07	377	1,03
AIII75c	523,20	516,70	525,53	523,19	11,45	9,89	10,17	11,56	9,98	10,28	24,12	24,12	137	1,28
AIII76b	625,90	606,20	619,83	605,38	10,54	8,74	8,67	11,03	9,15	9,21	32,83	32,83	300	1,12
AIII77b	591,70	575,50	574,61	557,23	10,67	9,98	10,28	11,32	10,58	11,06	47,53	47,53	322	1,25
AIII78b	616,40	594,80	604,69	583,18	10,72	9,40	9,53	11,48	10,07	10,40	31,26	25,74	229	1,26
AIII79b	524,80	505,10	540,16	527,81	10,55	11,29	11,99	11,03	11,81	12,66	32,26	32,26	204	0,92
AIII80b	581,90	568,50	555,14	534,57	10,97	10,22	10,60	11,78	10,98	11,58	31,03	31,03	208	1,16
AIII81b	606,70	591,80	586,67	571,55	12,97	11,50	12,26	13,64	12,09	13,03	50,58	50,58	359	1,06
AIII82b	609,10	595,40	592,33	575,38	11,71	10,44	10,88	12,38	11,04	11,66	41,94	41,94	187	1,21
AIII83b	549,60	536,70	529,31	519,18	10,06	9,95	10,25	10,44	10,33	10,74	39,21	39,21	326	1,08
AIII84b	638,60	621,30	616,58	599,45	11,17	10,92	11,51	11,79	11,52	12,29	60,93	60,93	424	1,24
AIII85b	612,10	602,00	599,69	582,66	11,54	11,02	11,64	12,20	11,65	12,46	46,60	37,27	318	0,94
AIII86b	757,80	766,90	566,84	549,77	11,20	10,40	10,83	11,87	11,03	11,65	29,76	29,76	151	1,32
AIII87b	741,40	750,30	557,03	537,96	11,62	11,13	11,78	12,42	11,89	12,77	41,42	41,42	234	1,11
AIII88b	615,90	599,60	601,47	582,16	12,67	11,55	12,33	13,49	12,30	13,30	40,27	40,27	317	
AIII90b	621,10	598,80	558,16	547,69	10,70	10,50	10,96	11,10	10,90	11,48	52,57	52,57	315	1,24
EI01	653,40	640,70	633,35	632,38	16,28	14,44	16,08	16,33	14,49	16,15	77,08	39,81	299	1,17
EI02	632,80	613,50	653,03	641,88	12,59	10,75	11,29	13,02	11,12	11,77	47,25	43,24	330	1,01
EI03	671,10	656,00	666,91	664,24	17,16	15,10	16,94	17,30	15,22	17,10	79,66	79,66	339	1,09
EI04	550,50	542,00	597,30	594,21	10,94	9,99	10,30	11,06	10,09	10,43	48,16	26,91	359	0,89
EI05	575,70	561,60	545,45	546,45	12,38	12,23	13,21	12,34	12,19	13,16	46,81	46,81	266	1,17
EI06	521,90	512,30	510,60	512,51	13,44	10,98	11,58	13,34	10,90	11,48	49,95	27,49	420	0,84
EI07	667,90	650,50	645,80	644,30	13,28	12,36	13,38	13,34	12,42	13,46	64,31	64,31	380	1,65
EI08	612,30	599,10	643,32	640,21	13,34	11,84	12,70	13,46	11,96	12,86	57,57	57,57	281	1,33
EI09	624,60	611,80	600,99	601,21	10,06	10,20	10,57	10,05	10,19	10,56	40,80	40,80	224	1,06
EI10	622,90	608,90	648,31	641,94	15,33	13,60	14,99	15,63	13,86	15,33	48,63	48,63	185	1,54
EI11	661,50	647,60	626,46	626,75	15,89	14,47	16,12	15,87	14,46	16,11	67,72	54,50	224	1,19
EI12	659,80	645,60	638,91	639,20	14,87	14,46	16,11	14,86	14,45	16,10	85,37	85,37	420	1,23
EI13	598,50	586,20	634,03	635,74	13,94	12,50	13,56	13,87	12,43	13,47	58,65	58,65	252	1,34
EI14	612,50	605,80	646,88	648,77	14,15	12,86	14,03	14,07	12,79	13,94	79,48	79,48	393	0,95
EI15	600,60	591,30	716,67	711,66	14,64	12,79	13,94	14,85	12,97	14,17	61,28	54,51	346	1,58
EI16	565,20	561,00	569,63	573,61	14,06	12,57	13,65	13,87	12,40	13,43	70,16	49,28	294	1,28
EI17	584,10	578,80	620,71	622,83	14,05	13,29	14,59	13,96	13,20	14,47	60,99	60,99	266	1,15
EI18	663,80	648,50	687,28	685,56	16,14	14,38	16,00	16,22	14,45	16,10	71,04	63,79	327	1,11
EI19	603,60	600,00	657,72	658,72	13,05	12,67	13,78	13,01	12,63	13,73	47,54	47,54	222	1,23
EI20	655,10	643,40	662,45	663,26	15,66	13,35	14,67	15,62	13,32	14,63	53,45	45,72	223	1,08
EI21	543,30	539,80	514,58	516,31	11,60	11,31	12,01	11,52	11,23	11,91	63,63	63,63	296	1,12
EI22	669,50	657,10	750,12	744,62	17,43	15,14	16,99	17,68	15,37	17,29	65,89	51,32	301	1,03
EI23	652,60	647,10	650,85	652,55	15,65	13,75	15,19	15,57	13,68	15,09	51,45	39,63	229	1,01
EI24	622,00	617,40	612,58	613,93	8,29	9,93	10,22	8,25	9,89	10,17	56,14	56,14	342	
EI25	580,80	575,80	597,60	600,63	13,92	11,32	12,03	13,78	11,20	11,87	42,16	42,16	239	1,26
EI26	617,20	611,10	593,62	597,32	14,78	13,72	15,15	14,60	13,55	14,93	57,95	57,95	416	1,08
EI27	507,00	505,40	505,61	509,50	13,62	12,05	12,98	13,41	11,87	12,74	64,64	64,64	317	0,88
EI28	651,40	643,90	666,23	665,85	11,50	11,66	12,47	11,52	11,67	12,48	42,06	42,06	219	1,05
EI29	645,20	637,50	636,25	632,30	12,21	11,55	12,33	12,36	11,70	12,52	56,56	56,56	256	0,89
EI30	634,20	625,90	637,30	634,98	15,47	14,17	15,73	15,58	14,28	15,87	67,40	67,40	256	0,95
EI31	563,00	559,30	589,45	592,80	15,09	14,36	15,98	14,92	14,20	15,77	75,93	75,93	308	0,99
EI32	587,20	579,90	580,24	581,10	14,99	14,06	15,59	14,95	14,02	15,54	80,58	80,58	372	1,23
EI33	523,70	518,20	570,42	570,41	13,49	12,68	13,79	13,49	12,69	13,81	69,32	69,32	396	1,07
EI34	606,40	603,90	626,60	628,93	15,50	14,08	15,61	15,38	13,98	15,48	84,60	84,60	407	0,99
EI35	511,90	504,50	566,44	564,53	13,91	12,35	13,37	14,00	12,44	13,48	67,98	61,62	296	0,86
EI36	622,20	612,90	596,80	598,54	9,97	10,92	11,51	9,92	10,85	11,42	35,93	35,93	194	0,95
EI37	608,90	598,50	628,47	627,38	14,51	12,15	13,11	14,56	12,20	13,17	59,13	59,13	217	1,06
EI38	646,50	636,10	655,20	655,14	14,99	13,31	14,61	14,99	13,31	14,61	89,82	89,82	399	1,13
EI39	642,70	638,80	679,86	681,04	17,68	15,98	18,08	17,62	15,93	18,02	74,06	74,06	315	1,01

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
EI40	580,90	575,10	552,54	556,25	13,28	11,94	12,83	13,10	11,78	12,62	60,58	60,58	266	1,09
EI41	560,30	554,10	654,62	656,73	11,58	12,26	13,25	11,50	12,18	13,14	28,65	28,65	117	1,78
EI42	574,20	569,60	551,73	554,46	15,94	13,95	15,45	15,79	13,81	15,26	47,87	47,87	187	1,05
EI43	643,60	627,50	631,81	630,02	16,37	14,26	15,85	16,47	14,34	15,95	88,96	88,96	360	0,98
EI44	668,10	661,10	679,98	677,54	10,15	10,89	11,47	10,23	10,97	11,57	48,94	48,94	195	1,13
EI45	707,70	702,10	684,93	684,97	14,81	11,49	12,25	14,81	11,48	12,23	31,47	31,47	285	1,10
EII02	635,70	619,10	596,89	599,58	13,89	12,67	13,78	13,77	12,56	13,64	60,09	60,09	288	1,05
EII03	626,90	612,50	630,64	629,15	14,64	14,32	15,93	14,71	14,38	16,00	71,74	71,74	366	1,05
EII04	630,20	628,00	629,50	629,09	14,89	15,14	16,99	14,91	15,16	17,02	69,29	69,29	369	1,14
EII05	579,40	562,90	584,82	584,65	15,00	13,59	14,98	15,01	13,60	14,99	53,74	53,74	443	0,86
EII06	576,40	560,50	594,49	596,62	16,60	15,12	16,97	16,48	15,01	16,82	67,17	67,17	306	0,96
EII07	533,80	522,30	585,55	588,21	13,13	11,55	12,33	13,01	11,45	12,20	37,56	34,77	182	1,01
EII08	598,70	577,40	568,36	568,31	11,90	12,22	13,20	11,90	12,23	13,21	60,32	60,32	320	1,26
EII09	610,70	593,00	601,19	601,35	14,29	13,11	14,35	14,28	13,10	14,34	64,83	64,83	369	1,34
EII10	617,80	602,70	612,11	614,17	12,81	12,51	13,57	12,72	12,43	13,47	57,24	57,24	281	1,15
EII11	608,90	587,30	587,73	584,70	10,32	10,82	11,38	10,43	10,93	11,52	35,96	35,96	274	0,90
EII12	570,20	547,90	596,15	594,67	6,89	8,23	8,01	6,92	8,27	8,06	32,23	32,23	331	1,32
EII13	560,90	544,10	551,95	553,62	15,26	13,76	15,20	15,16	13,68	15,09	58,82	58,82	409	0,99
EII14	569,30	552,50	550,84	550,89	15,05	12,93	14,12	15,05	12,93	14,12	53,39	50,95	242	1,28
EII15	585,30	569,20	661,44	663,96	14,20	14,06	15,59	14,10	13,95	15,45	45,47	45,47	218	1,50
EII16	625,50	608,30	654,71	654,77	12,35	10,41	10,84	12,35	10,41	10,84	29,66	27,29	139	0,97
EII17	645,10	625,10	637,31	636,24	13,23	10,77	11,31	13,28	10,80	11,35	22,13	22,13	163	0,98
EII18	576,30	555,30	582,65	581,21	11,99	11,09	11,73	12,05	11,14	11,79	56,72	56,72	359	1,14
EII19	603,60	587,30	632,49	635,20	16,12	14,45	16,10	15,98	14,33	15,94	59,09	51,33	272	1,42
EII20	535,40	520,10	555,87	541,03	10,17	9,58	9,76	10,26	9,66	9,87	40,81	40,81	244	1,06
EII21	610,60	591,10	598,73	593,23	14,69	13,04	14,26	14,96	13,28	14,57	57,33	47,55	403	1,08
EII22	561,50	554,20	553,29	554,93	15,07	13,98	15,48	14,98	13,90	15,38	66,36	66,36	380	1,17
EII23	638,20	625,70	662,25	657,13	16,18	14,32	15,93	16,43	14,54	16,21	62,11	62,11	295	1,38
EII24	627,40	618,00	704,25	702,43	11,80	11,98	12,88	11,86	12,04	12,96	42,85	41,15	255	1,06
EII25	581,80	577,40	563,21	564,54	15,51	14,53	16,20	15,43	14,46	16,11	62,66	62,66	341	1,18
EII26	568,90	562,70	563,91	565,90	14,53	12,28	13,27	14,43	12,20	13,17	23,86	23,86	177	1,19
EII27	556,50	556,30	598,31	597,93	13,95	12,42	13,46	13,97	12,43	13,47	55,61	55,61	323	1,20
EII28	592,80	586,00	614,07	610,14	11,78	11,28	11,97	11,93	11,42	12,16	36,65	36,65	218	1,12
EII29	574,40	558,90	559,46	553,32	11,84	10,49	10,95	12,10	10,72	11,25	51,35	51,35	415	1,05
EII30	529,80	527,70	545,97	547,52	12,95	11,25	11,94	12,88	11,19	11,86	33,72	26,05	212	0,88
EII31	560,60	555,80	586,42	585,13	13,96	11,95	12,85	14,02	12,01	12,92	55,13	55,13	461	0,96
EII32	567,00	561,10	556,82	557,79	14,32	13,66	15,07	14,27	13,62	15,02	66,09	66,09	420	0,94
EII33	619,10	606,40	602,02	597,20	14,48	12,96	14,16	14,71	13,16	14,42	48,52	40,25	256	1,16
EII34	621,00	615,40	605,08	605,50	14,86	13,97	15,47	14,84	13,95	15,45	41,19	41,19	248	1,43
EII35	544,50	539,90	552,37	554,07	14,60	12,95	14,15	14,51	12,87	14,04	60,52	60,52	392	0,96
EII36	602,90	592,60	602,33	601,96	13,75	12,82	13,98	13,77	12,83	13,99	51,55	33,09	284	1,17
EII37	576,20	570,70	584,86	586,33	15,40	12,81	13,96	15,32	12,75	13,89	59,50	59,50	429	1,20
EII38	592,70	587,00	596,78	598,45	17,06	14,68	16,39	16,96	14,60	16,29	68,27	68,27	381	1,43
EII39	593,00	583,60	622,83	621,62	14,06	12,86	14,03	14,11	12,91	14,09	70,28	70,28	414	1,10
EII40	610,30	598,70	612,16	608,25	13,45	11,81	12,66	13,62	11,96	12,86	51,78	51,78	258	1,14
EII41	538,90	533,20	525,22	525,60	10,08	9,30	9,40	10,06	9,29	9,39	26,96	26,96	160	1,07
EII42	600,10	589,00	623,35	619,52	12,45	11,32	12,03	12,61	11,46	12,21	53,99	53,99	354	1,26
EII43	525,10	512,50	609,23	608,60	12,41	11,82	12,68	12,44	11,84	12,70	38,62	38,62	291	1,29
EII44	633,30	626,10	639,63	637,28	13,36	11,66	12,47	13,46	11,74	12,57	38,04	38,04	268	0,64
EII45	629,00	607,60	674,37	668,80	13,66	10,98	11,58	13,89	11,16	11,82	53,58	53,58	336	1,06
EII46	554,10	533,80	565,53	562,77	14,39	12,04	12,96	14,53	12,16	13,12	46,48	46,48	226	0,88
EII47	641,60	618,80	662,18	658,98	16,96	15,53	17,50	17,12	15,68	17,69	67,67	67,67	402	1,08
EII48	601,30	583,30	586,56	584,90	14,17	13,46	14,81	14,25	13,54	14,91	36,95	36,95	182	1,06
EII49	616,90	598,70	601,82	598,23	15,19	11,90	12,78	15,37	12,04	12,96	52,48	45,89	300	1,02
EII50	611,30	593,30	641,62	642,35	11,54	9,04	9,06	11,52	9,02	9,04	23,64	23,64	273	1,03
LI01	609,47	597,58	572,61	568,23	9,92	9,98	10,28	10,07	10,13	10,48	37,79	37,79	211	1,59
LI02	602,81	583,82	703,52	690,03	11,37	10,60	11,09	11,81	11,01	11,62	52,58	52,58	260	1,06
LI03	651,48	637,15	634,28	627,22	11,13	10,32	10,73	11,38	10,55	11,03	64,99	64,99	390	1,70
LI04	666,67	657,67	622,12	616,50	14,06	12,19	13,15	14,32	12,41	13,44	68,65	68,65	253	1,10

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
LI05	634,24	619,34	598,24	591,45	11,93	11,28	11,98	12,20	11,54	12,31	69,20	69,20	361	1,11
LI06	617,15	596,17	575,01	568,78	8,46	7,97	7,67	8,65	8,14	7,90	45,82	28,04	345	0,77
LI07	618,47	606,72	611,87	606,68	10,34	10,13	10,48	10,52	10,30	10,71	53,11	53,11	378	1,12
LI08	712,24	686,24	693,83	680,70	15,60	13,73	15,15	16,19	14,25	15,83	68,42	68,42	247	1,17
LI09	584,72	575,95		575,95		10,59	11,07		10,62	11,11	48,46	48,46	307	
LI10	687,98	662,53	741,51	726,76	8,46	10,07	10,40	8,80	10,47	10,92	30,93	30,93	188	1,79
LI11	601,44	590,62	627,68	624,25	12,94	11,95	12,85	13,08	12,08	13,02	66,59	66,59	297	1,08
LI12	706,74	683,42	655,65	645,35	12,90	12,32	13,32	13,30	12,70	13,82	80,58	80,58	398	1,15
LI13	643,09	626,69	632,36	624,97	12,08	11,66	12,47	12,36	11,94	12,83	73,20	73,20	420	1,12
LI14	594,24	586,22		586,22		11,75	12,59		11,75	12,59	59,55	59,55	284	
LI15	601,93	595,91	662,73	658,46	12,24	10,97	11,57	12,39	11,11	11,75	59,68	59,68	327	1,08
LI16	597,59	588,93		588,93		11,28	11,97		11,30	12,00	45,94	45,94	183	
LI17	591,89	584,50	622,72	617,21	11,40	10,63	11,13	11,60	10,82	11,37	43,45	39,78	181	0,99
LI18	586,78	574,46	577,60	573,92	12,90	12,00	12,90	13,07	12,15	13,10	68,20	68,20	491	1,02
LI19	628,45	603,62	623,09	616,70	10,83	10,11	10,46	11,05	10,32	10,73	45,05	45,05	219	0,87
LI20	715,99	694,86	648,04	639,03	11,66	10,36	10,77	11,98	10,64	11,15	69,74	57,98	411	1,33
LI21	640,00	630,72	610,03	604,24	13,30	11,77	12,61	13,55	11,99	12,90	62,72	40,50	243	1,06
LI22	581,86	572,84	557,83	553,46	10,62	9,85	10,12	10,78	10,01	10,32	48,44	48,44	203	0,99
LI23	580,09	560,36	673,93	665,24	7,74	8,47	8,32	7,94	8,69	8,61	24,92	24,92	134	1,06
LI24	612,21	600,89		600,89		10,03	10,35		10,13	10,48	51,80	51,80	386	
LI25	550,00	542,30	522,18	518,69	10,96	9,50	9,66	11,11	9,63	9,83	46,17	46,17	261	0,83
LI26	622,35	602,43	636,55	629,40	10,13	10,45	10,89	10,36	10,68	11,20	56,15	56,15	370	0,98
LI27	523,71	515,59		515,59		8,98	8,98		9,01	9,02	34,63	34,63	211	
LI28	644,15	623,85	655,10	645,95	13,26	12,92	14,11	13,63	13,28	14,58	62,47	62,47	345	1,08
LI29	616,12	595,48	590,47	576,59	10,16	9,31	9,42	10,63	9,75	9,99	35,94	32,61	326	0,81
LI30	704,93	683,78	728,46	720,01	11,41	10,69	11,20	11,67	10,94	11,53	40,91	40,91	215	1,07
LI31	634,23	615,21	591,97	585,87	11,67	11,65	12,45	11,91	11,89	12,77	53,12	53,12	261	1,26
LI32	611,71	598,26	595,55	589,26	10,98	10,83	11,39	11,21	11,06	11,69	49,35	49,35	265	1,32
LI33	610,00	598,41	591,92	586,90	10,08	10,02	10,34	10,25	10,19	10,56	35,36	35,36	175	1,08
LI34	682,40	658,86	647,85	637,29	11,28	9,31	9,41	11,65	9,61	9,80	31,14	31,14	234	1,12
LI35	639,43	614,81	686,42	668,49	10,51	10,68	11,19	11,06	11,24	11,92	50,84	50,84	272	1,45
LI37	665,44	647,80	619,85	614,37	12,07	12,55	13,63	12,28	12,77	13,92	72,63	65,15	285	1,94
LI38	607,74	584,65	594,14	586,89	11,45	10,94	11,53	11,73	11,20	11,87	47,78	47,78	253	1,10
LI39	672,55	655,73	674,20	664,87	11,31	10,58	11,06	11,62	10,87	11,44	59,54	59,54	343	1,37
LI40	576,26	569,06		569,06		9,57	9,75		9,55	9,73	52,49	52,49	296	
LI41	697,86	683,90		683,90		16,05	18,17		16,26	18,44	64,70	64,70	285	
LI42	686,23	673,19		673,19		14,61	16,30		14,77	16,51	56,61	56,61	262	
LI43	607,98	599,47		599,47		10,29	10,68		10,30	10,70	53,10	53,10	248	
LI44	628,07	622,73		622,73		10,40	10,83		10,29	10,69	39,68	39,68	369	
LI45	697,86	689,48		689,48		13,02	14,24		12,98	14,19	65,39	65,39	322	
LI46	665,62	654,30		654,30		13,70	15,13		13,80	15,25	58,92	58,92	218	
LI47	589,22	580,68		580,68		13,04	14,26		13,06	14,29	65,55	65,55	276	
LI48	549,83	541,03		541,03		10,56	11,04		10,61	11,11	43,07	43,07	291	
LI49	556,78	549,26		549,26		9,76	10,00		9,76	10,00	40,94	40,94	256	
LI50	653,06	643,27		643,27		11,75	12,58		10,34	10,75	57,91	57,91	240	
CI02	554,50	557,00	595,73	596,13	12,54	10,91	11,49	12,52	10,90	11,48	54,35	54,35	296	1,15
CI03	524,30	528,00	533,21	536,92	11,43	10,88	11,45	11,27	10,73	11,26	69,24	69,24	352	1,34
CI04	574,30	575,70	562,05	565,46	12,65	11,78	12,62	12,49	11,64	12,44	58,27	58,27	378	1,22
CI05	574,30	577,10	560,86	562,83	8,89	8,03	7,75	8,82	7,97	7,67	33,70	33,70	221	1,41
CI06	549,60	550,70	537,35	537,77	11,65	10,16	10,52	11,63	10,14	10,49	54,21	54,21	229	1,09
CI07	560,00	561,10	540,77	543,14	12,48	11,89	12,77	12,37	11,78	12,62	62,39	62,39	303	1,11
CI08	544,60	546,50	539,79	543,05	13,92	12,17	13,13	13,75	12,02	12,94	53,43	53,43	219	0,95
CI09	531,30	532,30	536,88	538,87	12,65	11,38	12,10	12,55	11,29	11,99	61,46	61,46	302	1,16
CI10	613,90	615,10	650,23	651,75	13,18	10,50	10,96	13,12	10,46	10,91	22,31	18,80	414	1,15
CI11	570,50	571,90	571,61	573,80	12,95	10,37	10,79	12,85	10,29	10,69	36,42	36,42	257	1,10
CI12	580,50	580,80	565,93	568,57	10,28	10,27	10,66	10,19	10,17	10,53	33,74	33,74	254	1,15
CI13	531,30	533,90	634,67	637,26	12,15	10,58	11,06	12,05	10,50	10,96	50,95	50,95	312	1,12
CI14	569,90	572,50	611,05	613,83	10,55	10,40	10,83	10,45	10,30	10,70	42,43	42,43	246	1,50
CI15	630,00	630,60	594,28	597,83	11,93	10,28	10,67	11,78	10,16	10,52	63,33	63,33	412	1,63

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
CI16	570,00	573,10	499,01	501,75	12,56	11,16	11,82	12,42	11,04	11,66	62,51	62,51	383	1,12
CI17	512,00	514,50	503,93	506,27	10,70	10,58	11,06	10,60	10,48	10,93	55,87	55,87	373	1,14
CI18	610,00	611,80	604,41	607,52	12,34	10,79	11,34	12,21	10,68	11,19	74,66	74,66	408	1,43
CI19	554,50	556,10	531,19	533,86	12,32	11,17	11,83	12,19	11,05	11,68	58,99	58,99	299	1,49
CI20	574,30	576,30	548,18	550,46	12,92	11,22	11,90	12,81	11,13	11,78	68,38	68,38	383	1,08
CI21	556,10	556,70	542,64	543,12	12,40	11,87	12,74	12,38	11,85	12,72	62,89	62,89	252	1,28
CI22	608,50	609,20	598,77	598,31	12,71	11,64	12,44	12,72	11,66	12,47	67,10	67,10	352	1,26
CI23	554,50	555,60	540,43	542,10	12,61	11,41	12,14	12,53	11,34	12,05	66,43	66,43	367	1,54
CI24	530,00	532,40	544,89	548,24	13,84	11,92	12,81	13,67	11,77	12,61	73,23	73,23	404	0,96
CI25	550,60	553,10	555,81	557,03	11,71	10,85	11,42	11,66	10,80	11,35	54,14	54,14	222	1,37
CI26	580,00	581,50	556,87	559,19	11,12	10,21	10,58	11,03	10,13	10,48	66,98	66,98	342	1,24
CI27	564,40	567,70	546,88	548,21	10,45	10,23	10,61	10,40	10,18	10,54	50,65	50,65	297	1,48
CI28	560,00	560,30	578,33	580,51	12,05	11,15	11,81	11,96	11,07	11,70	49,98	49,98	284	1,19
CI29	534,70	537,30	524,61	528,66	13,45	10,77	11,31	13,24	10,61	11,10	45,21	45,21	235	1,08
CI30	564,40	563,80	573,97	576,50	14,63	12,71	13,83	14,50	12,60	13,69	45,10	45,10	205	1,58
CI31	546,30	546,60	577,40	580,64	11,55	10,09	10,43	11,42	9,97	10,27	48,73	48,73	226	1,13
CI32	571,20	573,20	513,23	515,58	12,18	10,89	11,47	12,07	10,79	11,34	39,02	39,02	182	1,51
CI33	570,40	571,80	571,37	574,24	13,58	12,97	14,17	13,44	12,84	14,00	49,31	49,31	212	0,99
CI34	580,90	583,20	583,95	585,89	11,56	10,49	10,95	11,49	10,42	10,86	58,97	58,97	339	1,03
CI35	512,00	514,00	563,31	565,58	10,33	9,93	10,22	10,25	9,85	10,12	35,73	35,73	172	1,05
CI36	515,50	517,30	559,76	562,83	11,07	9,08	9,11	10,95	8,98	8,98	41,20	41,20	358	1,21
CI37	524,80	526,10	569,25	572,02	10,63	9,86	10,13	10,52	9,77	10,01	35,68	35,68	246	1,13
CI38	569,70	572,00	600,15	603,27	12,90	11,38	12,10	12,77	11,26	11,95	55,64	55,64	303	1,43
CI39	559,60	560,70	619,53	654,30	10,28	9,49	9,65	10,31	9,52	9,69	28,30	28,30	241	1,41
CI40	570,60	572,60	565,20	567,04	12,31	10,79	11,34	12,23	10,72	11,25	49,47	49,47	349	1,44
CI41	579,60	580,10	648,22	649,67	14,90	12,65	13,76	14,83	12,59	13,68	71,51	60,26	313	1,32
CI42	598,90	600,10	639,45	641,67	13,80	12,56	13,64	13,71	12,47	13,52	83,97	83,97	461	1,61
CI43	540,00	543,00	531,51	534,48	13,52	11,32	12,03	13,37	11,20	11,87	57,16	45,80	325	0,99
CI44	540,00	542,70	571,70	574,07	10,67	9,64	9,84	10,58	9,56	9,74	38,29	38,29	296	1,47
CI45	564,40	563,80	571,20	572,22	12,29	11,53	12,30	12,24	11,49	12,25	59,21	59,21	373	1,10
CI46	611,20	612,80	597,20	598,77	12,45	10,26	10,65	12,39	10,21	10,58	38,15	38,15	359	1,35
CI47	594,10	593,50	573,57	575,50	11,48	9,51	9,67	11,41	9,45	9,60	33,50	33,50	206	1,61
CI48	560,90	564,00	588,59	592,42	14,31	10,58	11,06	14,13	10,44	10,88	41,83	41,83	231	0,97
CI49	560,30	560,30	556,83	559,95	9,35	9,74	9,97	9,25	9,63	9,83	41,71	41,71	348	1,43
CI50	574,30	574,50	540,04	542,07	13,23	11,52	12,29	13,13	11,44	12,18	69,04	55,08	406	1,39
CI51	560,30	560,50	569,67	569,39	10,50	10,20	10,57	10,51	10,21	10,58	48,86	48,86	324	1,83
CI52	565,90	567,80	607,52	606,31	11,71	10,34	10,75	11,76	10,38	10,80	66,91	66,91	367	1,22
CI53	531,30	532,90	569,74	571,97	10,03	9,17	9,23	9,95	9,10	9,14	43,36	43,36	240	1,30
CI54	598,90	600,10	607,21	607,91	15,10	13,44	14,78	15,07	13,41	14,74	74,98	74,98	297	1,44
CI55	566,30	570,00	529,78	531,73	10,27	8,51	8,37	10,20	8,44	8,28	10,55	8,45	161	2,65
CI56	556,10	558,00	569,27	571,56	12,99	11,26	11,95	12,88	11,17	11,83	58,05	58,05	291	1,26
CI57	585,40	585,10	583,90	585,91	12,20	9,91	10,19	12,11	9,84	10,10	39,95	30,03	223	1,55
CI58	580,00	582,00	595,87	598,67	8,90	8,31	8,11	8,81	8,23	8,01	30,79	30,79	248	1,99
CI59	591,70	594,30	453,78	457,54	11,38	10,19	10,56	11,20	10,02	10,34	58,51	58,51	360	1,22
CI60	570,70	572,40	568,64	571,20	12,65	10,93	11,52	12,54	10,84	11,40	42,24	42,24	235	1,10
CI61	530,00	532,10	510,05	512,18	12,25	10,29	10,69	12,15	10,21	10,58	30,11	26,62	153	1,03
CI62	570,40	570,10	574,86	576,19	10,33	10,09	10,43	10,28	10,04	10,36	34,70	34,70	258	1,21
CI63	584,60	586,10	583,07	584,27	12,26	10,82	11,38	12,21	10,78	11,32	64,68	64,68	431	1,18
CI64	548,60	551,40	541,42	543,53	13,36	11,35	12,07	13,26	11,27	11,96	66,18	66,18	273	1,03
CII01	584,90	586,60	580,82	582,05	18,32	15,88	17,95	18,24	15,81	17,86	70,66	70,66	342	
CII02	585,50	587,50	564,48	566,71	17,25	14,51	16,17	17,12	14,40	16,03	67,25	67,25	319	
CII03	605,50	604,00	585,57	585,54	14,74	13,47	14,82	14,74	13,48	14,83	52,22	52,22	284	
CII04	533,20	535,40	536,73	539,84	13,49	11,15	11,81	13,33	11,02	11,64	44,41	44,41	258	
CII06	501,70	503,00	508,65	508,67	12,60	11,32	12,03	12,60	11,32	12,03	35,19	29,74	180	
CII07	593,40	593,40	591,96	593,26	16,21	13,14	14,39	16,14	13,09	14,33	43,82	40,89	205	
CII08	619,30	617,70	584,47	582,53	12,40	11,98	12,88	12,48	12,06	12,99	68,31	68,31	322	
CII09	536,70	537,30	525,00	525,15	14,29	12,48	13,53	14,28	12,48	13,53	58,07	58,07	302	
CII10	597,50	598,70	561,25	564,59	12,58	10,41	10,84	12,43	10,29	10,69	25,80	25,80	172	
CII11	546,00	547,30	529,02	530,25	15,56	12,20	13,17	15,49	12,14	13,09	32,68	32,68	268	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
CII12	650,30	649,40	661,16	661,50	17,82	15,02	16,84	17,80	15,01	16,82	59,87	59,87	227	
CII13	604,80	605,70	572,73	575,34	16,30	14,57	16,25	16,15	14,44	16,08	65,41	65,41	405	
CII14	551,30	554,90	537,29	541,29	13,37	11,77	12,61	13,17	11,59	12,38	65,33	65,33	364	
CII15	579,90	578,70	553,41	554,02	13,01	11,37	12,09	12,98	11,34	12,05	36,85	36,85	256	
CII16	535,00	535,30	515,50	515,51	12,17	10,66	11,17	12,17	10,66	11,17	53,73	43,26	296	
CII17	600,00	598,80	592,28	593,48	12,17	11,03	11,65	12,12	10,99	11,60	24,79	24,79	153	
CII18	623,50	623,80	613,15	613,82	15,05	13,53	14,90	15,01	13,50	14,86	36,78	36,78	254	
CII19	566,70	567,20	532,01	531,73	12,62	10,81	11,36	12,63	10,83	11,39	37,92	37,92	216	
CII20	619,00	617,80	606,66	608,13	13,37	12,32	13,33	13,30	12,26	13,25	39,10	39,10	217	
CII21	552,30	551,70	542,30	542,28	9,48	8,90	8,88	9,48	8,90	8,88	41,13	41,13	253	
CII23	538,50	538,00	547,94	549,05	14,00	12,82	13,98	13,95	12,77	13,91	66,03	66,03	379	
CII24	592,60	592,60	544,49	545,34	11,18	9,43	9,57	11,14	9,40	9,53	20,13	20,13	205	
CII25	538,20	537,40	518,14	519,00	11,81	10,02	10,34	11,77	9,99	10,30	26,20	26,20	219	
CII26	584,50	585,10	566,76	570,17	13,84	12,61	13,70	13,67	12,45	13,50	64,99	64,99	343	
CII27	538,90	537,50	525,51	527,96	12,69	11,49	12,25	12,57	11,38	12,10	65,34	53,70	385	
CII28	595,00	594,70	597,57	597,71	14,79	13,28	14,57	14,78	13,27	14,56	60,88	60,88	263	
CII29	609,50	610,70	595,36	596,64	17,81	15,74	17,77	17,73	15,67	17,68	82,10	82,10	392	
CII30	520,80	521,60	503,62	503,75	11,86	10,19	10,56	11,85	10,19	10,56	41,65	41,65	311	
CII31	600,00	598,20	566,00	566,36	11,66	11,89	12,77	11,64	11,87	12,74	31,61	31,61	371	
CII32	529,70	531,00	513,38	516,90	13,14	11,43	12,17	12,96	11,28	11,97	47,35	47,35	318	
CII33	533,60	530,20	519,08	519,75	11,28	10,05	10,38	11,25	10,03	10,35	37,92	37,92	316	
CII34	542,90	543,70	569,35	572,18	18,83		-2,69	18,64		-2,69	37,34	37,34	214	
CII35	538,90	538,60	578,15	577,74	14,18	11,87	12,74	14,20	11,89	12,77	53,17	23,58	254	
CII36	610,80	610,20	598,56	600,05	14,54	13,14	14,39	14,47	13,08	14,31	53,51	53,51	273	
CII37	575,30	575,30	569,00	568,69	11,86	10,45	10,90	11,87	10,46	10,91	37,12	37,12	196	
CII38	575,30	576,40	564,48	565,49	13,03	10,82	11,38	12,98	10,78	11,32	50,85	50,85	279	
CII39	610,00	610,70	600,59	600,55	15,48	12,80	13,95	15,48	12,80	13,95	60,87	60,87	304	
CII40	552,40	552,40	546,96	547,76	13,18	11,60	12,39	13,14	11,57	12,35	57,13	57,13	303	
CII41	556,10	555,80	525,29	527,36	12,93	11,18	11,84	12,83	11,09	11,73	55,55	55,55	343	
CII42	595,20	594,30	608,71	610,18	14,02	13,61	15,00	13,95	13,54	14,91	52,78	52,78	243	
CII43	600,00	602,40	575,96	577,67	18,95	15,69	17,71	18,84	15,60	17,59	59,54	51,26	317	
CII44	584,20	585,40	577,63	580,11	12,77	12,08	13,01	12,66	11,98	12,88	28,32	28,32	284	
CII46	575,50	574,40	604,25	605,86	14,84	13,64	15,04	14,76	13,57	14,95	64,22	64,22	345	
CII47	547,90	549,60	570,10	571,02	13,07	11,54	12,31	13,03	11,51	12,27	64,87	64,87	353	
CII48	622,00	620,80	615,91	615,94	13,74	12,23	13,21	13,74	12,23	13,21	26,84	26,84	142	
CII49	590,00	589,10	584,25	586,02	17,58	14,19	15,76	17,47	14,11	15,65	27,99	27,99	152	
CII50	563,10	562,60	566,65	567,42	13,94	13,30	14,60	13,90	13,26	14,55	56,84	56,84	262	
CII51	602,30	602,90	555,75	556,90	14,32	11,94	12,83	14,26	11,89	12,77	51,06	41,97	353	
CII52	590,50	590,80	578,08	578,48	13,69	12,50	13,56	13,67	12,48	13,53	62,92	62,92	323	
CII53	597,50	595,70	595,10	594,80	13,83	13,43	14,77	13,84	13,44	14,78	66,08	66,08	370	
CII54	538,10	538,90	532,13	534,95	13,86	12,31	13,31	13,72	12,18	13,14	46,96	46,96	229	
CII55	570,90	570,90	567,20	567,99	10,42	10,07	10,40	10,39	10,04	10,36	31,36	31,36	322	
CII56	611,20	609,40	582,02	582,27	14,54	13,11	14,35	14,53	13,10	14,34	43,35	41,18	216	
CII57	625,50	621,70	603,28	604,61	15,48	14,14	15,69	15,41	14,08	15,61	57,80	57,80	272	
CII58	531,40	531,90	542,08	542,98	14,52	12,77	13,91	14,47	12,73	13,86	31,53	31,53	152	
CII59	610,00	610,00	599,98	600,60	13,46	12,92	14,11	13,44	12,90	14,08	70,74	70,74	385	
CII60	585,50	584,60	570,93	573,92	12,40	11,43	12,17	12,27	11,31	12,01	28,61	28,61	159	
CII61	555,60	555,00	570,13	569,22	12,12	10,72	11,25	12,15	10,76	11,30	43,64	38,78	308	
CII62	613,40	613,40	599,20	600,49	13,33	11,61	12,40	13,27	11,56	12,34	39,91	39,91	193	
CII63	556,10	556,60	555,74	556,32	12,04	12,61	13,70	12,01	12,58	13,66	66,20	66,20	410	
CII64	530,40	532,20	518,00	519,84	14,86	12,85	14,02	14,75	12,76	13,90	55,97	55,97	319	
CIII01	574,00	563,40	548,41	542,95	13,52	10,58	11,06	13,79	10,79	11,34	33,84	33,84	217	1,35
CIII02	640,10	626,60	658,52	646,41	16,20	14,50	16,16	16,80	15,03	16,85	59,10	59,10	349	2,10
CIII03	551,40	543,20	527,53	529,63	13,92	12,40	13,43	13,81	12,31	13,31	60,74	60,74	300	1,54
CIII04	575,30	563,20	549,12	546,15	12,52	11,31	12,01	12,65	11,43	12,17	52,60	49,38	348	1,34
CIII05	600,10	592,30	599,49	595,44	14,23	13,33	14,64	14,42	13,51	14,87	51,02	51,02	278	1,16
CIII06	606,30	594,20	617,83	613,56	17,70	15,35	17,27	17,95	15,56	17,54	59,64	59,64	320	1,31
CIII07	544,60	539,70	527,52	525,84	12,08	10,87	11,44	12,15	10,94	11,53	51,40	51,40	346	1,40
CIII08	577,40	561,30	535,16	529,12	11,43	9,90	10,18	11,68	10,12	10,47	27,46	27,46	222	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
CIII09	581,90	579,30	599,62	598,41	17,11	14,75	16,49	17,18	14,81	16,56	67,28	67,28	417	1,54
CIII10	566,10	559,80	553,71	548,87	18,86	12,06	12,99	19,19	12,27	13,26	38,76	38,76	290	
CIII11	582,30	571,20	560,72	555,97	13,01	11,54	12,31	13,24	11,74	12,57	49,91	49,91	292	1,57
CIII12	595,20	581,80	587,57	574,71	11,30	10,10	10,44	11,79	10,54	11,01	45,49	45,49	281	1,37
CIII13	573,40	564,50	565,48	562,96	13,50	12,63	13,73	13,62	12,74	13,87	32,82	32,82	181	1,44
CIII14	633,20	622,70	669,70	664,36	13,50	12,03	12,95	13,71	12,22	13,20	36,27	30,41	204	1,83
CIII15	576,90	568,20	569,21	568,31	11,58	11,74	12,57	11,61	11,78	12,62	40,25	40,25	200	1,23
CIII16	553,00	544,90	540,78	538,16	12,73	11,08	11,71	12,86	11,19	11,86	50,23	40,28	321	1,56
CIII17	512,00	505,90	488,79	487,52	12,36	11,16	11,82	12,43	11,22	11,90	61,14	61,14	387	1,08
CIII18	504,40	498,30	519,27	516,98	12,31	11,09	11,73	12,42	11,19	11,86	45,37	45,37	286	1,28
CIII19	550,00	540,10	528,48	520,79	9,95	8,75	8,69	10,24	9,01	9,02	35,06	35,06	272	1,04
CIII20	581,80	568,70	564,44	554,83	10,52	9,90	10,18	10,88	10,24	10,62	39,86	39,86	228	1,15
CIII21	591,50	576,40	567,22	562,58	14,81	13,15	14,41	15,05	13,36	14,68	62,66	62,66	337	1,43
CIII22	562,40	557,30	533,26	533,12	15,13	13,40	14,73	15,13	13,40	14,73	68,94	68,94	393	1,45
CIII23	567,60	561,70	553,23	552,13	13,46	11,36	12,08	13,51	11,40	12,13	61,62	61,62	361	1,20
CIII24	586,60	579,80	564,70	561,46	15,94	13,71	15,13	16,13	13,87	15,34	50,51	50,51	368	1,06
CIII25	596,50	589,70	582,92	581,73	13,57	11,17	11,83	13,63	11,22	11,90	43,22	43,22	291	1,33
CIII26	564,50	561,10	558,93	558,57	14,02	12,39	13,42	14,04	12,41	13,44	70,71	70,71	450	1,29
CIII27	584,40	579,80	558,77	558,53	14,20	11,72	12,55	14,21	11,73	12,56	47,66	44,48	262	1,28
CIII28	575,30	566,30	571,79	568,55	15,37	12,89	14,07	15,54	13,03	14,25	55,72	55,72	326	1,18
CIII29	578,70	573,80	598,14	594,19	13,46	13,02	14,24	13,64	13,19	14,46	61,19	61,19	365	1,64
CIII30	558,50	553,20	547,69	546,02	11,37	11,01	11,62	11,44	11,07	11,70	48,88	48,88	364	1,58
CIII31	644,00	630,50	641,76	633,31	12,07	11,85	12,72	12,38	12,17	13,13	52,78	52,78	291	2,96
CIII32	574,50	571,90	597,36	594,95	12,98	12,33	13,34	13,09	12,43	13,47	55,72	55,72	394	1,63
CIII33	566,80	562,60	556,90	552,97	13,50	11,60	12,39	13,69	11,76	12,60	34,11	27,35	180	1,33
CIII34	657,40	648,80	650,28	644,49	17,09	15,40	17,33	17,40	15,67	17,68	57,66	32,62	233	1,42
CIII35	598,30	595,30	587,35	586,29	16,84	16,19	18,36	16,90	16,25	18,44	57,90	57,90	217	1,43
CIII36	591,90	585,40	587,09	586,36	12,24	12,57	13,65	12,27	12,60	13,69	41,24	21,73	257	1,46
CIII37	580,10	569,10	570,08	561,70	15,02	13,91	15,39	15,46	14,32	15,93	32,86	32,86	194	1,17
CIII38	497,70	492,50	465,64	464,48	11,27	10,82	11,38	11,32	10,88	11,45	37,14	37,14	281	1,08
CIII39	530,10	522,10	553,44	545,80	12,93	12,07	13,00	13,29	12,40	13,43	58,45	58,45	372	1,93
CIII40	541,50	540,70	519,38	517,62	11,75	10,79	11,34	11,83	10,87	11,44	39,48	34,43	237	1,56
CIII41	611,40	602,80	587,11	573,30	14,02	12,81	13,96	14,68	13,41	14,74	48,08	48,08	352	1,29
CIII42	561,60	557,90	591,27	588,08	12,85	11,71	12,53	12,99	11,83	12,69	59,20	59,20	344	1,65
CIII43	609,10	599,30	573,01	560,28	13,81	12,90	14,08	14,42	13,47	14,82	46,23	46,23	239	1,22
CIII44	592,60	589,60	575,33	567,37	11,28	11,57	12,35	11,59	11,89	12,77	23,56	23,56	150	1,46
CIII45	590,80	571,90	592,05	576,02	13,15	12,09	13,03	13,86	12,74	13,87	59,40	59,40	499	1,45
CIII46	542,40	535,60	524,65	518,38	13,42	12,19	13,16	13,74	12,48	13,53	53,12	53,12	386	2,24
CIII47	546,50	542,90	539,10	537,40	11,70	11,13	11,78	11,77	11,20	11,87	50,97	50,97	310	1,48
CIII48	658,20	646,10	628,45	602,17	12,06	10,77	11,31	13,07	11,67	12,48	40,52	40,52	316	1,31
CIII49	566,00	550,10	545,58	530,51	13,45	12,60	13,69	14,19	13,30	14,60	49,53	49,53	379	1,16
CIII50	540,60	537,90	531,52	529,78	11,22	10,42	10,86	11,29	10,49	10,95	48,14	38,49	318	1,54
CIII51	599,40	589,20	568,99	554,49	10,79	10,20	10,57	11,34	10,72	11,25	39,56	39,56	324	1,26
CIII52	533,50	534,60	519,42	519,95	14,32	11,47	12,22	14,29	11,45	12,20	49,34	49,34	256	1,05
CIII53	581,30	577,80	552,68	544,04	14,66	13,12	14,37	15,12	13,53	14,90	53,75	49,26	302	1,14
CIII54	564,90	563,20	558,96	544,04	9,13	8,26	8,05	9,62	8,70	8,62	14,77	11,97	162	1,20
CIII55	578,30	572,20	578,28	564,50	12,41	11,16	11,82	13,00	11,69	12,51	44,13	44,13	310	1,43
CIII56	548,30	542,80	572,39	565,10	12,35	11,52	12,29	12,66	11,81	12,66	26,65	26,65	186	1,38
CIII57	593,10	587,70	564,11	562,94	16,92	12,72	13,85	16,99	12,77	13,91	32,57	27,86	254	1,17
CIII58	636,70	630,70	625,92	619,82	15,41	12,51	13,57	15,71	12,76	13,90	35,91	35,91	212	1,36
CIII59	564,30	553,90	534,85	522,51	10,17	9,27	9,36	10,64	9,70	9,92	40,34	40,34	269	1,11
CIII60	557,50	548,60	542,61	529,89	13,06	11,63	12,43	13,67	12,17	13,13	50,72	50,72	305	1,26
CIII61	588,80	587,30	549,96	548,11	11,46	11,23	11,91	11,54	11,30	12,00	47,90	30,14	335	2,63
CIII62	540,20	540,40	504,47	505,88	13,32	11,77	12,61	13,25	11,71	12,53	42,76	42,76	249	1,56
CIII63	561,80	555,90	556,52	556,21	14,85	12,46	13,51	14,86	12,47	13,52	42,21	24,82	347	1,33
CIII64	575,30	571,80	594,72	588,47	11,73	10,71	11,23	11,98	10,93	11,52	41,83	41,83	269	1,49
GI01	627,50	610,80	576,03	568,96	11,75	10,63	11,13	12,04	10,89	11,47	53,27	47,93	313	
GI02	597,45	567,88	586,52	557,49	8,61	9,75	9,98	9,46	10,71	11,24	41,58	36,68	386	
GI03	583,70	570,80	586,51	579,93	12,19	10,83	11,39	12,46	11,08	11,71	37,33	25,78	224	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
GI04	530,20	515,70	509,30	502,81	8,96	9,30	9,40	9,18	9,53	9,70	49,71	49,71	333	
GI05	567,70	545,60	564,77	559,04	10,26	9,25	9,34	10,47	9,44	9,58	51,22	51,22	322	
GI06	539,70	518,10	512,04	505,72	9,64	8,74	8,67	9,88	8,95	8,95	58,05	58,05	457	
GI07	573,90	552,10	608,64	597,33	9,05	7,57	7,15	9,39	7,85	7,52	27,98	27,98	287	
GI08	536,40	524,10	536,39	531,30	8,41	7,98	7,68	8,57	8,13	7,88	54,86	24,59	485	
GI09	569,50	552,40	569,21	562,77	9,04	8,33	8,14	9,24	8,52	8,39	47,57	47,57	241	
GI10	564,20	551,50	594,46	586,29	9,10	9,66	9,87	9,35	9,92	10,21	39,18	39,18	267	
GI11	562,40	523,31	567,85	528,39	6,85	8,64	8,54	7,80	9,84	10,10	43,92	43,92	387	
GI12	513,60	493,00	508,72	504,62	10,63	9,86	10,13	10,81	10,01	10,32	56,98	56,98	396	
GI13	541,35	516,18	542,79	517,55	9,25	10,56	11,04	10,11	11,54	12,31	54,75	54,75	215	
GI14	605,50	590,90	551,88	545,92	10,87	9,62	9,82	11,11	9,83	10,09	57,21	57,21	316	
GI15	565,40	555,00	561,19	554,35	11,19	10,23	10,61	11,47	10,48	10,93	48,56	29,88	194	
GI16	693,90	661,63	542,79	517,55	9,25	10,56	11,04	10,11	11,55	12,32	57,71	57,71	215	
GI17	565,70	553,20	495,11	488,46	9,29	8,23	8,01	9,54	8,45	8,30	35,58	35,58	193	
GI18	644,35	586,35	665,88	605,95	7,50	8,64	8,54	8,84	10,20	10,57	49,90	49,90	280	
GI19	480,00	470,90	472,61	468,44	9,70	9,04	9,06	9,87	9,20	9,27	54,37	54,37	420	
GI20	490,00	477,00	588,14	578,34	11,32	9,08	9,11	11,69	9,39	9,52	31,34	31,34	232	
GI21	616,20	602,00	575,82	566,14	9,37	8,62	8,52	9,69	8,91	8,89	52,73	52,73	325	
GI22	613,43	560,98	584,75	534,75	8,81	10,40	10,82	10,32	12,17	13,13	39,06	34,46	207	
GI23	731,24	665,43	697,15	634,40	6,48	9,03	9,05	7,65	10,66	11,17	37,41	37,41	344	
GI24	590,00	577,60	576,06	567,31	12,60	11,39	12,12	12,99	11,74	12,57	57,50	57,50	431	
GI25	550,20	535,10	557,37	549,01	10,99	10,13	10,48	11,32	10,44	10,88	63,02	63,02	409	
GI26	559,80	549,40	544,59	539,01	11,06	9,18	9,24	11,29	9,37	9,49	54,75	54,75	280	
GI27	540,00	524,90	547,44	540,92	11,12	10,05	10,38	11,39	10,29	10,69	38,57	38,57	184	
GI28	424,20	410,00	513,57	504,85	10,19	9,14	9,19	10,54	9,45	9,60	37,41	37,41	172	
GI29	599,30	581,90	653,68	640,21	11,89	9,21	9,28	12,38	9,59	9,78	31,25	31,25	163	
GI30	615,70	601,80	575,14	564,85	7,59	7,26	6,75	7,86	7,52	7,09	33,01	33,01	313	
GI31	586,30	562,00	546,50	535,21	9,89	8,46	8,31	10,30	8,81	8,76	35,31	35,31	215	
GI32	661,04	601,55	686,50	624,72	6,06	8,67	8,58	7,15	10,23	10,61	25,91	25,91	333	
GI33	599,50	578,80	582,36	569,26	12,49	11,09	11,73	13,05	11,59	12,38	45,57	45,57	219	
GI34	538,69	505,57	574,60	539,26	7,88	8,98	8,98	8,85	10,08	10,42	30,06	30,06	120	
GI35	596,00	581,40	566,94	559,14	11,52	10,71	11,23	11,84	11,00	11,61	62,09	62,09	303	
GI36	720,00	699,10	668,30	650,23	12,86	10,85	11,42	13,55	11,44	12,18	40,45	40,45	189	
GI37	580,00	566,40	520,79	511,06	11,50	10,31	10,71	11,93	10,69	11,21	51,33	51,33	248	
GI38	612,40	595,30	622,81	610,78	10,46	10,14	10,49	10,86	10,53	11,00	43,95	43,95	213	
GI39	599,50	588,10	694,25	685,77	7,70	7,59	7,18	7,89	7,78	7,42	37,60	37,60	122	
GI40	707,10	691,20	682,89	668,64	13,85	11,38	12,10	14,43	11,86	12,73	36,88	34,10	221	
GI41	652,35	626,25	597,84	573,93	5,72	8,70	8,63	6,18	9,40	9,53	44,07	44,07	168	
GI42	545,50	532,40	533,71	527,01	11,04	10,06	10,39	11,32	10,31	10,71	57,69	57,69	362	
GI43	626,30	612,80	621,11	607,23	8,28	8,67	8,58	8,65	9,05	9,08	33,04	33,04	315	
GI44	626,80	612,70	634,56	623,39	8,78	7,95	7,65	9,09	8,23	8,01	45,02	45,02	416	
GI45	563,90	549,80	522,55	514,42	9,12	8,72	8,65	9,40	8,99	9,00	65,71	65,71	427	
GI47	640,00	620,20	552,21	544,21	11,58	10,83	11,39	11,92	11,14	11,79	52,55	43,32	342	
GI48	590,00	568,20	600,36	590,06	9,44	8,31	8,11	9,76	8,60	8,49	42,36	42,36	321	
GI49	610,00	590,80	588,93	578,24	10,04	9,18	9,24	10,40	9,51	9,67	34,64	34,64	157	
GI50	646,50	631,90	622,71	610,65	9,86	9,11	9,15	10,25	9,46	9,61	50,72	50,72	261	
GII01	628,00	610,10	619,01	605,12	12,15	11,44	12,18	12,70	11,95	12,85	47,41	47,41	377	
GII02	594,40	572,10	558,51	547,91	12,76	12,23	13,21	13,25	12,69	13,81	28,04	28,04	163	
GII03	527,30	519,40	513,29	506,91	13,49	12,59	13,68	13,82	12,91	14,09	35,27	35,27	236	
GII04	584,90	574,90	534,94	527,39	12,08	11,67	12,48	12,42	12,00	12,91	55,04	55,04	369	
GII05	580,10	566,40	583,26	566,98	12,86	11,34	12,05	13,57	11,98	12,88	44,85	44,85	327	
GII06	523,80	505,50	630,95	620,52	12,81	11,18	11,84	13,24	11,55	12,33	40,91	40,91	366	
GII07	632,80	612,90	648,14	633,63	14,93	12,54	13,61	15,60	13,10	14,34	40,04	40,04	307	
GII08	569,50	552,70	611,39	602,38	14,41	12,45	13,50	14,84	12,82	13,98	48,46	48,46	251	
GII09	670,80	651,40	718,36	697,84	13,21	10,01	10,32	13,97	10,58	11,06	22,67	22,67	258	
GII10	532,10	520,10	578,54	568,00	11,52	9,43	9,57	11,94	9,78	10,02	23,79	23,79	217	
GII11	604,90	586,40	586,07	573,05	6,76	6,83	6,19	7,07	7,13	6,58	41,41	41,41	402	
GII12	555,00	539,50	650,29	640,66	10,35	9,07	9,10	10,66	9,34	9,45	36,91	33,19	261	
GII13	637,90	618,80	568,36	553,88	7,15	7,11	6,55	7,52	7,47	7,02	43,37	43,37	442	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
GII14	660,27	534,53	648,54	525,02	7,78	9,29	9,38	8,24	9,84	10,11	38,40	38,40	344	
GII15	570,50	555,10	535,31	527,75	10,78	10,28	10,67	11,09	10,57	11,05	26,14	24,39	104	
GII16	570,50	551,60	565,49	549,70	7,94	6,57	5,85	8,38	6,94	6,33	33,55	24,55	322	
GII17	556,10	539,40	574,29	559,04	8,38	7,85	7,52	8,83	8,27	8,06	25,63	25,63	161	
GII18	599,20	583,40	573,92	561,96	9,68	7,80	7,45	10,08	8,12	7,87	18,12	18,12	173	
GII19	575,30	556,30	629,52	612,11	8,91	8,94	8,93	9,40	9,43	9,57	26,27	26,27	215	
GII20	551,30	536,10	593,26	581,26	12,27	10,54	11,01	12,77	10,96	11,56	45,15	43,13	330	
GII21	600,00	586,20	586,27	576,67	10,28	8,93	8,92	10,62	9,22	9,30	36,38	36,38	364	
GII22	560,90	548,30	553,66	542,55	12,49	9,95	10,25	12,99	10,35	10,77	43,33	43,33	384	
GII23	574,30	555,40	537,04	525,72	12,07	10,64	11,14	12,58	11,08	11,71	49,02	45,18	323	
GII24	541,70	524,10	503,86	495,48	10,74	9,91	10,19	11,09	10,24	10,62	49,86	49,86	382	
GII25	608,80	593,00	609,69	597,28	9,97	8,11	7,85	10,37	8,44	8,28	28,82	28,82	396	
GII26	668,20	647,90	637,63	621,65	8,87	8,22	8,00	9,31	8,63	8,53	53,54	53,54	461	
GII27	627,40	602,90	612,62	593,56	9,55	8,73	8,66	10,14	9,27	9,36	41,69	41,69	358	
GII28	604,00	590,10	619,60	606,42	8,06	9,66	9,87	8,41	10,07	10,40	37,47	37,47	337	
GII29	560,90	546,00	564,45	551,63	9,43	8,65	8,56	9,85	9,04	9,06	38,23	38,23	326	
GII30	599,20	581,00	591,39	582,02	14,44	12,08	13,01	14,90	12,46	13,51	39,42	36,33	255	
GII31	608,80	593,00	551,76	541,26	10,25	8,84	8,80	10,64	9,18	9,24	26,40	26,40	205	
GII32	560,90	547,10	554,14	545,08	10,53	9,26	9,35	10,88	9,57	9,75	51,15	51,15	417	
GII33	633,50	608,50	618,07	599,17	12,71	11,01	11,62	13,49	11,69	12,51	58,55	58,55	445	
GII34	632,80	610,60	607,76	594,51	12,94	11,23	11,91	13,51	11,71	12,53	56,68	56,68	444	
GII35	538,10	519,80	534,08	517,56	9,62	8,86	8,83	10,22	9,41	9,54	46,66	46,66	331	
GII36	618,40	600,50	553,70	540,77	8,67	8,28	8,07	9,07	8,66	8,57	28,51	28,51	309	
GII37	689,71	597,34	761,83	659,79	7,79	9,45	9,60	8,26	10,02	10,33	44,57	44,57	353	
GII38	580,10	564,70	545,38	531,88	10,69	9,56	9,74	11,22	10,03	10,35	52,00	52,00	543	
GII39	680,70	658,30	697,46	676,52	9,48	8,12	7,87	10,05	8,61	8,50	45,77	45,77	397	
GII40	565,70	550,70	604,28	589,97	10,20	9,20	9,27	10,69	9,64	9,84	43,16	37,85	309	
GII41	612,70	595,90	614,19	599,88	9,26	8,01	7,72	9,69	8,38	8,20	27,98	26,10	301	
GII42	603,70	590,10	593,05	581,42	10,55	9,40	9,53	10,97	9,77	10,01	43,51	35,72	287	
GII43	659,60	643,10	624,09	605,88	9,44	8,25	8,04	9,99	8,73	8,66	40,12	26,66	349	
GII44	685,47	612,71	691,03	617,68	9,03	10,44	10,88	9,57	11,06	11,69	48,20	48,20	335	
GII45	661,77	598,52	650,47	588,30	7,51	9,30	9,40	7,96	9,86	10,12	32,75	21,76	170	
GII46	645,45	580,69	676,29	608,44	6,26	8,18	7,94	6,63	8,67	8,58	30,88	30,88	205	
GII47	653,27	556,37	637,12	542,61	7,82	9,56	9,74	8,29	10,13	10,48	47,75	47,75	420	
GII48	709,33	629,69	717,05	636,54	8,35	10,76	11,30	8,85	11,41	12,14	36,66	36,66	184	
GII49	647,57	609,63	609,59	573,87	8,92	10,65	11,16	9,46	11,29	11,99	27,56	27,56	185	
GII50	676,99	616,32	723,19	658,37	6,83	8,39	8,22	7,24	8,90	8,88	25,14	25,14	209	
GII51	650,77	610,23	648,04	607,67	8,52	9,85	10,12	9,03	10,44	10,88	43,46	43,46	372	
GII52	656,76	597,76	659,71	600,45	9,94	10,73	11,25	10,53	11,37	12,09	41,79	41,79	399	
GII53	680,27	635,52	684,39	639,37	8,67	11,66	12,47	9,19	12,36	13,38	51,52	51,52	268	
GII54	646,19	596,99	654,61	604,77	9,03	9,99	10,30	9,57	10,59	11,08	36,50	36,50	165	
GII55	579,75	540,92	554,37	517,24	7,05	8,82	8,77	7,47	9,35	9,46	45,57	45,57	292	
GII56	598,40	558,86	575,35	537,33	6,85	8,84	8,80	7,26	9,37	9,49	40,72	40,72	300	
GIII01	576,30	564,50	552,02	536,43	9,42	10,60	11,09	9,96	11,20	11,87	44,71	22,59	337	
GIII02	641,00	613,40	596,34	557,99	6,88	8,71	8,63	7,77	9,83	10,09	48,93	48,93	406	
GIII03	607,60	589,60	582,33	550,95	6,51	9,49	9,65	7,21	10,51	10,97	33,12	33,12	320	
GIII04	633,10	589,10	640,92	594,58	10,10	11,65	12,46	11,56	13,34	14,65	51,40	51,40	375	
GIII05	627,10	596,70	605,83	586,69	8,58	10,25	10,64	9,12	10,90	11,48	60,36	60,36	465	
GIII06	650,70	618,80	619,61	587,14	10,15	10,03	10,35	11,22	11,08	11,71	32,51	32,51	288	
GIII07	640,50	625,10	652,94	633,95	9,55	9,13	9,18	10,11	9,66	9,87	22,96	22,96	293	
GIII08	635,00	610,90	611,48	591,14	12,83	13,23	14,51	13,68	14,11	15,65	54,45	54,45	331	
GIII09	711,40	641,40	690,58	651,27	8,88	9,32	9,43	9,89	10,39	10,82	27,25	27,25	190	
GIII10	635,70	624,20	589,66	575,50	6,29	7,04	6,46	6,59	7,38	6,90	33,15	33,15	291	
GIII11	541,80	530,70	544,92	527,80	9,10	9,81	10,06	9,67	10,42	10,86	23,88	23,88	139	
GIII12	530,70	518,20	554,07	540,79	5,13	6,22	5,40	5,37	6,51	5,77	31,19	31,19	335	
GIII13	762,68	618,16	766,10	620,93	7,65	8,32	8,13	9,03	9,82	10,07	34,19	34,19	497	
GIII14	554,50	539,00	529,16	517,00	6,72	8,55	8,43	7,03	8,95	8,95	24,05	24,05	229	
GIII15	536,10	520,10	557,90	543,62	8,96	10,73	11,26	9,42	11,28	11,97	41,05	41,05	275	
GIII16	566,50	555,40	531,48	520,11	7,44	7,99	7,70	7,76	8,34	8,15	44,37	44,37	370	

Probeta	Den_{Glo}	Den_{Glo12}	Den_{Loc}	Den_{Loc12}	E_{loc}	E_{glo}	E_{norm}	E_{loc12}	E_{glo12}	E_{norm12}	f_m	f_{m_c}	t	G
GIII17	565,50	535,50	542,26	532,14	6,27	8,31	8,11	6,50	8,62	8,52	35,01	35,01	211	
GIII18	583,00	557,40	632,88	610,00	7,75	8,48	8,33	8,31	9,09	9,13	31,00	31,00	217	
GIII19	623,90	596,50	605,25	579,95	9,14	11,24	11,92	9,90	12,18	13,14	59,95	59,95	444	
GIII20	726,30	698,00	650,69	623,97	7,18	8,16	7,92	7,77	8,83	8,79	30,00	30,00	309	
GIII21	745,41	626,89	689,07	579,51	8,23	10,40	10,83	9,71	12,27	13,26	39,18	39,18	665	
GIII22	632,40	595,40	601,72	549,09	6,61	7,64	7,24	7,77	8,97	8,97	36,69	36,69	303	
GIII23	756,70	741,60	531,97	517,83	6,16	7,14	6,59	6,49	7,52	7,09	24,64	24,64	255	
GIII24	659,10	633,10	603,28	566,14	7,81	8,63	8,53	8,77	9,69	9,91	37,38	37,38	253	
GIII25	616,70	595,10	562,86	542,11	6,17	7,31	6,81	6,63	7,85	7,52	30,50	30,50	349	
GIII26	592,10	575,00	600,57	581,68	6,54	7,45	7,00	6,95	7,92	7,61	25,07	25,07	232	
GIII27	648,30	606,50	653,01	578,49	7,18	8,83	8,79	8,82	10,85	11,42	39,55	39,55	284	
GIII28	609,10	571,40	621,64	569,70	8,84	10,28	10,67	10,31	11,99	12,90	40,62	40,62	228	
GIII30	653,30	632,00	608,44	582,57	9,51	11,50	12,26	10,31	12,48	13,53	55,27	55,27	451	
GIII31	640,30	606,70	602,92	583,92	9,87	10,60	11,09	10,50	11,27	11,96	32,61	32,61	230	
GIII32	631,00	609,90	594,81	572,62	5,12	6,12	5,27	5,50	6,58	5,86	38,66	38,66	398	
GIII33	596,90	576,60	582,22	562,59	6,28	6,97	6,37	6,70	7,44	6,98	29,45	29,45	313	
GIII34	669,10	647,70	691,09	663,63	7,16	8,52	8,39	7,73	9,20	9,27	50,13	50,13	342	
GIII35	582,80	571,20	571,19	562,29	6,00	6,80	6,15	6,19	7,01	6,42	28,20	28,20	361	
GIII36	658,40	631,00	642,26	614,48	8,57	10,10	10,44	9,31	10,97	11,57	45,17	45,17	250	
GIII37	610,60	590,50	659,63	641,39	8,25	9,58	9,76	8,70	10,11	10,45	42,67	42,67	403	
GIII38	593,80	571,90	545,91	526,40	7,08	8,78	8,72	7,59	9,41	9,54	51,25	45,49	323	
GIII39	599,60	584,90	616,77	598,91	6,86	8,02	7,74	7,26	8,48	8,33	25,32	25,32	240	
GIII40	625,20	597,70	662,65	634,29	10,38	12,23	13,21	11,27	13,27	14,56	29,99	29,99	143	
GIII41	640,20	615,20	607,05	566,48	7,63	8,95	8,95	8,65	10,15	10,51	42,70	42,70	273	
GIII42	570,30	548,00	582,24	556,16	7,31	8,44	8,28	7,97	9,19	9,26	28,62	28,62	500	
GIII43	580,80	564,60	600,10	583,15	7,33	9,02	9,04	7,75	9,53	9,70	43,74	43,74	358	
GIII44	558,10	531,10	636,71	616,87	9,55	10,57	11,05	10,14	11,23	11,91	34,52	26,37	350	
GIII45	695,90	672,60	624,76	605,76	5,39	7,49	7,05	5,72	7,94	7,63	42,70	42,70	383	
GIII46	623,90	597,00	615,66	583,95	7,32	8,32	8,13	8,07	9,17	9,23	24,35	23,52	190	
GIII47	614,30	597,10	612,12	584,12	4,22	5,50	4,46	4,61	6,01	5,12	27,41	27,41	377	
GIII48	583,70	565,30	556,94	538,07	8,10	10,09	10,43	8,65	10,77	11,31	39,55	39,55	255	
GIII49	562,30	539,20	498,65	488,31	6,36	7,28	6,77	6,62	7,59	7,18	34,27	34,27	339	
GIII50	567,20	510,50	683,48	606,47	8,98	9,90	10,18	11,01	12,13	13,08	37,42	33,63	307	
GIII51	531,70	506,50	563,21	552,25	9,83	11,51	12,27	10,22	11,96	12,86	51,63	51,63	379	
GIII52	764,59	648,75	731,75	620,89	9,92	10,53	11,00	11,71	12,43	13,46	39,25	39,25	343	
GIII53	834,13	642,70	777,36	598,96	8,81	9,56	9,74	10,40	11,28	11,98	33,41	33,41	352	
GIII54	679,63	594,00	671,42	586,83	7,96	9,64	9,84	9,39	11,38	12,10	33,76	33,76	222	
GIII55	892,48	705,95	793,03	627,29	8,98	11,52	12,29	10,60	13,59	14,98	47,77	47,77	369	
GIII56	755,24	631,00	694,60	580,34	9,68	11,66	12,47	11,42	13,76	15,20	51,66	51,66	527	

Tabla AIII.3. Tabla de datos de ensayos no destructivos

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AI01a	4112		10,99		3886	3923	9,81	10,00	3638	8,60		
AI01b	4855	4782	14,64	14,21	4701	4506	13,73	12,61	4315	11,56		
AI01c	5071	5114	12,49	12,70	4908	4873	11,70	11,53	4780	11,10		
AI02a	5388		17,47		5008	5026	15,09	15,20	4868	14,26		
AI02b	5160	5075	15,91	15,39	4836	4641	13,97	12,87	4622	12,76		
AI02c	4741	4725	12,96	12,87	4716	4694	12,82	12,70	4394	11,13		
AI03a	5191		15,95		4908	4900	14,26	14,21	4643	12,76		
AI03b	4882	4853	13,62	13,46	4696	4656	12,60	12,39	4480	11,47		
AI03c	4937	4975	15,81	16,05	4844	4857	15,22	15,30	4454	12,87		
AI04a	5245		14,59		4905	4937	12,77	12,93	4837	12,41		
AI04b	5126	5060	16,24	15,83	4406	4269	12,00	11,26	4593	13,04		
AI04c	4832	4941	13,44	14,06	4726	4761	12,86	13,05	4721	12,84		
AI05a	5264		17,61		4769	4775	14,45	14,49	4848	14,94		
AI05b	4802	4891	14,96	15,52	4320	4162	12,11	11,23	4295	11,96		
AI05c	5316	5177	15,66	14,85	5143	5162	14,66	14,76	4852	13,04		
AI06a	4940		15,41		4612	4691	13,43	13,90	4613	13,43		
AI06b	5006	4962	15,35	15,08	4470	4476	12,24	12,27	4547	12,66		
AI06c	5018	4960	14,52	14,18	4862	4794	13,63	13,25	4689	12,67		
AI07a	4912		13,97		4653	4604	12,54	12,27	4592	12,21		
AI07b	4868	4763	14,86	14,23	4429	4309	12,30	11,65	4360	11,93		
AI07c	4537	4627	12,05	12,53	4383	4354	11,24	11,10	4145	10,06		
AI08a	4555		11,85		4255	4120	10,34	9,70	4152	9,85		
AI08b	4737	4722	13,74	13,65	4477	4481	12,27	12,29	4328	11,47		
AI08c	5075	5032	13,97	13,74	4894	4922	13,00	13,15	4739	12,18		
AI09a	5091		15,30		4797	4744	13,58	13,28	4388	11,36		
AI09b	5060	4968	14,63	14,11	4407	4294	11,10	10,54	4602	12,11		
AI09c	4982	5030	16,32	16,63	4690	4651	14,46	14,22	4712	14,60		
AI10a	5446		15,80		5102	5189	13,87	14,34	5036	13,51		
AI10b	5304	5223	16,95	16,43	4954	4849	14,78	14,16	4664	13,10		
AI10c	4719	4728	12,00	12,05	4651	4656	11,66	11,68	4487	10,85		
AI11a	5057		14,89		4700	4860	12,86	13,75	4802	13,42		
AI11b	5131	5069	16,57	16,17	4507	4414	12,79	12,26	4818	14,62		
AI11c	4701	4800	15,66	16,33	4555	4669	14,71	15,45	4501	14,35		
AI12a	5201		13,84		4839	4867	11,98	12,12	4861	12,09		
AI12b	5256	5087	17,44	16,34	4805	4692	14,57	13,90	4794	14,51		
AI12c	4721	4691	12,82	12,66	4589	4492	12,11	11,61	4434	11,31		
AI13a	4906		13,97		4521	4595	11,86	12,25	4311	10,78		
AI13b	5179	5212	15,46	15,66	4950	5053	14,12	14,72	4826	13,43		
AI13c	5082	4942	16,78	15,86	4828	4783	15,14	14,86	4628	13,91		
AI14a	5045		14,30		4890	4865	13,43	13,30	4753	12,69		
AI14b	4789	4816	15,78	15,97	4430	4627	13,50	14,73	4530	14,12		
AI14c	4893	4794	15,92	15,28	4739	4489	14,94	13,40	4538	13,70		
AI15a	5627		17,75		5219	5386	15,27	16,26	5168	14,97		
AI15b	5063	5005	12,72	12,43	4612	4501	10,56	10,05	4532	10,19		
AI15c	5319	5248	16,56	16,12	5088	4847	15,15	13,75	4955	14,37		
AI16a	5065		16,60		4773	4772	14,74	14,74	4579	13,57		
AI16b	5299	5124	15,72	14,70	4492	4410	11,29	10,89	4715	12,44		
AI16c	4913	4951	14,15	14,36	4677	4606	12,82	12,43	4488	11,80		
AI17a	5130		15,51		4818	4762	13,68	13,37	4307	10,94		
AI17b	4916	4805	16,43	15,69	4511	4494	13,83	13,73	4487	13,69		
AI17c	4842	4880	13,92	14,15	4698	4608	13,11	12,61	4424	11,62		
AI18a	5452		17,24		4880	5114	13,81	15,17	4925	14,07		
AI18b	4986	5022	14,49	14,70	4769	4838	13,26	13,64	4558	12,11		
AI18c	5104	5120	16,43	16,53	4739	4715	14,16	14,02	4403	12,23		
AI19a	5057		15,10		4810	4826	13,66	13,75	4718	13,14		
AI19b	4789	4770	15,25	15,13	4731	4674	14,88	14,53	4533	13,67		
AI19c	4925	4976	14,79	15,10	4666	4631	13,27	13,07	4499	12,34		

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AI20a	5627		16,82		5185	5103	14,28	13,83	5050	13,54		
AI20b	5378	5369	16,91	16,85	4691	4710	12,87	12,97	4898	14,03		
AI20c	5242	5212	14,75	14,58	5046	4932	13,67	13,06	4875	12,76		
AI21a	5360		14,99		5023	5038	13,16	13,25	4919	12,63		
AI21b	5156	5114	15,43	15,18	4740	4754	13,04	13,11	4862	13,72		
AI21c	4933	4951	14,37	14,48	4721	4606	13,16	12,53	4613	12,57		
AI22a	5389		14,25		4994	5009	12,23	12,31	4652	10,62		
AI22b	5142	5051	16,78	16,19	4462	4459	12,63	12,61	4690	13,96		
AI22c	4770	4781	15,58	15,65	4594	4582	14,45	14,37	4477	13,72		
AI23a	4537		12,34		4332	4362	11,25	11,41	4294	11,05		
AI23b	4906	4862	14,79	14,52	4404	4529	11,91	12,60	4569	12,82		
AI23c	4953	4984	13,85	14,03	4915	4745	13,65	12,72	4726	12,62		
AI24a	5165		13,92		4805	4967	12,05	12,87	4991	13,00		
AI24b	5587	5031	17,34	14,06	4588	4524	11,70	11,37	4716	12,36		
AI24c	5284	5235	17,34	17,02	5089	4951	16,08	15,22	4903	14,93		
AI25a	5071		14,45		4826	4764	13,09	12,75	4585	11,82		
AI25b	5035	4997	15,48	15,25	4765	4766	13,87	13,87	4643	13,16		
AI25c	5112	4918	17,53	16,22	4966	4847	16,54	15,75	4755	15,17		
AI26a	4818	4847	11,86	12,01	4619	4554	10,90	10,60	4477	10,24		
AI26b	5055	5122	15,64	16,06	4812	4872	14,17	14,53	4643	13,20		
AI26c	4694	4691	12,33	12,32	4482	4288	11,24	10,29	4444	11,05		
AI27a	4804	4755	14,45	14,15	4262	4211	11,37	11,10	4293	11,53		
AI27b	4942	4890	15,18	14,87	4673	4681	13,58	13,62	4592	13,11		
AI27c	5098	5089	14,15	14,10	4818	4621	12,64	11,63	4593	11,49		
AI28a	4879	4801	14,63	14,17	4432	4145	12,08	10,56	4137	10,52		
AI28b	4839	5052	15,34	16,72	4561	4770	13,63	14,91	4456	13,01		
AI28c	5218	5235	16,10	16,21	5018	4951	14,89	14,50	4893	14,16		
AI29a	4573	4572	12,60	12,60	4119	4052	10,23	9,90	4174	10,50		
AI29b	4992	5316	16,11	18,27	4383	4474	12,41	12,94	4655	14,01		
AI29c	5448	5370	16,35	15,89	5202	5125	14,91	14,47	5132	14,51		
AI30a	4659	4575	12,95	12,48	4463	4387	11,88	11,48	4503	12,09		
AI30b	5233	5251	16,53	16,64	4871	4878	14,32	14,36	4898	14,48		
AI30c	4733	4720	13,43	13,35	4527	4400	12,28	11,61	4482	12,04		
AI31a	4701	4614	13,20	12,71	4423	4348	11,68	11,29	4451	11,83		
AI31b	4783	4767	15,25	15,14	4666	4593	14,51	14,06	4393	12,86		
AI31c	5092	5099	14,92	14,97	4832	4795	13,44	13,23	4790	13,21		
AI32a	5273	5353	13,80	14,22	4990	4966	12,35	12,23	4860	11,72		
AI32b	4365	4340	12,25	12,11	3912	3977	9,84	10,17	3984	10,21		
AI32c	5455	5463	17,11	17,16	5018	5014	14,48	14,46	5003	14,39		
AI33a	4890	5030	13,80	14,60	4452	4510	11,44	11,73	4478	11,57		
AI33b	5147	5188	16,79	17,06	4837	4861	14,83	14,98	4814	14,69		
AI33c	5020	5048	13,65	13,80	4677	4592	11,84	11,42	4719	12,06		
AI34a	5128	5032	15,58	15,01	4444	4377	11,70	11,35	4598	12,53		
AI34b	4990	4949	15,36	15,10	4448	4350	12,20	11,67	4465	12,29		
AI34c	4665	4743	11,99	12,40	4451	4422	10,92	10,78	4387	10,61		
AI35a	5068	4996	13,19	12,82	4857	4758	12,11	11,62	4720	11,44		
AI35b	4929	4961	13,71	13,89	4577	4649	11,83	12,20	4526	11,56		
AI35c	4988	4899	14,66	14,15	4862	4775	13,93	13,44	4637	12,68		
AI36a	4739	4720	11,23	11,14	4458	4365	9,94	9,53	4306	9,27		
AI36b	5142	5133	18,56	18,49	4573	4515	14,68	14,31	4559	14,59		
AI36c	4873	4885	14,63	14,70	4619	4548	13,15	12,74	4288	11,33		
AI37a	4816	4700	13,98	13,32	4340	4274	11,35	11,01	4287	11,08		
AI37b	5364	5354	16,92	16,85	4359	4304	11,17	10,89	4809	13,60		
AI37c	5274	5172	16,69	16,05	5016	4847	15,10	14,09	4835	14,03		
AI38a	4733	4557	14,33	13,28	4420	4348	12,50	12,09	4326	11,97		
AI38b	5162	5046	15,57	14,88	4693	4655	12,87	12,66	4650	12,64		
AI38c	4738	4759	12,85	12,97	4548	4521	11,85	11,70	4226	10,23		
AI39a	5162	5202	16,35	16,60	4714	4625	13,64	13,12	4823	14,27		
AI39b	4901	4827	13,09	12,69	4757	4668	12,33	11,87	4419	10,64		

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AI39c	5051	4959	12,34	11,89	4813	4695	11,21	10,66	4675	10,57		
AI40a	4893	5409	12,80	15,64	4607	4520	11,35	10,92	4380	10,26		
AI40b	5413	5289	16,64	15,88	4888	4946	13,57	13,89	4932	13,81		
AI40c	5129	5087	14,90	14,65	5123	4965	14,86	13,96	4620	12,09		
AI41a	4737	4680	13,98	13,64	4391	4398	12,01	12,05	4309	11,57		
AI41b	5447	5371	15,68	15,25	4912	5207	12,75	14,33	5189	14,23	5192	14,25
AI41c	5007	4991	16,56	16,45	4978	4954	16,36	16,21	4496	13,35	4486	13,29
AI42a	4843	4946	14,61	15,24	4732	4704	13,95	13,78	4425	12,20		
AI42b	4914	4885	13,44	13,29	4601	4948	11,78	13,63	4882	13,26	4386	10,71
AI42c	4793	4695	11,46	11,00	4807	4752	11,53	11,27	4389	9,61	4389	9,61
AI43a	5076	5042	13,83	13,64	4891	4792	12,84	12,32	4945	13,12		
AI43b	4555	4422	13,18	12,42	4222	4487	11,32	12,79	4261	11,53	4147	10,92
AI43c	4086	4095	10,24	10,29	4217	4165	10,91	10,64	3881	9,24	4057	10,10
AI44a	5345	5265	16,07	15,59	5089	4962	14,56	13,85	4960	13,84		
AI44b	5080	4979	14,67	14,09	4559	5003	11,82	14,23	4873	13,50	4982	14,11
AI44c	5115	4923	16,11	14,92	5120	5002	16,14	15,40	4394	11,89	4498	12,46
AI45a	4856	4790	12,46	12,13	4723	4618	11,79	11,27	4439	10,42		
AI45b	5182	5159	15,38	15,25	4536	5045	11,79	14,58	4850	13,47	4929	13,91
AI45c	5038	4957	13,41	12,99	5069	5058	13,58	13,52	4558	10,98	4508	10,74
AI46a	5417	5034	16,24	14,02	4590	4590	11,66	11,66	4428	10,85		
AI46b	4964	4789	14,18	13,20	4436	5001	11,32	14,39	4632	12,35	4628	12,33
AI46c	4488	4621	11,65	12,35	4519	4693	11,82	12,74	4137	9,90	4186	10,14
AI47a	4959	4973	14,58	14,66	4264	4376	10,78	11,35	4215	10,53		
AI47b	5141	5991	13,27	18,02	4673	4648	10,97	10,85	4912	12,11	4953	12,32
AI48a	4868	4841	14,37	14,21	4554	4442	12,58	11,97	4394	11,71		
AI48b	4995	5015	13,80	13,91	4679	4978	12,11	13,71	4831	12,91	4843	12,97
AI48c	4837	4708	11,45	10,85	4820	4794	11,37	11,25	4460	9,74	4485	9,85
AI49a	4233	4208	11,16	11,03	4010	4036	10,02	10,15	3841	9,19		
AI49b	5033	4816	15,14	13,86	4638	4844	12,85	14,02	4524	12,23	4555	12,39
AI49c	5536	5337	18,56	17,25	5460	5325	18,05	17,17	5102	15,76	5102	15,76
AI50a	4906	5036	14,19	14,96	4467	4358	11,77	11,20	4430	11,57		
AI50b	4680	4527	13,07	12,23	4584	4799	12,54	13,75	4588	12,56	4702	13,20
AI50c	5001	4884	14,79	14,11	4960	4926	14,55	14,35	4494	11,94	4496	11,95
AI51b	5139	5639	14,67	17,66	4585	4988	11,68	13,82	4727	12,41	4316	10,35
AI51c	4901	4852	15,70	15,40	4914	4890	15,79	15,64	4650	14,14	4695	14,41
AI52b	4742	4749	14,38	14,42	4246	4473	11,53	12,79	4458	12,71	4430	12,55
AI52c	5062	5035	14,33	14,18	5083	5082	14,45	14,45	4699	12,35	4487	11,26
AI53b	4442	4409	12,40	12,22	4264	4513	11,43	12,80	4347	11,87	4403	12,19
AI53c	5276	5252	15,76	15,62	5328	5386	16,07	16,43	4960	13,93	4954	13,90
AI54b	4633	4594	12,88	12,67	4496	4854	12,13	14,14	4463	11,96	4465	11,97
AI54c	5100	4904	15,06	13,93	5081	5042	14,95	14,72	4775	13,20	4438	11,40
AI55b	5258	4941	14,80	13,07	4878	4929	12,73	13,00	4825	12,46	4997	13,36
AI55c	4893	4783	13,70	13,09	4908	4823	13,79	13,31	4372	10,94	4402	11,09
AI56b	5513	5416	18,17	17,53	5080	5290	15,43	16,73	5263	16,56	4799	13,77
AI57b	5443	5388	16,83	16,49	4846	5068	13,34	14,59	4931	13,81	4989	14,14
AI58b	5189	5408	15,55	16,90	4771	4787	13,15	13,23	4837	13,52	4910	13,92
AI59b	5098	4979	13,94	13,30	4603	4848	11,37	12,61	4784	12,28	4805	12,39
AI60b	4652	4526	13,14	12,44	4290	4870	11,18	14,41	4247	10,96	4517	12,39
AI61b	5385	5433	16,18	16,48	5089	5336	14,45	15,89	5125	14,65	4995	13,92
AI62b	5055	4981	12,87	12,50	4632	4887	10,81	12,03	4793	11,57	4788	11,55
AII01b	4925	4694	14,93	13,56	4875	4505	14,63	12,50	4271	11,23		
AII01c	4920	4677	15,17	13,71	4775	4594	14,29	13,23	4615	13,35		
AII02b	4882	4741	14,00	13,21	4795	4822	13,51	13,66	4522	12,01		
AII02c	5312	5109	16,25	15,03	5173	5173	15,40	15,41	5092	14,93		
AII03b	4450	4249	12,46	11,36	4426	4586	12,33	13,24	4083	10,49		
AII03c	5262	5080	16,31	15,21	5028	5124	14,90	15,47	4984	14,64		
AII04b	4970	4983	14,64	14,71	4705	4314	13,12	11,03	4649	12,81		
AII04c	5238	4776	15,13	12,58	5093	5189	14,30	14,85	4977	13,66		
AII05b	4599	4466	12,62	11,90	4389	4180	11,50	10,43	4141	10,23		

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AII05c	5292	4719	15,15	12,05	5169	4958	14,45	13,30	4842	12,69		
AII06b	4936	4937	14,33	14,34	4920	4563	14,24	12,25	4470	11,75		
AII06c	4630	4744	10,25	10,76	4709	4534	10,60	9,83	4472	9,56		
AII07b	4586	4266	14,19	12,28	4497	4008	13,64	10,84	4149	11,62		
AII07c	4934	4664	12,87	11,50	4800	4671	12,18	11,54	4608	11,22		
AII08b	4788	4706	14,72	14,21	4549	4239	13,28	11,53	4252	11,61		
AII08c	5026	4716	13,36	11,76	4951	4831	12,96	12,35	4764	12,00		
AII09b	4846	4658	14,66	13,55	4915	4930	15,08	15,17	4435	12,28		
AII09c	5373	5142	16,98	15,55	5231	5179	16,09	15,78	5199	15,90		
AII10b	5055	4710	15,57	13,52	4595	4282	12,87	11,17	4523	12,47		
AII10c	4822	4541	13,30	11,79	4804	4388	13,20	11,01	4424	11,19		
AII11a	4806	4484	13,55	11,80	4300	4029	10,85	9,53	4466	11,70		
AII11c	5012	4626	13,51	11,51	4709	4509	11,93	10,93	4537	11,07		
AII12a	4363	4229	11,04	10,37	3995	3773	9,25	8,25	4034	9,44		
AII12b	4603	4428	11,89	11,00	4339	3885	10,56	8,47	4150	9,66		
AII12c	5037	4768	15,83	14,19	4640	4240	13,43	11,22	4614	13,29		
AII13a	4454	4300	14,58	13,59	4066	4148	12,15	12,65	4218	13,08		
AII13b	4880	4712	14,71	13,72	4556	4129	12,82	10,53	4331	11,58		
AII13c	4969	4699	13,35	11,93	4881	4706	12,88	11,97	4659	11,73		
AII14b	4794	4587	14,56	13,34	4619	4241	13,52	11,40	4388	12,20		
AII14c	5157	4875	15,54	13,89	5053	4670	14,92	12,74	4797	13,44		
AII15b	4779	4524	15,11	13,54	4729	4541	14,80	13,64	4491	13,35		
AII15c	5137	4541	12,97	10,13	4839	4617	11,51	10,48	4617	10,48		
AII16a	4878	4609	13,83	12,35	4469	4281	11,61	10,65	4560	12,08		
AII16b	4454	4282	12,24	11,32	4502	4524	12,51	12,63	4273	11,27		
AII16c	4874	4598	12,93	11,51	4715	4748	12,10	12,27	4466	10,86		
AII17a	4315	4658	13,14	15,31	4000	3989	11,30	11,23	4023	11,43		
AII17b	4489	4296	11,44	10,48	4320	4265	10,60	10,33	4137	9,72		
AII17c	5399	5158	15,91	14,52	4974	5010	13,50	13,70	5126	14,35		
AII18a	4201	4569	10,34	12,23	4041	4041	9,57	9,57	4099	9,85		
AII18b	4956	4695	14,09	12,64	4653	4494	12,42	11,58	4459	11,40		
AII18c	4927	4851	13,49	13,07	4840	4514	13,01	11,32	4601	11,76		
AII19a	4805	4429	12,74	10,82	4492	4372	11,13	10,54	4449	10,92		
AII19b	4507	4369	12,32	11,58	4510	4157	12,34	10,48	4144	10,42		
AII19c	5006	4717	15,36	13,64	4928	4667	14,88	13,35	4717	13,64		
AII20a	4661	4306	12,69	10,84	4497	4142	11,82	10,03	4222	10,42		
AII20b	5149	4861	15,85	14,12	5044	4565	15,21	12,46	4818	13,87		
AII20c	4550	4376	12,37	11,44	4497	4480	12,09	12,00	4258	10,84		
AII21b	5302	4937	14,72	12,77	5038	4592	13,29	11,04	4767	11,90		
AII21c	5084	4905	14,00	13,03	5045	5208	13,78	14,69	4897	12,99		
AII22a	4363	4098	10,78	9,51	3907	3700	8,65	7,75	4065	9,36		
AII22b	4747	4601	13,95	13,11	4518	4404	12,64	12,01	4361	11,78		
AII22c	5046	4705	13,71	11,92	5037	4359	13,66	10,23	4452	10,67		
AII23a	4444	4278	11,79	10,92	3996	3846	9,53	8,83	4394	11,53		
AII23b	4875	4743	14,24	13,48	4615	4404	12,76	11,62	4459	11,91		
AII23c	5293	4809	15,47	12,77	5191	4988	14,88	13,74	4801	12,73		
AII24b	5187	4957	15,95	14,57	4907	4550	14,28	12,27	4676	12,96		
AII24c	4998	4998	13,42	13,42	4887	5031	12,83	13,60	4708	11,91		
AII25a	4656	4327	12,93	11,16	4179	3890	10,41	9,03	4245	10,75		
AII25b	4509	4468	11,51	11,30	4421	4130	11,07	9,66	4141	9,71		
AII25c	5051	4659	14,54	12,37	4933	4482	13,87	11,45				
AII26a	4967	4639	12,18	10,62	4772	4616	11,25	10,52	4788	11,32		
AII26b	4658	4608	12,70	12,42	4400	4275	11,33	10,70	4368	11,17		
AII26c	5066	4821	15,54	14,07	4982	5600	15,03	18,99	4831	14,13		
AII27a	5174	4894	16,40	14,68	4655	4571	13,28	12,80	4884	14,61		
AII27b	4578	4334	13,21	11,84	4516	4353	12,86	11,95	4153	10,87		
AII27c	4695	4239	13,45	10,96	4642	4947	13,14	14,92	4357	11,58		
AII28a	4842	4472	12,46	10,62	4411	4544	10,34	10,97	4400	10,29		
AII28b	4749	4602	13,59	12,76	4402	3941	11,68	9,36	4300	11,14		

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AII28c	5170	4680	16,01	13,12	4953	4776	14,70	13,67	4717	13,33		
AII29a	4756	4252	12,81	10,24	4190	4084	9,94	9,45	4147	9,74		
AII29b	4741	4416	13,55	11,76	4221	3904	10,74	9,19	4211	10,69		
AII29c	5011	4883	16,18	15,37	4902	4796	15,49	14,82	4769	14,66		
AII30a	4704	4477	12,90	11,68	4258	3939	10,57	9,05	4367	11,11		
AII30b	4901	4670	13,93	12,64	4662	4558	12,60	12,05	4434	11,40		
AII30c	5345	5074	15,63	14,08	5134	4901	14,41	13,14	5058	13,99		
AII31b	4507	4378	12,29	11,60	4224	4293	10,80	11,15	4009	9,72		
AII31c	5150	4831	15,57	13,70	5008	4630	14,72	12,58	4798	13,51		
AII32a	4427	4226	11,02	10,05	4303	3995	10,42	8,98	4072	9,33		
AII32b	4819	4597	15,94	14,51	4827	4544	16,00	14,17	4441	13,54		
AII32c	4903	5599	13,69	17,85	4831	4605	13,29	12,07	4536	11,72		
AII33a	4432	4165	10,21	9,01	4115	4010	8,80	8,35	4180	9,08		
AII33b	4904	4675	14,54	13,21	4524	4146	12,37	10,39	4470	12,08		
AII33c	4980	5086	15,57	16,24	5010	4952	15,76	15,39	4985	15,60		
AII34a	4591	4195	12,51	10,44	4272	4154	10,83	10,24	3956	9,29		
AII34b	4974	4755	14,04	12,83	4730	4345	12,70	10,71	4582	11,91		
AII34c	4937	4524	14,28	11,99	4823	3866	13,63	8,76	4523	11,99		
AII35a	4563	4281	11,97	10,53	4234	4260	10,30	10,43	4239	10,32		
AII35b	4504	4330	10,88	10,06	4318	4069	10,00	8,88	4046	8,78		
AII35c	4660	4516	14,01	13,16	4623	4458	13,79	12,82	4446	12,75		
AII36a	4950	4760	14,17	13,10	4543	4285	11,93	10,62	4570	12,08		
AII36b	4678	4465	12,03	10,96	4519	4435	11,23	10,81	4435	10,81		
AII36c	4997	4596	14,58	12,33	4909	4539	14,07	12,03	4673	12,75		
AII37a	5260	5004	17,90	16,20	4788	4689	14,83	14,23	4834	15,12		
AII37b	4710	4585	12,73	12,07	4428	4261	11,26	10,42	4243	10,34		
AII37c	4818	4686	11,89	11,25	4698	4063	11,31	8,46	4523	10,48		
AII38a	4636	4368	12,66	11,24	4329	4455	11,04	11,70	4158	10,19		
AII38b	5011	4985	15,57	15,41	4929	4795	15,06	14,26	4846	14,56		
AII38c	5289	4990	16,36	14,56	5081	4910	15,10	14,10	4952	14,34		
AII39a	5145	4775	15,36	13,23	4568	4426	12,11	11,37	4697	12,80		
AII39b	5377	5197	15,50	14,47	5157	4803	14,25	12,36	4987	13,33		
AII39c	5313	5825	17,57	21,12	5180	4839	16,70	14,57	4945	15,22		
AII40a	4436	4268	12,07	11,17	4046	3775	10,04	8,74	3916	9,41		
AII40b	5174	5004	15,37	14,38	4850	4718	13,51	12,78	4820	13,34		
AII40c	4884	4698	13,77	12,74	4711	3886	12,81	8,72	4431	11,34		
AII41a	4872	4644	12,43	11,29	4438	4243	10,31	9,42	4512	10,66		
AII41b	5037	4981	14,19	13,89	4574	4509	11,71	11,38	4646	12,08	4701	12,37
AII42a	4316	4049	11,30	9,95	3910	3619	9,27	7,95	4011	9,76		
AII42b	5039	4971	14,93	14,53	4477	4358	11,79	11,17	4690	12,93	4660	12,77
AII42c	4443	4456	11,40	11,47	4427	4445	11,32	11,41			4339	10,88
AII43a	4732	5122	12,89	15,10	4191	4000	10,11	9,21	4351	10,90		
AII43b	5010	4948	12,64	12,33	4846	4967	11,83	12,43	4707	11,16	4713	11,19
AII43c	4538	4434	10,91	10,42	4561	4481	11,02	10,64	4008	8,51	4196	9,33
AII44a	4832	4561	13,57	12,09	4424	3983	11,38	9,22	4556	12,07		
AII44b	5120	5049	17,04	16,57	4275	4243	11,88	11,70	4675	14,21	4878	15,46
AII45a	4411	4004	13,02	10,73	4128	3755	11,40	9,44	3845	9,90		
AII45b	5435	5390	15,50	15,25	4593	4697	11,07	11,58	5158	13,96	4581	11,02
AII45c	4820	4698	12,76	12,12	4837	4731	12,85	12,29	4434	10,79	4588	11,56
AII46a	4776	4426	11,67	10,02	4378	4065	9,81	8,46	4347	9,67		
AII46b	5354	4883	15,57	12,95	4451	4249	10,76	9,81	4287	9,99	5020	13,69
AII46c	4401	4376	11,50	11,37	4402	4297	11,50	10,96	4062	9,80	4226	10,60
AII47a	4270	4053	9,88	8,90	3871	4134	8,12	9,26	3982	8,59		
AII47b	5146	4753	17,46	14,90	4233	4063	11,81	10,88	4848	15,49	4787	15,11
AII47c	4575	4645	13,35	13,76	4526	4679	13,07	13,96	4169	11,09	4273	11,65
AII48a	4892	4621	14,02	12,51	4329	3994	10,98	9,34	4010	9,42		
AII48b	5280	4959	15,94	14,06	4861	4708	13,51	12,67	5039	14,52	4995	14,27
AII48c	5184	5037	14,21	13,42	5162	4897	14,09	12,68	4710	11,73	4823	12,30
AII49a	4871	4574	13,33	11,75	4359	3835	10,67	8,26	4435	11,05		

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AII49b	4954	4396	15,58	12,26	4419	4248	12,39	11,45	4557	13,18	4539	13,08
AII49c	4818	4983	14,01	14,99	4831	4986	14,09	15,00	4556	12,53	4613	12,84
AII50a	5083	4446	14,87	11,38	4750	4164	12,99	9,98	4568	12,01		
AII50b	5153	5236	15,28	15,77	4815	4552	13,34	11,92	4878	13,69	5273	16,00
AII50c	4777	4738	12,82	12,61	4727	4724	12,55	12,54	4386	10,81	4416	10,96
AII51a	4720	4417	13,37	11,70	4434	3964	11,80	9,43	4265	10,91		
AII51b	5166	5150	17,45	17,35	4428	4385	12,82	12,57	4792	15,02	4824	15,22
AII51c	4956	5008	15,26	15,57	4985	5035	15,43	15,74	4747	13,99	4724	13,86
AII52a	4880	4733	12,65	11,90	4595	4516	11,21	10,83	4646	11,46		
AII52b	5170	5133	15,54	15,32	4531	4377	11,93	11,14	4809	13,44	4656	12,60
AII52c	5047	4989	13,09	12,79	5047	4989	13,09	12,79			4704	11,38
AII53a	4467	4297	12,49	11,56	4037	3700	10,20	8,57	4199	11,04		
AII53c	4755	4813	12,70	13,01	4750	4818	12,68	13,04	4519	11,47	4577	11,77
AII54b	5197	5193	15,31	15,29	4553	4620	11,75	12,10	4697	12,51	4533	11,65
AII54c	4929	4874	14,01	13,69	4983	4986	14,32	14,33	4531	11,84	4656	12,50
AII55a	4320	4036	10,49	9,16	4160	4258	9,73	10,19	4011	9,05		
AII55b	4959	4825	15,02	14,22	3997	3864	9,76	9,12	4531	12,54	4590	12,87
AII55c	4941	4851	12,99	12,52	4932	4840	12,94	12,46			4889	12,71
AII56a	4507	4598	12,49	13,00	3999	3732	9,83	8,57	4145	10,57		
AII56b	4631	4356	13,59	12,03	4235	4039	11,37	10,34	4274	11,58	4282	11,62
AII57a	5316	5170	13,96	13,21	4740	4770	11,10	11,24	4808	11,42		
AII57b	5008	4803	13,40	12,32	4557	4418	11,09	10,43	4682	11,71	4689	11,74
AII58a	5013	4880	14,66	13,89	4485	4413	11,73	11,36	4130	9,95		
AII58b	5222	4462	17,48	12,77	4533	4336	13,18	12,05	4795	14,74	4781	14,65
AII59a	4455	4300	10,50	9,78	4054	4004	8,69	8,48	4146	9,09		
AII59b	4858	4932	14,31	14,75	4312	4343	11,27	11,44	4551	12,56	4285	11,13
AII60a	5083	4911	15,63	14,59	4781	4444	13,83	11,95	4712	13,43		
AII60b	5010	4948	12,81	12,50	4388	4295	9,83	9,42	4707	11,31	4713	11,34
AII61b	5033	4919	15,79	15,07	4421	4299	12,18	11,52	4593	13,15	4615	13,27
AII62b	5205	5130	17,70	17,19	4613	4564	13,90	13,61	4901	15,69	4861	15,43
AII63b	5063	4897	13,37	12,51	4211	3989	9,25	8,30	4449	10,32	4476	10,45
AII64b	4872	4796	13,72	13,30	4488	4211	11,64	10,25	4424	11,31	4381	11,09
AIII53c	4715	4857	10,85	11,51	4827	4904	11,37	11,74	4447	9,65	4455	9,68
AIII01b	4696	4375	13,41	11,64	4774	4457	13,86	12,08	4307	11,28	4331	11,41
AIII01c	5108	5131	14,17	14,30	5189	5098	14,62	14,11	4817	12,60	4943	13,27
AIII02b	4486	4506	12,24	12,35	4704	4407	13,46	11,82	4162	10,54	4496	12,30
AIII02c	5130	5080	15,79	15,48	5177	5065	16,08	15,39	4783	13,72	4920	14,52
AIII03b	4516	4323	10,67	9,78	4907	4252	12,60	9,46	4137	8,95	4193	9,20
AIII03c	4754	4632	13,20	12,53	4807	4329	13,49	10,95	4300	10,80	4489	11,77
AIII04b	4824	4897	12,67	13,06	4999	4592	13,61	11,48	4466	10,86	4489	10,97
AIII04c	5159	5095	15,59	15,20	5246	5224	16,11	15,98	4789	13,43	4967	14,44
AIII05b	4926	4869	14,56	14,22	4769	4526	13,65	12,29	4488	12,08	4457	11,92
AIII05c	5253	5287	16,27	16,48	5339	5291	16,81	16,51	4908	14,20	5088	15,26
AIII06b	4754	4684	14,67	14,25	4804	4431	14,99	12,75	4377	12,44	4457	12,90
AIII06c	5401	5230	17,21	16,13	5441	5302	17,46	16,59	5016	14,84	5241	16,20
AIII07b	4691	4653	11,82	11,63	4752	4609	12,14	11,42	4430	10,54	4461	10,69
AIII07c	5349	5186	16,46	15,47	5363	5230	16,54	15,73	4974	14,23	5059	14,72
AIII08b	5207	4883	15,34	13,49	5249	4947	15,58	13,84	4652	12,24	4898	13,57
AIII08c	4684	4499	11,63	10,73	4753	4684	11,98	11,63	4390	10,22	4554	10,99
AIII09b	4724	4216	12,95	10,31	4768	4316	13,19	10,81	4413	11,30	4865	13,74
AIII09c	4811	4367	13,68	11,27	4694	4638	13,03	12,72	3922	9,09	4348	11,17
AIII10b	4832	4717	12,54	11,95	4828	4566	12,52	11,20	4544	11,09	4714	11,94
AIII10c	4669	4423	13,48	12,10	4684	4703	13,57	13,68	4268	11,26	4338	11,64
AIII11b	4821	4511	14,28	12,51	4670	4434	13,40	12,08	4423	12,02	4454	12,19
AIII11c	5294	5354	16,50	16,88	5367	5389	16,96	17,10	5017	14,82	4484	11,84
AIII12b	4823	4714	12,99	12,40	4855	4807	13,16	12,90	4790	12,80	5003	13,97
AIII12c	5284	4735	15,77	12,66	5319	5208	15,98	15,32	4887	13,49	4981	14,01
AIII13b	5393	4935	16,78	14,05	5349	4746	16,51	13,00	4863	13,65	5065	14,80
AIII13c	4753	4871	12,68	13,32	4841	4883	13,15	13,38	4450	11,11	4500	11,36

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AIII14b	4735	4274	14,18	11,55	4665	4425	13,77	12,39	4516	12,90	4375	12,11
AIII14c	5436	5030	15,42	13,20	5739	5460	17,18	15,55	5009	13,09	4732	11,68
AIII15b	5023	4859	18,40	17,22	5000	4690	18,23	16,04	4569	15,22	4482	14,65
AIII15c	3726	3734	8,50	8,53	3901	4070	9,31	10,14	3823	8,94	4051	10,04
AIII16b	4976	4670	14,05	12,38	4994	4681	14,16	12,44	4414	11,06	4429	11,13
AIII16c	4862	4839	14,35	14,21	4483	4409	12,20	11,80	4325	11,35	4505	12,32
AIII17b	4120	4105	11,11	11,03	4187	4024	11,48	10,60	3789	9,40	3827	9,59
AIII17c	5059	4852	18,06	16,61	5123	4967	18,52	17,41	4537	14,53	4728	15,77
AIII18b	5067	4771	14,04	12,45	5079	4799	14,10	12,59	4640	11,77	4840	12,81
AIII18c	4932	4665	16,07	14,38	5101	4907	17,19	15,91	4572	13,81	5089	17,11
AIII19b	4810	4642	13,09	12,19	4717	4234	12,58	10,14	4364	10,77	4305	10,49
AIII19c	4969	4928	13,98	13,75	5074	5049	14,57	14,43	4679	12,40	4956	13,91
AIII20b	5037	5120	15,50	16,01	4971	4643	15,10	13,17	4632	13,11	4580	12,82
AIII20c	4648	4626	11,66	11,55	4929	4729	13,11	12,07	4351	10,22	4587	11,35
AIII21b	5244	4758	17,36	14,29	4941	4563	15,41	13,14	4011	10,15	4515	12,86
AIII21c	4829	4409	14,09	11,75	4847	4783	14,20	13,83	4215	10,73	4451	11,97
AIII22b	4702	4562	14,09	13,26	4720	4386	14,20	12,26	4256	11,55	4226	11,38
AIII22c	5302	4942	16,53	14,37	5299	5277	16,52	16,38	4695	12,97	5033	14,90
AIII23b	4452	4099	10,76	9,12	4447	4402	10,74	10,52	4099	9,12	3972	8,57
AIII23c	4836	4457	17,16	14,57	4894	4880	17,57	17,47	4408	14,25	4637	15,77
AIII24b	5011	4762	13,08	11,82	4832	4442	12,17	10,28	4405	10,11	4467	10,40
AIII24c	5182	5072	16,31	15,63	5231	5057	16,62	15,54	4684	13,33	4182	10,63
AIII25b	4972	4532	13,69	11,38	4942	4660	13,53	12,03	4457	11,00	4492	11,18
AIII25c	5117	4862	16,03	14,47	5172	5542	16,38	18,80	4826	14,26	4889	14,64
AIII26b	4941	4665	12,41	11,06	4959	4537	12,49	10,46	4527	10,41	4579	10,66
AIII26c	5379	5093	17,09	15,32	5133	4851	15,56	13,90	4953	14,49	4872	14,02
AIII27b	4519	4411	13,06	12,44	4504	4101	12,97	10,75	4040	10,44	4090	10,69
AIII27c	4721	4988	11,90	13,28	4992	4816	13,30	12,38	4565	11,12	4643	11,51
AIII28b	5048	4910	14,28	13,51	5067	4771	14,39	12,75	4621	11,97	4816	13,00
AIII28c	5004	4986	13,57	13,47	5042	5130	13,78	14,26	4689	11,91	4650	11,72
AIII29b	4498	4225	12,95	11,42	4620	4881	13,66	15,25	4310	11,89	4307	11,88
AIII29c	5345	5065	17,26	15,50	5358	5419	17,34	17,74	5008	15,16	5203	16,36
AIII30b	4749	4562	12,12	11,18	4759	4453	12,17	10,66	4395	10,38	4375	10,29
AIII30c	4789	4644	14,36	13,50	4821	4693	14,55	13,79	4385	12,04	4583	13,15
AIII31b	5089	4930	13,62	12,78	5301	5004	14,77	13,16	4413	10,24	4917	12,71
AIII31c	4594	4738	13,43	14,29	4643	4710	13,72	14,12	4501	12,89	4378	12,20
AIII32b	4766	4384	14,19	12,01	4472	4470	12,50	12,48	4529	12,82	4828	14,56
AIII32c	4884	4844	13,70	13,48	4929	4847	13,96	13,50	4126	9,78	4586	12,08
AIII33b	4881	4731	13,48	12,67	4965	4646	13,95	12,22	4327	10,60	4512	11,52
AIII33c	4916	4856	12,86	12,55	5084	5002	13,75	13,31	4430	10,44	4575	11,14
AIII34b	4887	4728	12,82	12,00	4778	4396	12,25	10,37	4431	10,54	4476	10,75
AIII35b	5192	5263	15,20	15,62	5166	4621	15,05	12,04	4758	12,77	4854	13,29
AIII35c	4998	4850	14,41	13,57	5132	5057	15,20	14,76	4550	11,95	4790	13,24
AIII36b	4227	4527	11,46	13,14	4559	4271	13,33	11,70	4129	10,93	4150	11,04
AIII36c	5234	5240	15,71	15,75	5351	5354	16,42	16,45	4844	13,46	4862	13,56
AIII37b	5188	5073	16,59	15,86	5239	4812	16,92	14,27	4776	14,06	4781	14,09
AIII37c	5484	5242	17,74	16,21	5503	5236	17,86	16,17	4956	14,49	5106	15,38
AIII38b	5001	5008	14,60	14,64	4935	4518	14,22	11,92	4522	11,94	4497	11,81
AIII38c	5351	5104	17,00	15,47	5478	5481	17,82	17,84	5271	16,49	5286	16,59
AIII39b	4604	4538	13,38	13,00	4665	4288	13,73	11,61	4193	11,10	4193	11,10
AIII41b	5223	5156	14,69	14,32	5212	4567	14,63	11,24	4873	12,79	5001	13,47
AIII41c	4894	4885	13,10	13,05	4970	4829	13,51	12,75	4589	11,52	4444	10,81
AIII42b	4631	4118	13,02	10,30	4681	4319	13,31	11,33	3935	9,40	4353	11,50
AIII42c	4923	4867	13,04	12,74	4969	4914	13,28	12,99	4570	11,23	4593	11,35
AIII43b	4822	4220	14,05	10,76	4887	4280	14,43	11,07	4429	11,85	4524	12,37
AIII43c	4945	5047	13,45	14,01	4997	5041	13,74	13,98	4641	11,85	4545	11,37
AIII44b	5243	5040	16,27	15,03	5285	4647	16,53	12,78	4705	13,10	4691	13,03
AIII44c	5060	5128	13,64	14,01	5175	5152	14,27	14,14	4776	12,15	4753	12,03
AIII45b	4831	4725	13,50	12,92	4773	4377	13,18	11,08	4308	10,73	4502	11,73

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AIII45c	5185	5089	17,12	16,50	5210	5103	17,29	16,58	4838	14,90	4735	14,28
AIII46b	4895	4913	13,94	14,05	4852	4527	13,70	11,92	4484	11,70	4541	12,00
AIII46c	4879	4968	15,86	16,44	4884	4917	15,89	16,11	4509	13,54	4478	13,36
AIII47b	4679	4562	12,63	12,00	4737	4384	12,94	11,09	4170	10,03	4304	10,69
AIII47c	5409	5329	15,74	15,27	5398	5312	15,67	15,18	5166	14,36	5072	13,84
AIII48b	4607	4574	11,87	11,71	4741	4465	12,58	11,15	4234	10,03	4274	10,22
AIII48c	5238	5088	17,80	16,80	5311	5130	18,30	17,08	4887	15,50	4905	15,61
AIII49b	4508	4401	12,28	11,71	4617	4211	12,88	10,72	4156	10,44	4173	10,52
AIII49c	4712	4504	12,83	11,73	4792	4072	13,28	9,59	4229	10,34	4237	10,38
AIII50b	4669	4470	12,73	11,67	4709	5169	12,95	15,61	4209	10,35	4426	11,44
AIII50c	4769	4771	13,54	13,55	4831	4774	13,89	13,57	4162	10,31	4430	11,68
AIII51b	4987	5014	14,92	15,08	5012	4730	15,07	13,42	4803	13,84	4930	14,58
AIII51c	4823	4625	12,94	11,90	4892	4764	13,31	12,63	4505	11,29	4484	11,19
AIII52b	5137	4995	16,03	15,16	5176	4778	16,27	13,87	4759	13,75	4958	14,93
AIII52c	5251	5095	14,40	13,56	5324	5147	14,81	13,84	4771	11,89	4755	11,81
AIII53b	4783	4707	14,01	13,58	4921	4553	14,83	12,70	4401	11,87	4631	13,14
AIII54b	4904	4878	16,65	16,46	4837	4425	16,19	13,55	4503	14,03	4464	13,79
AIII54c	4701	4616	13,18	12,71	4722	4642	13,30	12,85	4340	11,24	4250	10,78
AIII55b	4868	4764	14,21	13,61	5157	4808	15,95	13,86	4670	13,08	4863	14,19
AIII55c	4894	4800	13,69	13,17	4953	4855	14,02	13,47	4518	11,66	4546	11,81
AIII56b	5006	4959	13,44	13,19	4980	4666	13,30	11,68	4646	11,58	4686	11,78
AIII56c	4896	4789	13,02	12,45	4941	4878	13,26	12,92	4479	10,89	4465	10,82
AIII57b	4798	4649	13,11	12,31	5021	4598	14,36	12,04	4599	12,04	4528	11,68
AIII57c	4825	4802	12,77	12,65	4856	4780	12,94	12,53	4588	11,55	4502	11,12
AIII58b	4706	4463	13,51	12,15	4750	5400	13,76	17,79	4219	10,86	4328	11,43
AIII58c	4887	4930	12,76	12,98	4920	4942	12,93	13,04	4534	10,98	4544	11,03
AIII59b	4883	4825	14,53	14,19	4794	4837	14,00	14,26	4388	11,73	4483	12,25
AIII59c	4821	4773	11,32	11,10	4880	4836	11,60	11,39	4404	9,44	4409	9,47
AIII60b	4552	4220	12,06	10,37	4582	4249	12,22	10,51	4126	9,91	4200	10,27
AIII60c	4918	4865	14,17	13,86	4969	4904	14,46	14,08	4231	10,49	4730	13,10
AIII61b	4683	4478	15,35	14,03	4613	4227	14,89	12,50	4030	11,37	4906	16,84
AIII61c	4974	4966	13,95	13,90	5016	5006	14,18	14,13	4766	12,80	4601	11,93
AIII62b	4375	4397	13,73	13,87	4504	4262	14,55	13,03	4234	12,86	4065	11,85
AIII62c	3904	3764	9,57	8,90	4069	3891	10,40	9,51	3877	9,44	3909	9,60
AIII63b	4856	4871	12,80	12,88	4919	4683	13,13	11,90	4538	11,18	4301	10,04
AIII63c	5032	5020	14,17	14,10	5068	5119	14,37	14,66	4701	12,36	4673	12,21
AIII64b	4744	4756	12,04	12,11	4653	4384	11,59	10,29	4506	10,87	4527	10,97
AIII64c	4920	5012	13,93	14,45	5036	5081	14,59	14,85	4595	12,15	4484	11,57
AIII65b	5063	4964	15,43	14,84	5061	4595	15,42	12,71	4667	13,11	4702	13,31
AIII65c	4955	4784	17,71	16,50	5008	4779	18,09	16,47	4489	14,53	4489	14,53
AIII66b	4858	4539	14,20	12,40	5047	4793	15,33	13,82	4566	12,54	4715	13,38
AIII66c	4859	4948	12,87	13,35	4919	5025	13,19	13,77	4631	11,69	4521	11,14
AIII67b	4264	4874	9,83	12,84	5326	4929	15,33	13,13	4856	12,75	5041	13,74
AIII67c	4715	4778	12,88	13,22	4753	4756	13,09	13,10	4421	11,32	4405	11,24
AIII68b	5054	4754	15,38	13,61	5290	5004	16,85	15,08	4642	12,98	4730	13,47
AIII68c	4806	4804	12,31	12,30	4850	4782	12,54	12,19	4461	10,61	4521	10,90
AIII69b	4869	4811	14,62	14,28	5071	4616	15,86	13,15	4463	12,29	4452	12,23
AIII69c	4724	4870	12,80	13,60	4832	4864	13,39	13,57	4494	11,58	4409	11,15
AIII70b	4715	4433	13,07	11,55	4784	4480	13,45	11,80	4342	11,08	4371	11,23
AIII70c	5096	5059	14,89	14,67	5138	5072	15,13	14,75	4809	13,26	4754	12,95
AIII71b	5157	4887	15,53	13,95	5093	4775	15,15	13,32	4903	14,04	5012	14,67
AIII71c	4778	4653	13,98	13,26	4747	4696	13,79	13,50	4496	12,38	4338	11,52
AIII72b	5131	4885	14,29	12,96	5108	4680	14,17	11,89	4586	11,42	4890	12,98
AIII72c	5394	5268	15,10	14,40	5454	5345	15,44	14,82	5064	13,31	5064	13,31
AIII73b	5026	4881	14,26	13,45	5008	4585	14,16	11,87	4475	11,31	4758	12,78
AIII73c	4713	4817	12,91	13,48	4788	4881	13,32	13,84	4380	11,14	4345	10,97
AIII74b	4911	4525	14,05	11,93	4983	4506	14,46	11,83	4486	11,72	4763	13,21
AIII74c	5027	4869	14,20	13,32	4947	4881	13,75	13,39	4744	12,65	4568	11,73
AIII75b	4874	4743	14,17	13,41	4986	4568	14,82	12,45	4579	12,50	4771	13,57

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
AIII75c	4817	4724	11,99	11,53	4869	4735	12,25	11,58	4449	10,23	4396	9,99
AIII76b	4655	3994	13,14	9,67	4769	4400	13,79	11,73	4257	10,99	4517	12,37
AIII77b	4750	4370	12,99	10,99	4656	4393	12,48	11,11	4179	10,05	4729	12,87
AIII78b	4642	4230	12,81	10,64	4521	4202	12,16	10,50	4076	9,88	4805	13,73
AIII79b	5156	4684	13,43	11,08	5358	4627	14,50	10,81	4871	11,98	5311	14,25
AIII80b	5104	4955	14,81	13,96	4883	4562	13,56	11,83	4465	11,33	4749	12,82
AIII81b	5103	4957	15,41	14,54	5085	4610	15,30	12,58	4556	12,28	4593	12,49
AIII82b	4971	4782	14,71	13,61	5236	4818	16,33	13,82	4421	11,64	4755	13,46
AIII83b	4990	4881	13,36	12,78	5049	4752	13,68	12,12	4636	11,53	4846	12,60
AIII84b	4954	4873	15,25	14,75	4907	4659	14,96	13,49	4557	12,90	4747	14,00
AIII85b	4657	4665	13,06	13,10	4690	5155	13,24	16,00	4303	11,15	4609	12,79
AIII86b	4438	4496	15,10	15,50	4436	4944	15,09	18,75				
AIII87b	4758	4646	16,99	16,19	4721	4274	16,72	13,71	4357	14,24	4512	15,27
AIII88b	4776	4683	13,67	13,15	4795	5355	13,78	17,19	4410	11,66	4847	14,09
AIII90b	4935	4476	14,58	11,99	5090	4707	15,51	13,27	4289	11,01	4918	14,48
EI01	5140	5185	16,92	17,22	4819	4718	14,88	14,26	4953	15,72	4857	15,11
EI02	4681	4673	13,44	13,40	4280	4120	11,24	10,41	4461	12,21	4436	12,08
EI03	5400	4571	19,13	13,70	5143	4759	17,35	14,86	5196	17,71	5097	17,04
EI04	4684	4543	11,89	11,19	4518	4307	11,06	10,05	4308	10,06	4376	10,38
EI05	5056	4796	14,35	12,92	4789	4629	12,88	12,03	4875	13,35	4863	13,28
EI06	5177	4903	13,73	12,31	4705	4752	11,34	11,57	4981	12,71	4860	12,10
EI07	4952	4973	15,95	16,09	4665	4171	14,16	11,32	4682	14,26	4666	14,16
EI08	5180	4952	16,08	14,69	4765	4555	13,60	12,43	4750	13,52	4675	13,10
EI09	4553	4395	12,68	11,82	4283	4139	11,22	10,48	4336	11,50	4389	11,79
EI10	5190	5151	16,40	16,16	4805	4708	14,06	13,49	5099	15,83	5066	15,63
EI11	4593	4409	13,66	12,59	4553	4059	13,43	10,67	4952	15,88	4579	13,58
EI12	5485	5186	19,42	17,37	4655	4728	13,99	14,43	4851	15,19	4417	12,60
EI13	5097	5281	15,23	16,35	4600	4457	12,41	11,65	5095	15,22	4999	14,65
EI14	5230	5233	16,57	16,59	5027	4622	15,31	12,94	4915	14,63	4874	14,39
EI15	4962	4959	14,56	14,54	4692	4404	13,02	11,47	4143	10,15	4161	10,24
EI16	4960	4963	13,80	13,82	4885	4576	13,39	11,75	4874	13,33	4847	13,18
EI17	5402	5402	16,89	16,89	5138	4853	15,28	13,63	4983	14,37	4565	12,06
EI18	5344	5347	18,52	18,55	5000	4579	16,21	13,60	4966	16,00	5028	16,40
EI19	5402	5409	17,51	17,55	5306	4985	16,90	14,91	5058	15,35	4160	10,38
EI20	5449	5447	19,10	19,09	5105	4756	16,77	14,55	4959	15,82	4918	15,56
EI21	5123	5123	14,17	14,17	4864	4644	12,77	11,64	4621	11,52	4638	11,61
EI22	5138	5134	17,34	17,32	4866	4638	15,56	14,14	4666	14,31	4705	14,55
EI23	5185	5183	17,40	17,38	5153	4804	17,18	14,93	4863	15,30	4703	14,31
EI24	3895	3969	9,37	9,72	4032	4310	10,04	11,47	3836	9,08	4149	10,63
EI25	5060	5054	14,74	14,71	4877	4500	13,70	11,66	4522	11,77	4480	11,56
EI26	5381	5379	17,70	17,68	5183	4831	16,42	14,26	4867	14,47	4907	14,71
EI27	5343	5335	14,43	14,39	5298	4900	14,19	12,13	4892	12,10	4903	12,15
EI28	4888	4888	15,39	15,39	4760	4524	14,59	13,17	4281	11,80	4532	13,22
EI29	4517	4519	13,01	13,02	4756	4497	14,42	12,89	4518	13,01	4505	12,94
EI30	5110	5104	16,34	16,31	5000	4756	15,65	14,16	4906	15,06	4910	15,09
EI31	5470	5478	16,73	16,78	5371	5052	16,14	14,27	5221	15,25	5143	14,79
EI32	5204	5201	15,71	15,69	4994	4635	14,46	12,46	4934	14,12	4825	13,50
EI33	5058	5056	13,26	13,25	4842	4775	12,15	11,82	4919	12,54	4891	12,39
EI34	5206	5206	16,37	16,37	5179	4987	16,20	15,02	5040	15,34	5022	15,23
EI35	5312	5308	14,24	14,21	4898	4669	12,10	11,00	4962	12,42	4963	12,42
EI36	4860	4851	14,47	14,42	4651	4300	13,26	11,33	4506	12,44	4454	12,16
EI37	5167	5165	15,98	15,96	4782	4589	13,68	12,60	4855	14,10	4776	13,65
EI38	5201	5200	17,21	17,20	4955	4682	15,62	13,95	4933	15,48	4964	15,67
EI39	5655	5644	20,43	20,35	5471	5158	19,12	17,00	5162	17,02	5109	16,67
EI40	5320	5332	16,28	16,35	5045	4754	14,64	13,00	4872	13,65	4877	13,68
EI41	5150	5145	14,69	14,67	4829	4708	12,92	12,28	4608	11,76	4600	11,72
EI42	5325	5331	16,15	16,19	5082	4834	14,71	13,31	5075	14,67	5105	14,84
EI43	5609	5622	19,74	19,83	5057	4675	16,05	13,72	5235	17,20	5252	17,31
EI44	4966	4960	16,30	16,26	4833	4508	15,44	13,43	4556	13,72	4311	12,29

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
EI45	4262	4191	12,75	12,33	4243	4079	12,64	11,68	4130	11,98	4173	12,22
EII02	4590	4648	13,04	13,38	4362	4396	11,78	11,97	4430	12,15	4396	11,96
EII03	5300	5446	17,20	18,17	4955	5044	15,04	15,58	5046	15,60	4997	15,30
EII05	5573	5357	17,48	16,15	5083	5067	14,54	14,45	5231	15,40	5238	15,45
EII06	5594	5463	17,54	16,73	5196	5136	15,14	14,78	5389	16,28	5356	16,08
EII07	5078	4750	13,47	11,78	4790	4752	11,98	11,80	4806	12,07	4779	11,93
EII08	5268	5086	16,02	14,94	4717	4764	12,85	13,10	4998	14,42	4978	14,31
EII09	5185	5054	15,94	15,15	4775	4693	13,52	13,06	4911	14,30	4981	14,71
EII10	5009	4949	15,12	14,76	4552	4772	12,49	13,73	4865	14,26	4728	13,47
EII11	5138	4812	15,50	13,60	4608	4575	12,47	12,29	4783	13,44	4777	13,40
EII12	4855	3973	12,91	8,65	4631	4573	11,75	11,46	4781	12,53	4356	10,40
EII13	5417	5221	15,97	14,83	5111	4995	14,22	13,58	5253	15,01	5230	14,88
EII14	5325	5207	15,67	14,98	4738	5028	12,40	13,97	5004	13,83	4985	13,73
EII15	5483	4971	17,11	14,07	5171	4911	15,22	13,73	5171	15,22	5157	15,14
EII16	4637	4730	13,08	13,61	4852	4393	14,32	11,74	4399	11,77		
EII17	4614	4491	13,31	12,61	4255	4389	11,32	12,04	4411	12,16	4429	12,26
EII18	5026	4811	14,02	12,85	4522	4440	11,36	10,95	4925	13,47	4911	13,39
EII19	5397	5285	17,10	16,40	5027	5030	14,84	14,86	4896	14,08	4945	14,36
EII20	4833	4682	12,15	11,40	4568	4532	10,86	10,68	4433	10,22	4569	10,86
EII21	5200	5105	15,98	15,40	4736	4713	13,26	13,13	5035	14,98	5088	15,30
EII22	5427	5113	16,32	14,49	5233	5158	15,18	14,74	5196	14,96	5257	15,32
EII23	5261	4919	17,32	15,14	4952	4902	15,35	15,04	4857	14,76	4991	15,59
EII24	5123	5217	16,22	16,82	4865	4875	14,62	14,68	4631	13,25	4721	13,77
EII25	5494	5487	17,43	17,38	5334	5372	16,43	16,66	5180	15,49	5303	16,24
EII26	5574	5484	17,48	16,92	5318	5226	15,92	15,36	4904	13,53	4996	14,05
EII27	5054	4564	14,21	11,59	4971	5009	13,74	13,96	4883	13,26	5014	13,98
EII28	4840	5045	13,73	14,92	4914	4921	14,15	14,19	4721	13,06	5102	15,26
EII29	5207	4856	15,15	13,18	4840	4512	13,09	11,38	4814	12,95	5153	14,84
EII30	4987	4826	13,12	12,29	5010	4953	13,25	12,95	4707	11,69	4811	12,21
EII31	5047	5263	14,16	15,40	5071	5126	14,29	14,60	4909	13,39	5027	14,05
EII32	5254	5383	15,49	16,26	5159	5149	14,93	14,87	5061	14,37	5104	14,62
EII33	5100	5061	15,77	15,53	4840	4968	14,21	14,97	4989	15,10	4906	14,60
EII34	5069	4953	15,81	15,09	4992	5063	15,34	15,77	4783	14,08	4900	14,77
EII35	5278	5335	15,04	15,36	5248	5186	14,87	14,52	5131	14,21	5230	14,77
EII36	4884	4970	14,14	14,64	4776	4762	13,52	13,44	4740	13,31	4818	13,75
EII37	5483	5231	17,16	15,62	5290	4992	15,97	14,22	4990	14,21	5106	14,88
EII38	5357	5020	16,85	14,80	5231	5167	16,06	15,67	5080	15,15	4893	14,06
EII39	5125	5166	15,33	15,58	4893	4858	13,97	13,77	4957	14,34	5036	14,80
EII40	5028	5004	15,14	14,99	4734	4678	13,42	13,10	4637	12,87	4657	12,99
EII41	5004	5010	13,35	13,38	4755	4804	12,05	12,31	4546	11,02	4667	11,61
EII43	5272	5182	14,25	13,76	4878	4759	12,20	11,61	4821	11,91	4932	12,47
EII44	4528	4676	12,83	13,69	4383	4581	12,03	13,14	4383	12,03	4277	11,45
EII45	4838	4917	14,22	14,69	4422	4420	11,88	11,87	4741	13,66	4829	14,17
EII46	5439	5196	15,79	14,41	4957	4791	13,12	12,26	5216	14,52	5165	14,24
EII47	5589	5584	19,33	19,29	4969	4911	15,28	14,92	5345	17,68	5295	17,35
EII48	5188	5145	15,70	15,44	4903	4711	14,02	12,95	4739	13,10	4926	14,15
EII49	5373	5355	17,28	17,17	4884	4794	14,28	13,76	4947	14,65	5079	15,44
EII50	4594	4432	12,52	11,65	4219	3888	10,56	8,97	4421	11,60	4314	11,04
LI01	4588	4509	13,12	12,68	4652	4582	11,91	11,55	4065	10,20	3956	9,67
LI02	4792	4736	13,98	13,65	4811	4669	11,51	10,84	4393	11,43	4402	11,47
LI03	4359	4253	12,63	12,02	4504	4589	11,71	12,16	4040	10,70	3949	10,23
LI04	4990	4986	17,09	17,06	4802	4831	14,52	14,69	4470	13,71	4540	14,15
LI05	4669	4665	14,08	14,06	4588	4658	11,70	12,06	4387	12,24	4383	12,21
LI06	4483	4235	12,49	11,14	4462	4200	9,95	8,82	3834	8,85	3840	8,88
LI07	4464	4397	12,62	12,24	4412	4499	10,91	11,35	4127	10,69	4610	13,34
LI08	5129	5155	18,81	19,01	5188	5219	15,24	15,42	4913	16,67	4917	16,69
LI10	3945	3924	10,75	10,63	4400	4327	10,54	10,20	4037	10,86	4247	12,01
LI11	5106	4940	16,06	15,04	5020	5216	13,84	14,94	4381	11,75	4629	13,11
LI12	4689	4885	15,66	17,00	4648	4599	12,46	12,20	4409	13,44	4397	13,36

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
LI13	4820	4828	15,18	15,23	4705	4937	12,29	13,53	4475	12,84	4465	12,79
LI15	4897	4864	14,92	14,72	4859	4843	13,78	13,69	4438	12,32	4373	11,96
LI17	4775	4792	13,91	14,01	4785	4823	12,90	13,10	4251	11,04	4250	11,04
LI18	5126	5146	15,74	15,87	5157	5094	13,93	13,59	4881	14,11	4937	14,44
LI19	4873	4870	14,93	14,91	4871	4888	11,58	11,66	4474	12,10	4505	12,27
LI20	4259	4416	13,14	14,13	4262	4379	10,89	11,50	3955	11,05	3956	11,06
LI21	4815	4808	15,26	15,21	4819	4725	13,93	13,39	4406	12,75	4360	12,49
LI22	4883	4828	14,25	13,94	4808	4833	12,51	12,65	4287	10,95	4250	10,76
LI23	4654	4405	12,65	11,33	4839	5199	11,00	12,70	4042	9,25	4050	9,28
LI25	4775	4691	12,90	12,46	4751	4721	11,68	11,53	4310	10,51	4305	10,48
LI26	4624	4587	13,43	13,21	4797	4673	11,77	11,17	3927	9,41	4230	10,92
LI28	5134	5101	17,14	16,92	5232	5150	14,55	14,10	4758	14,32	4767	14,38
LI29	4569	4487	12,96	12,50	4506	4535	10,17	10,30	4189	10,56	4223	10,74
LI30	4746	4642	16,06	15,36	4712	4623	13,06	12,57	4299	12,84	4314	12,93
LI31	5018	5034	16,15	16,25	5075	5123	13,63	13,89	4664	13,60	4657	13,56
LI32	4777	4619	14,24	13,31	4767	4756	12,32	12,26	4299	11,38	4306	11,42
LI33	4696	4741	13,77	14,03	4726	4809	12,35	12,78	4225	11,05	4276	11,31
LI34	4737	4505	15,41	13,93	4443	4382	10,87	10,57	3949	10,37	3928	10,26
LI35	4284	4026	11,75	10,38	4365	4461	9,54	9,96	4106	10,40	4102	10,38
LI37	4709	4835	14,98	15,79	4610	4958	12,11	14,01	4454	13,13	4372	12,65
LI38	5118	5028	15,96	15,40	4990	5007	11,89	11,97	4674	12,82	4563	12,22
LI39	4569	4460	14,28	13,60	4607	4657	12,37	12,64	4068	11,12	4100	11,29
CI02	4810	4753	12,89	12,58	4827	4892	12,98	13,33	4532	11,44	4537	11,46
CI03	5049	4823	13,46	12,28	5142	5119	13,96	13,83	4611	11,23	4677	11,55
CI04	4663	4966	12,52	14,20	5244	5068	15,83	14,79	4646	12,43	4671	12,56
CI05	4218	4004	10,27	9,25	4333	4397	10,83	11,16	3948	9,00	3958	9,04
CI06	4919	4772	13,32	12,54	5102	4994	14,33	13,73	4609	11,70	4605	11,68
CI07	5246	5068	15,44	14,41	5123	5302	14,72	15,77	4844	13,17	4854	13,22
CI08	5358	5085	15,69	14,13	5320	5330	15,46	15,52	4982	13,56	5081	14,11
CI09	5014	4889	13,38	12,72	5010	4994	13,36	13,28	4655	11,54	4745	11,98
CI10	4253	4032	11,12	10,00	4327	4345	11,52	11,61	4281	11,27	4256	11,14
CI11	5016	5008	14,39	14,34	5085	4984	14,79	14,21	4548	11,83	4671	12,48
CI12	5022	5168	14,65	15,51	4309	4314	10,78	10,81	4762	13,17	4846	13,64
CI13	4825	4650	12,43	11,54	4974	4883	13,21	12,73	4355	10,13	4375	10,22
CI14	4631	4327	12,28	10,72	4737	4726	12,84	12,79	4304	10,60	4329	10,73
CI15	4674	4680	13,78	13,81	4640	4775	13,58	14,38	4278	11,54	4243	11,35
CI16	5057	4970	14,66	14,16	5141	5224	15,15	15,64	4644	12,36	4718	12,76
CI17	5061	5131	13,18	13,55	5064	5175	13,20	13,78	4657	11,16	4722	11,47
CI18	4775	3852	13,95	9,08	4834	5058	14,30	15,65	4548	12,66	4548	12,66
CI19	5057	4962	14,22	13,69	5184	5159	14,94	14,80	4672	12,14	4687	12,22
CI20	4903	4760	13,86	13,06	4857	4884	13,59	13,75	4480	11,56	4475	11,54
CI21	5146	5034	14,74	14,11	5243	5217	15,30	15,15	4862	13,16	4892	13,32
CI22	4856	4608	14,36	12,93	4856	4878	14,37	14,49	4368	11,62	4473	12,19
CI23	5045	5026	14,14	14,03	5123	5121	14,58	14,57	4730	12,43	4745	12,51
CI24	5396	5210	15,50	14,45	5396	5402	15,50	15,54	5113	13,92	5163	14,19
CI25	5149	4869	14,67	13,11	4980	5070	13,72	14,22	4567	11,54	4587	11,64
CI26	4680	4730	12,74	13,01	4994	4824	14,50	13,53	4537	11,97	4552	12,05
CI27	4845	4571	13,33	11,86	4914	4838	13,71	13,29	4482	11,40	4526	11,63
CI28	4898	4835	13,44	13,10	4949	5024	13,72	14,14	4541	11,56	4546	11,58
CI29	5103	4826	13,99	12,51	5254	5074	14,83	13,83	4732	12,03	4742	12,08
CI30	5184	5022	15,15	14,22	5338	5452	16,06	16,76	4758	12,76	4738	12,65
CI31	4841	4542	12,81	11,28	4872	4809	12,97	12,64	4526	11,20	4546	11,30
CI32	4928	4812	13,92	13,27	4972	4992	14,17	14,28	4503	11,62	4534	11,78
CI33	5468	5416	17,10	16,77	5403	5516	16,69	17,40	5066	14,67	5090	14,81
CI34	4736	4539	13,08	12,02	4595	4662	12,31	12,67	4299	10,78	4451	11,56
CI35	4871	4744	12,19	11,57	4861	4849	12,14	12,08	4352	9,73	4660	11,16
CI36	4757	4464	11,70	10,31	4765	4768	11,74	11,76	4256	9,37	4286	9,50
CI37	4911	4718	12,69	11,71	4821	4943	12,23	12,85	4487	10,59	4532	10,80
CI38	4920	4808	13,84	13,22	4899	4698	13,73	12,62	4542	11,80	4471	11,44

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
CI39	4826	4531	13,06	11,51	4736	4757	12,57	12,69	4291	10,33	4356	10,64
CI40	4739	4566	12,86	11,94	4820	4871	13,30	13,59	4335	10,76	4425	11,21
CI41	5288	5149	16,22	15,38	5167	5113	15,49	15,17	4882	13,83	4912	14,00
CI42	5203	4862	16,24	14,19	5251	5381	16,55	17,37	4670	13,09	4745	13,51
CI43	5206	5142	14,72	14,35	4404	5179	10,53	14,56	4797	12,50	4906	13,07
CI44	4990	4879	13,51	12,92	5034	4922	13,75	13,15	4409	10,55	4454	10,77
CI45	5131	5036	14,84	14,30	5161	5082	15,02	14,56	4828	13,14	4998	14,08
CI46	4788	4633	14,05	13,15	4812	4748	14,19	13,82	4428	12,02	4532	12,58
CI47	4707	4507	13,15	12,06	4678	4543	12,99	12,25	4202	10,48	4207	10,50
CI48	5070	4902	14,50	13,55	3795	3709	8,12	7,76	4527	11,56	4669	12,29
CI49	4883	4700	13,36	12,37	4811	4729	12,97	12,53	4375	10,72	4500	11,35
CI50	4947	4553	14,06	11,91	5018	5038	14,47	14,58	4566	11,98	4656	12,46
CI51	4908	4746	13,50	12,62	4939	4941	13,67	13,68	4391	10,81	4546	11,59
CI52	4726	4543	12,68	11,72	4461	4507	11,30	11,54	4266	10,33	4286	10,43
CI53	4757	4401	12,06	10,32	4716	4690	11,85	11,72	4220	9,49	4269	9,71
CI54	5246	5040	16,52	15,24	5273	5255	16,69	16,57	4780	13,71	4765	13,62
CI55	4217	4181	10,14	9,97	4306	4451	10,57	11,29	4023	9,22	4364	10,86
CI56	4992	4945	13,91	13,64	5022	5062	14,07	14,30	4604	11,83	4614	11,88
CI57	4748	4394	13,19	11,29	4664	4664	12,73	12,73	4273	10,68	4273	10,68
CI58	4271	4376	10,62	11,15	4383	4398	11,18	11,26	3973	9,19	3988	9,25
CI59	4275	4265	10,86	10,81	4436	4426	11,70	11,64	4168	10,32	4269	10,83
CI60	4990	4815	14,25	13,27	5079	5030	14,76	14,48	4513	11,66	4528	11,74
CI61	4871	4834	12,62	12,43	4908	4797	12,82	12,25	4461	10,59	4451	10,54
CI62	4864	4766	13,49	12,95	4808	4960	13,18	14,03	4457	11,33	4434	11,21
CI63	4725	4743	13,08	13,18	4849	4943	13,78	14,32	4542	12,09	4621	12,52
CI64	5225	5058	15,05	14,11	5355	5190	15,81	14,85	4800	12,70	4881	13,13
CII01	5673	5586	18,88	18,31	5779	5753	19,59	19,41	5343	16,75	5324	16,63
CII02	5537	5381	18,01	17,01	5647	5685	18,74	18,99	5132	15,47	5071	15,11
CII03	5149	5233	16,01	16,54	5209	5298	16,39	16,95	4867	14,31	4879	14,38
CII04	5161	4968	14,26	13,21	5285	5230	14,95	14,64	4682	11,73	4660	11,63
CII06	5082	5017	12,99	12,66	5209	5024	13,65	12,69	4727	11,24	4761	11,40
CII07	5285	5085	16,57	15,34	5328	5267	16,84	16,46	4830	13,84	4740	13,33
CII08	4901	4747	14,84	13,92	4851	4831	14,54	14,42	4499	12,50	4518	12,61
CII09	4842	5164	12,59	14,33	5287	5276	15,02	14,95	4948	13,15	4882	12,81
CII10	4728	4797	13,38	13,78	4184	4082	10,48	9,98	4646	12,93	4565	12,48
CII11	4984	5055	13,60	13,98	5313	5167	15,45	14,61	4729	12,24	4741	12,30
CII12	5415	5359	19,04	18,65	5468	5468	19,41	19,42	5174	17,38	5052	16,57
CII13	5339	5302	17,26	17,03	5451	5406	18,00	17,70	5056	15,48	5038	15,37
CII14	4934	4823	13,51	12,91	5106	5046	14,47	14,13	4669	12,10	4542	11,45
CII15	5374	5179	16,71	15,52	5216	5281	15,74	16,14	4922	14,02	4926	14,04
CII16	4845	4767	12,56	12,16	4951	4846	13,12	12,57	4516	10,92	4536	11,02
CII17	4973	4952	14,81	14,68	4937	4915	14,60	14,46	4508	12,17	4545	12,37
CII18	5057	4959	15,95	15,34	5024	5200	15,74	16,87	4668	13,59	4686	13,70
CII19	5021	4875	14,30	13,48	4997	5012	14,16	14,25	4585	11,92	4613	12,07
CII20	4925	4837	14,98	14,45	4862	4879	14,60	14,71	4536	12,71	4545	12,76
CII21	4563	4463	11,49	10,99	4641	4791	11,88	12,67	4187	9,67	4127	9,39
CII23	5403	5171	15,71	14,38	5356	5311	15,44	15,17	4876	12,79	4858	12,70
CII24	4744	4762	13,34	13,44	4772	4816	13,50	13,75	4338	11,15	4360	11,26
CII25	4928	4807	13,05	12,42	4867	4857	12,73	12,68	4522	10,99	4481	10,79
CII26	5104	5067	15,24	15,02	5064	5078	15,01	15,09	4825	13,62	4802	13,49
CII27	5108	4956	14,02	13,20	5033	5059	13,62	13,76	4688	11,81	4679	11,77
CII28	5225	5196	16,24	16,06	5061	5192	15,23	16,03	4922	14,41	4914	14,36
CII29	5529	5415	18,67	17,91	5550	5624	18,82	19,32	5254	16,86	5233	16,73
CII30	4967	4818	12,87	12,11	5015	5120	13,12	13,67	4656	11,31	4619	11,13
CII31	5067	4960	15,36	14,71	4902	5008	14,37	15,00	4642	12,89	4743	13,46
CII32	5036	4943	13,47	12,98	5065	5119	13,62	13,91	4703	11,75	4641	11,44
CII33	4950	4761	12,99	12,02	4791	4758	12,17	12,00	4588	11,16	4547	10,96
CII34	5120	4979	14,25	13,48	5110	5025	14,20	13,73	4651	11,76	4629	11,65
CII35	5136	4904	14,21	12,95	5123	5104	14,14	14,03	4806	12,44	4744	12,12

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
CII36	5215	5064	16,60	15,65	5217	5238	16,61	16,74	4915	14,74	4878	14,52
CII37	4630	4500	12,33	11,65	4739	4765	12,92	13,06	4340	10,84	4330	10,79
CII38	5131	4815	15,17	13,36	5070	5115	14,81	15,08	4647	12,45	4645	12,44
CII39	5075	4831	15,73	14,25	5050	5068	15,57	15,68	4658	13,25	4603	12,94
CII40	5132	5000	14,55	13,81	5112	5079	14,44	14,25	4802	12,74	4820	12,83
CII41	5291	5118	15,56	14,56	5184	5212	14,94	15,10	4890	13,29	4894	13,31
CII42	5336	5126	16,92	15,61	5143	5115	15,72	15,55	4917	14,37	4912	14,34
CII43	5582	5139	18,77	15,91	5604	5619	18,92	19,02	5161	16,04	5147	15,96
CII44	4983	4713	14,53	13,00	4975	5057	14,49	14,97	4540	12,07	4645	12,63
CII46	5235	4907	15,74	13,83	5137	5044	15,16	14,61	4927	13,94	4876	13,65
CII47	4924	4698	13,32	12,13	4891	4901	13,15	13,20	4637	11,82	4548	11,37
CII48	4931	4514	15,10	12,65	4973	4692	15,35	13,67	4487	12,50	4464	12,37
CII49	5473	5215	17,65	16,02	5383	5359	17,07	16,92	5087	15,25	5112	15,40
CII50	5098	4944	14,62	13,75	5129	5090	14,80	14,58	4833	13,14	4778	12,84
CII51	5116	4992	15,78	15,02	5219	5059	16,42	15,43	4724	13,45	4653	13,05
CII52	5243	5149	16,24	15,66	5185	5171	15,88	15,79	4945	14,45	4946	14,45
CII53	4960	5024	14,66	15,04	4958	5055	14,64	15,22	4761	13,50	4743	13,40
CII54	5127	4942	14,17	13,16	5208	5140	14,62	14,24	4783	12,33	4759	12,20
CII55	5046	4600	14,53	12,08	5006	4842	14,30	13,38	4613	12,15	4560	11,87
CII56	5053	4862	15,56	14,40	5065	4943	15,63	14,89	4652	13,19	4602	12,91
CII57	5083	4965	16,06	15,33	5174	5146	16,65	16,47	4903	14,95	4866	14,72
CII58	5410	5115	15,57	13,92	5382	5215	15,41	14,47	4961	13,09	4892	12,73
CII59	5167	5047	16,29	15,54	5080	5089	15,74	15,80	4757	13,81	4760	13,82
CII60	5305	5136	16,45	15,42	5220	5204	15,93	15,83	4897	14,02	4882	13,93
CII61	5124	4855	14,57	13,08	4939	4852	13,54	13,06	4631	11,90	4567	11,58
CII62	4841	4615	14,38	13,07	4745	4765	13,81	13,93	4416	11,96	4480	12,31
CII63	5109	4797	14,53	12,81	5091	5040	14,43	14,14	4864	13,17	4792	12,78
CII64	5353	5244	15,25	14,64	5467	5359	15,91	15,29	5106	13,87	5121	13,96
CIII01	4986	4264	14,00	10,24	5039	4882	14,31	13,43	4614	11,99	4613	11,99
CIII02	5273	5028	17,43	15,84	5333	5136	17,82	16,53	4956	15,39	4930	15,23
CIII03	5369	5256	15,66	15,01	5378	5303	15,71	15,27	5035	13,77	5038	13,79
CIII04	5095	4913	14,62	13,60	5073	4980	14,49	13,97	4710	12,49	4713	12,51
CIII05	5405	5133	17,30	15,60	5409	5296	17,33	16,61	5073	15,25	5073	15,24
CIII06	5407	5160	17,37	15,82	5428	5344	17,51	16,97	5107	15,50	5046	15,13
CIII07	4980	4432	13,39	10,60	4938	4931	13,16	13,12	4641	11,62	4605	11,45
CIII08	4839	4492	13,14	11,33	4851	4714	13,21	12,47	4516	11,45	4461	11,17
CIII09	5592	5353	18,11	16,60	5643	5489	18,44	17,45	5217	15,76	5187	15,59
CIII10	5169	4649	14,96	12,10	5205	5094	15,16	14,53	4801	12,90	4793	12,86
CIII11	5227	5022	15,61	14,41	5232	5110	15,64	14,92	4833	13,34	4833	13,34
CIII12	5053	4806	14,85	13,44	5071	4921	14,96	14,09	4703	12,87	4672	12,70
CIII13	5435	5134	16,67	14,88	5398	5168	16,45	15,08	5014	14,19	5032	14,29
CIII14	5064	4966	15,97	15,36	5167	4936	16,63	15,17	4746	14,03	4752	14,06
CIII15	5406	5168	16,60	15,18	5386	5145	16,48	15,04	5010	14,26	5007	14,25
CIII16	4950	4898	13,35	13,08	4913	4801	13,15	12,56	4546	11,26	4553	11,30
CIII17	5106	4949	13,19	12,39	5138	4919	13,36	12,24	4762	11,47	4729	11,31
CIII18	5277	5134	13,88	13,13	5337	5238	14,19	13,67	4894	11,94	4902	11,98
CIII19	4581	4452	11,33	10,70	4642	4521	11,64	11,04	4263	9,82	4290	9,94
CIII20	4813	4639	13,18	12,24	4804	4636	13,13	12,22	4493	11,48	4507	11,55
CIII21	5421	5272	16,94	16,02	5434	5268	17,02	16,00	5129	15,16	5069	14,81
CIII22	5325	5053	15,80	14,23	5296	5213	15,63	15,15	4986	13,86	4991	13,88
CIII23	5165	4894	14,99	13,45	5171	5090	15,02	14,55	4662	12,21	4616	11,97
CIII24	5489	5360	17,47	16,66	5590	5345	18,12	16,57	5116	15,17	5143	15,34
CIII25	5023	4757	14,88	13,34	5105	4933	15,37	14,35	4679	12,91	4664	12,83
CIII26	5298	5202	15,75	15,18	5374	5228	16,20	15,34	4975	13,89	4947	13,73
CIII27	5294	5131	16,25	15,26	5432	5146	17,11	15,35	4901	13,92	4973	14,34
CIII28	5353	5342	16,23	16,16	5447	5432	16,80	16,71	5050	14,44	5011	14,22
CIII29	5394	5106	16,69	14,96	5214	5131	15,60	15,11	4921	13,89	4875	13,64
CIII30	4975	4759	13,69	12,53	4941	4865	13,51	13,09	4623	11,82	4599	11,70
CIII31	4802	4508	14,54	12,82	4755	4711	14,26	13,99	4373	12,06	4424	12,34

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
CIII32	5337	4944	16,29	13,98	5337	5307	16,29	16,11	4855	13,48	4845	13,42
CIII33	5074	4811	14,49	13,02	5066	4992	14,44	14,02	4604	11,93	4645	12,14
CIII34	5307	5161	18,27	17,28	5313	5286	18,32	18,13	4965	16,00	4859	15,32
CIII35	5774	5509	19,84	18,07	5647	5584	18,98	18,56	5315	16,82	5342	16,99
CIII36	5241	4995	16,08	14,61	5190	5047	15,77	14,91	4738	13,14	4681	12,83
CIII37	5353	5077	16,31	14,67	5363	5082	16,37	14,70	4935	13,86	4915	13,75
CIII38	5123	5084	12,92	12,73	5083	5099	12,72	12,80	4847	11,57	4769	11,20
CIII39	5413	5158	15,30	13,89	5314	5145	14,75	13,82	5033	13,23	4977	12,93
CIII40	4955	4732	13,28	12,10	4947	4762	13,23	12,26	4484	10,87	4651	11,70
CIII41	5130	4843	15,86	14,14	4990	5244	15,01	16,58	4691	13,26	4877	14,34
CIII42	5103	4942	14,53	13,63	5094	5030	14,48	14,11	4675	12,19	4678	12,21
CIII43	5187	5128	16,13	15,76	5261	5040	16,59	15,23	4832	13,99	4872	14,22
CIII44	5021	4800	14,87	13,58	5046	4831	15,01	13,76	4582	12,38	4596	12,46
CIII45	5166	5023	15,26	14,43	5124	4933	15,01	13,91	4693	12,59	4688	12,57
CIII46	5259	5177	14,81	14,35	5106	4995	13,96	13,36	4842	12,56	4723	11,95
CIII47	4971	4951	13,42	13,31	5015	4903	13,65	13,05	4665	11,81	4820	12,61
CIII48	4757	4760	14,62	14,64	4844	4831	15,16	15,08	4340	12,17	4541	13,32
CIII49	5217	5167	14,97	14,69	5215	5025	14,96	13,89	4820	12,78	4900	13,21
CIII50	4868	4758	12,75	12,18	4755	4689	12,16	11,83	4488	10,83	4627	11,51
CIII51	4730	4562	13,18	12,26	4701	4643	13,02	12,70	4348	11,14	4602	12,48
CIII52	5269	4984	14,84	13,28	5404	5123	15,61	14,03	4897	12,82	4775	12,19
CIII53	5254	5114	15,95	15,11	4763	4563	13,11	12,03	4830	13,48	4987	14,37
CIII54	4609	4469	11,97	11,25	4563	4580	11,73	11,81	4143	9,67	4351	10,66
CIII55	5038	4868	14,52	13,56	5047	5166	14,57	15,27	4708	12,68	4616	12,19
CIII56	5131	4881	14,29	12,93	5122	5030	14,24	13,73	4694	11,96	4867	12,86
CIII57	5362	5207	16,90	15,93	5296	5193	16,48	15,85	4827	13,69	4859	13,88
CIII58	4802	5011	14,54	15,84	5162	5197	16,81	17,04	4761	14,30	4863	14,91
CIII59	4723	4491	12,35	11,17	4700	4661	12,24	12,03	4159	9,58	4304	10,26
CIII60	5192	5053	14,79	14,01	5208	5004	14,88	13,74	4821	12,75	4841	12,86
CIII61	5063	4832	15,06	13,71	5091	4934	15,22	14,30	4442	11,59	4508	11,93
CIII62	5181	4978	14,51	13,39	5052	4875	13,79	12,84	4595	11,41	4586	11,37
CIII63	5409	5122	16,26	14,58	5223	4997	15,17	13,88	4740	12,49	4769	12,64
CIII64	4956	4993	14,04	14,25	4914	4821	13,81	13,29	4438	11,26	4503	11,59
GI01	4764	4691	13,86	13,44	4270	4368	11,14	11,66	4349	11,55	4170	10,62
GI03	4684	4556	12,52	11,85	4326	4357	10,68	10,84	3927	8,80	4503	11,58
GI04	4544	4663	10,65	11,21	4159	4383	8,92	9,91	4471	10,31	4280	9,45
GI05	4728	4745	12,20	12,29	4234	4299	9,78	10,08	4405	10,59	4281	10,00
GI06	4259	4304	9,40	9,60	3670	3877	6,98	7,79	4245	9,34	3969	8,16
GI07	4469	4178	11,03	9,64	3916	3785	8,47	7,91	4138	9,46	4140	9,46
GI08	4309	4360	9,73	9,96	3899	4152	7,97	9,03	4054	8,61	3836	7,71
GI09	4254	4066	10,00	9,13	3792	3778	7,94	7,88	4001	8,84	3783	7,91
GI10	4712	4548	12,25	11,41	4345	4342	10,41	10,40	4015	8,89	4123	9,38
GI12	4782	4626	11,28	10,55	4152	4174	8,50	8,59	4694	10,86	4384	9,47
GI14	4134	4011	10,10	9,51	3800	3799	8,53	8,53	4338	11,12	3697	8,08
GI15	4040	4155	9,06	9,58	3909	4010	8,48	8,92	4364	10,57	3830	8,14
GI17	4409	4245	10,75	9,97	4183	4052	9,68	9,08	4006	8,88	3934	8,56
GI19	4457	4637	9,35	10,12	4271	4480	8,59	9,45	4518	9,61	4493	9,50
GI20	4424	4467	9,34	9,52	4138	4208	8,17	8,45	4279	8,73	4295	8,80
GI21	4114	4166	10,19	10,45	3886	3962	9,09	9,45	4323	11,25	3981	9,54
GI24	5252	5211	15,93	15,69	5017	5019	14,54	14,55	5023	14,58	4920	13,98
GI25	4609	4651	11,37	11,58	4302	4372	9,90	10,23	4341	10,08	4364	10,19
GI26	4379	4280	10,54	10,06	4200	4133	9,69	9,39	4393	10,60	4015	8,86
GI27	4511	4737	10,68	11,78	4200	4447	9,26	10,38	4493	10,59	4555	10,89
GI28	5206	5153	11,11	10,89	4774	4764	9,35	9,30	4336	7,71	4372	7,84
GI29	4636	4401	12,50	11,27	4299	4110	10,75	9,83	4369	11,11	4395	11,24
GI30	4349	4191	11,38	10,57	4115	3993	10,19	9,59	3805	8,71	3937	9,33
GI31	4593	4549	11,86	11,63	4098	4083	9,44	9,37	4326	10,52	4191	9,87
GI33	4916	4998	13,99	14,46	4485	4601	11,65	12,26	4615	12,33	4675	12,65
GI35	4829	4988	13,56	14,47	4553	4743	12,05	13,08	4432	11,42	4437	11,45

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
GI36	4310	4583	12,99	14,68	3996	4285	11,16	12,84	4248	12,62	4238	12,56
GI37	4559	4623	11,77	12,10	4307	4401	10,51	10,97	4290	10,43	4431	11,12
GI38	4580	4621	12,49	12,71	4283	4335	10,92	11,19	4319	11,10	4420	11,63
GI39	4304	4215	10,89	10,45	4118	4063	9,97	9,71	3578	7,53	3648	7,83
GI40	4466	4639	13,78	14,87	4231	4431	12,37	13,57	4346	13,05	4496	13,97
GI42	4546	4744	11,00	11,98	4288	4512	9,79	10,84	4476	10,66	4517	10,86
GI43	4421	4350	11,97	11,60	4201	4162	10,82	10,62	3895	9,29	3941	9,52
GI44	4208	4248	10,85	11,05	3986	4049	9,73	10,04	4451	12,14	4372	11,71
GI45	4492	4489	11,09	11,08	4221	4250	9,79	9,93	4130	9,38	4264	10,00
GI47	4736	4676	13,91	13,56	4371	4346	11,85	11,72	4524	12,69	4503	12,57
GI48	4488	4353	11,44	10,77	4058	3960	9,36	8,91	4189	9,97	4269	10,35
GI49	4535	4523	12,15	12,09	4175	4194	10,30	10,39	4212	10,48	4223	10,53
GI50	4016	4238	10,19	11,35	3798	4039	9,11	10,31	3906	9,64	3916	9,69
GII01	4704	4674	13,50	13,33	4357	4461	11,58	12,14	4567	12,73	4527	12,51
GII02	5075	4754	14,74	12,93	4497	4334	11,57	10,75	4689	12,58	4579	12,00
GII03	5142	4964	13,73	12,80	4961	4920	12,78	12,57	4838	12,16	4792	11,93
GII04	5071	4615	14,78	12,24	4853	4470	13,54	11,49	4645	12,40	4468	11,48
GII05	5009	4915	14,21	13,68	4604	4643	12,01	12,21	4605	12,01	4669	12,35
GII06	4948	4784	12,37	11,57	4396	4398	9,77	9,77	4531	10,38	4625	10,81
GII07	5375	5233	17,70	16,78	4813	4691	14,19	13,48	4904	14,74	4821	14,25
GII08	5184	5094	14,85	14,34	4713	4715	12,28	12,29	4970	13,65	4849	12,99
GII09	4483	4542	13,09	13,44	4013	4259	10,49	11,81	4204	11,51	4207	11,53
GII10	4590	4578	10,96	10,90	4413	4586	10,13	10,94	4271	9,49	4268	9,48
GII11	4137	3726	10,04	8,14	3599	3609	7,60	7,64	3563	7,44	3650	7,81
GII12	4670	4506	11,77	10,96	4234	4217	9,67	9,59	4322	10,08	4305	10,00
GII13	4033	3824	10,06	9,05	3613	3582	8,08	7,94	3644	8,22	3647	8,23
GII15	5029	4823	14,04	12,91	4590	4316	11,69	10,34	4579	11,64	4496	11,22
GII16	3928	3878	8,51	8,30	3528	3529	6,87	6,87	3626	7,25	3611	7,19
GII17	4631	4428	11,57	10,58	4167	4210	9,37	9,56	4387	10,38	4182	9,43
GII18	4515	4207	11,89	10,32	4084	4030	9,73	9,47	3896	8,86	4065	9,64
GII19	4600	4512	11,77	11,32	4070	4128	9,21	9,48	4635	11,95	4190	9,77
GII20	5183	4310	14,40	9,96	4656	4766	11,62	12,18	4633	11,51	4406	10,41
GII21	4463	4222	11,68	10,45	4138	4111	10,04	9,91	4166	10,17	4116	9,93
GII22	5100	4693	14,26	12,08	4637	4407	11,79	10,65	4518	11,19	4382	10,53
GII23	4848	4777	13,06	12,68	4325	4323	10,39	10,38	4569	11,59	4401	10,76
GII24	4673	4626	11,44	11,22	4300	4283	9,69	9,61	4617	11,17	4418	10,23
GII25	4517	4300	12,10	10,97	4034	4058	9,65	9,77	4105	9,99	3979	9,39
GII26	3933	4086	10,02	10,82	3512	3762	7,99	9,17	3845	9,58	3681	8,78
GII27	4625	4461	12,90	12,00	4014	4073	9,71	10,00	4217	10,72	4186	10,56
GII28	4858	4681	13,93	12,93	4380	4396	11,32	11,40	4456	11,72	4427	11,57
GII29	4223	4163	9,74	9,46	3841	3920	8,06	8,39	4086	9,12	3857	8,12
GII30	5192	4816	15,66	13,47	4601	4446	12,30	11,49	4787	13,31	4573	12,15
GII31	4638	4422	12,76	11,59	4179	4123	10,36	10,08	4178	10,35	4260	10,76
GII32	4463	4200	10,90	9,65	4054	4127	8,99	9,32	4248	9,87	4146	9,41
GII33	4989	4907	15,15	14,65	4483	4496	12,23	12,30	4728	13,60	4763	13,81
GII34	4928	4768	14,83	13,88	4479	4498	12,25	12,36	4191	10,73	4604	12,94
GII35	4430	4287	10,20	9,56	3868	3842	7,78	7,67	4812	12,04	4081	8,66
GII36	4176	4118	10,47	10,19	3829	3851	8,80	8,90	3802	8,68	3882	9,05
GII38	4396	4453	10,91	11,20	4001	4146	9,04	9,71	4210	10,01	4107	9,53
GII39	4159	3987	11,39	10,46	3685	3747	8,94	9,24	3677	8,90	3695	8,99
GII40	4401	4330	10,67	10,32	3992	4011	8,78	8,86	4261	10,00	4211	9,77
GII41	4452	4252	11,81	10,77	3972	3901	9,40	9,07	3967	9,38	3925	9,18
GII42	4264	4169	10,73	10,26	3816	4121	8,59	10,02	4024	9,55	4113	9,98
GII43	3974	3944	10,16	10,00	3580	3705	8,24	8,83	3885	9,71	3640	8,52
GIII01	5171	5312	15,10	15,93	4899	5297	13,55	15,84	4746	12,71	4999	14,11
GIII02	4346	4294	11,59	11,31	4081	4343	10,22	11,57	4097	10,29	4061	10,12
GIII03	4840	4809	13,81	13,63	4707	4948	13,07	14,44	4558	12,25	4294	10,87
GIII04	5461	5236	17,57	16,15	5173	5531	15,77	18,03	5093	15,28	5112	15,39
GIII05	4405	4476	11,58	11,96	4386	4690	11,48	13,12	4272	10,89	4246	10,76

Probeta	V_{ud_c}	V_{ui_c}	E_{din_ud}	E_{din_ui}	V_{id_c}	V_{ii_c}	E_{din_id}	E_{din_ii}	V_{v_c}	E_{din_v}	V_{h_c}	E_{din_h}
GIII06	4953	4781	15,18	14,15	4817	4948	14,36	15,15	4617	13,19	4616	13,18
GIII07	3921	3830	9,61	9,17	3571	3547	7,97	7,86	3620	8,19	3302	6,82
GIII08	5424	5344	17,97	17,44	5185	5514	16,42	18,58	4952	14,98	5039	15,51
GIII09	4581	4556	13,46	13,31	4420	4762	12,53	14,54	4294	11,83	4202	11,33
GIII10	3650	3837	8,32	9,19	3531	3983	7,78	9,90	3501	7,65	3508	7,68
GIII11	5014	4679	13,34	11,62	4637	4923	11,41	12,86	4775	12,10	4668	11,57
GIII12	3700	3706	7,10	7,12	3453	3873	6,18	7,77	3640	6,87	3663	6,95
GIII15	5507	4879	15,77	12,38	5479	4952	15,61	12,75	5062	13,32	4842	12,19
GIII16	4492	4419	11,21	10,85	4337	4438	10,45	10,94	4138	9,51	4094	9,31
GIII17	4492	4465	10,81	10,68	4557	4449	11,12	10,60	4246	9,66	4166	9,29
GIII18	4310	4346	10,35	10,53	4169	4430	9,69	10,94	3984	8,85	4175	9,71
GIII19	4930	4801	14,50	13,75	5003	4782	14,93	13,64	4631	12,79	4464	11,88
GIII22	4448	4407	11,78	11,56	4079	4240	9,90	10,70	4133	10,17	4199	10,50
GIII23	3711	3666	10,21	9,97	3474	3738	8,95	10,36	3329	8,22	3612	9,67
GIII24	4494	4272	12,78	11,55	4215	4250	11,25	11,44	4080	10,54	4040	10,33
GIII26	3974	4048	9,08	9,42	3752	4171	8,09	10,00	3732	8,01	3778	8,20
GIII27	4494	4183	12,25	10,62	4132	4538	10,36	12,49	4167	10,53	3938	9,41
GIII28	5044	4849	14,54	13,44	4639	4919	12,30	13,82	4769	12,99	4727	12,76
GIII30	4709	4656	14,02	13,70	4872	4715	15,00	14,05	4610	13,43	4271	11,53
GIII31	5323	5245	17,19	16,69	4929	5223	14,74	16,55	5062	15,54	5051	15,48
GIII32	3549	3512	7,68	7,52	3487	3722	7,42	8,45	3439	7,21	3182	6,17
GIII33	4069	4114	9,55	9,76	3908	4253	8,80	10,43	3813	8,38	3680	7,81
GIII34	4174	3942	11,29	10,06	3980	4227	10,26	11,57	3809	9,39	3826	9,48
GIII35	3782	3870	8,17	8,55	3723	3978	7,92	9,04	3519	7,07	3447	6,79
GIII36	4480	4376	12,67	12,08	4427	4510	12,37	12,84	4206	11,16	4116	10,69
GIII38	4629	4628	12,25	12,25	4449	4787	11,32	13,11	4318	10,66	4290	10,52
GIII39	4535	4405	12,03	11,35	4461	4472	11,64	11,70	3803	8,46	4105	9,86
GIII40	5203	5152	16,18	15,86	5225	5213	16,31	16,24	4868	14,16	4860	14,11
GIII41	4849	4773	14,46	14,01	4862	4842	14,55	14,42	4450	12,18	4462	12,25
GIII42	4865	4757	12,97	12,40	4959	4654	13,48	11,87	4446	10,83	4505	11,12
GIII43	4406	4408	10,96	10,97	3955	4371	8,83	10,79	4123	9,60	3970	8,90
GIII44	5010	4957	13,33	13,05	4548	4822	10,99	12,35	4687	11,67	4354	10,07
GIII45	4111	4087	11,37	11,24	3942	4256	10,45	12,18	3800	9,71	3814	9,78
GIII46	4309	4111	11,08	10,09	3957	4285	9,35	10,96	4016	9,63	3869	8,94
GIII48	5027	4856	14,29	13,33	4833	4796	13,20	13,00	4583	11,88	4391	10,90
GIII49	4426	3996	10,56	8,61	4132	4324	9,20	10,08	4019	8,71	3953	8,43
GIII50	5111	5093	13,34	13,24	4961	4984	12,56	12,68	4362	9,71	4617	10,88
GIII51	5488	5566	15,25	15,69	5069	5269	13,02	14,06	4483	10,18	5046	12,90

ANEXO IV. PUBLICACIONES

Modelling of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. structural timber by a combination of non-destructive variables and visual grading parameters

Abel Vega[(1)], Andrés Dieste[(1)], Manuel Guaita[(2)], Juan Majada[(1)], Vanessa Baño[(1)]

European Journal of Wood and Wood Products
DOI 10.1007/s00107-012-0626-7
Received: 18 November 2011

[(1)] Forest and Wood Technology Research Centre (CETEMAS), Finca Experimental "La Mata", 33820 Grado, Spain
e-mail: avega@cetemas.es

[(2)] Department of Agroforestry Engineering, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain

Abstract

Linear regression models were constructed for chestnut beams of Spanish origin (Asturias, Galicia, Catalonia and Extremadura) using the global modulus of elasticity (MOE_g) and bending strength (MOR), both obtained by destructive tests, as dependent variables, and the results of non-destructive measurements, visual grading parameters and density as independent variables. The variables selected were density, wave velocity, sample length, dynamic modulus of elasticity, maximum knot diameter in relation to height and concentrated knot diameter ratio. Linear regression models were constructed to indirectly estimate the mechanical properties of the beams. Ultrasonic velocity, density and sample length were the best predictors of MOE_g (R^2 = 0.740 and 0.734 SE). Regression adjustments for MOR presented low coefficients of determination and high errors. The visual grading parameters of the beams did not play a significant role in the prediction of either MOE_g or MOR.

Keywords: *Spanish chestnut, mechanical properties, density, NDT, ultrasounds*

Zusammenfassung

Die Biegefestigkeit (MOR) und der globale Elastizitätsmodul (MOE_g) von Kastanienschnittholz spanischer Herkunft (Asturien, Galizien, Katalonien und Extremadura) für Bauzwecke wurden mittels visueller und zerstörungsfreier Verfahren über Regressionsanalysen bestimmt. Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit wurden als abhängige Variablen experimentell bestimmt. Als Sortierparameter wurden die Dichte, die Ultraschallgeschwindigkeit, die Prüfkörperlänge, der dynamische E-Modul, der auf die Höhe bezogene maximale Astdurchmesser und die auf den Umfang bezogene Summe der Astdurchmesser einer Astansammlung verwendet. Als am besten für die Vorhersage des globalen E-Moduls geeignet, erwiesen sich Ultraschallgeschwindigkeit, Rohdichte und Prüfkörperlänge (Bestimmtheitsmaß (R^2)=0.740 und Schätzfehler 0.734). Die Regressionsmodelle für Biegefestigkeit ergaben ein niedriges Bestimmtheitsmaß und hohe Schätzfehler. Die visuellen Sortiermerkmale spielten für die Vorhersage von MOE_g oder MOR keine bedeutende Rolle.

1. Introduction

An estimation of the mechanical properties of wood from an indirect observation, namely its exterior appearance, is extremely useful. In addition, the predictive capability of non-destructive techniques (NDT) to evaluate the mechanical properties of timber has been widely studied, based on the relationship between wave velocity and Young's modulus (Bucur 2006). Many works demonstrate the adequacy of these techniques (and other indirect methods like machine grading) to estimate the modulus of elasticity in conifer species (Acuña *et al.* 2006; Casado *et al.* 2007; Divos and Tanaka 1997; Divos 2002; Divos and Sismandy 2010; Esteban 2003; Hanhijarvi *et al.* 2005) and, in a lesser number, in deciduous species (Kretschmann and Green 1999; Piter *et al.* 2004). However, their predictive capability related to bending strength, which is influenced by the visual grading parameters of the wood (knots, grain deviation), is not clearly established.

The use of variables obtained from non-destructive techniques in combination with visual parameters in regression models for predicting modulus of elasticity and bending strength has already been widely studied in pine species (Fernández-Golfín *et al.* 2007; Íñiguez 2007). Correlations between non-destructive variables and the mechanical properties of chestnut wood have been, however, only studied in a limited number of works, such as Feio *et al.* (2007) in small dimension samples and Faggiano (2009) in old structural timber.

A multivariate analysis on chestnut structural timber properties was carried out in a recent work (Vega *et al.* 2011). These results explain the relationships between mechanical properties, visual and non-destructive parameters. The establishment of the most important variables in relation to modulus of elasticity and bending strength is the starting point for the regression adjustments in order to estimate these mechanical variables by indirect methods.

This article aims at constructing a statistical model to predict the modulus of elasticity and bending strength of chestnut timber from a set of variables obtained from nondestructive measurements and visual grading parameters.

2. Materials and methods

2.1. Test sample

The database used in this paper was composed of the results of several tests performed on 374 samples of Spanish chestnut structural timber, with three different sizes (40 9 100 9 2,500 mm3, 40 9 150 9 3,500 mm3 and 70 9 150 9 3,500 mm3). In order to include all variability of mechanical properties and visual variables, no prior classification was realized. The samples were conditioned at 65 % relative humidity and 20 _C temperature. The database was the same used in mentioned previous work on multivariate analysis (Vega *et al.* 2011).

2.2. Bending and non-destructive testing

Physical and mechanical properties and acoustic NDT variables were obtained for every sample (Table 1).

Table 1. Physical and mechanical variables considered in the analysis

Symbol	Definition
ρ	Density (kgm^{-3})
MOE_g	Global modulus of elasticity ($kNmm^{-2}$)
MOR	Bending strength (Nmm^{-2})
V_u	Ultrasonic velocity (ms^{-1})
V_i	Impact wave velocity (ms^{-1})
V_v	Vibration velocity (ms^{-1})
MOE_{dynu}	Ultrasonic dynamic modulus of elasticity ($kNmm^{-2}$)
MOE_{dyni}	Impact wave dynamic modulus of elasticity ($kNmm^{-2}$)
MOE_{dynv}	Vibration dynamic modulus of elasticity ($kNmm^{-2}$)

Density (ρ) was calculated from the weight and volume of each sample. The values of the static modulus of elasticity (MOE_g) and bending strength (MOR) were obtained from a four-point bending test in accordance with UNE-EN 408 2011. Prior to the mechanical tests, the acoustic wave transmission velocity was measured by applying three different non-destructive techniques: ultrasound (*Sylvatest Trio, CBS-CBT*), impact wave (*Microsecond Timer, Fakopp*) and vibrational analysis (*Portable Lumber Grade, Fakopp*). From these velocity values, the corresponding dynamic modulus of elasticity (MOE_{dyn}) was calculated using Eq. 1.

$$MOE_{dyn} = \rho \cdot v^2 \qquad \text{Eq. 1}$$

where ρ = density ($kg \cdot m^{-3}$), and v = wave transmission velocity ($mm \cdot s^{-1}$)

2.3. Visual parameters

The visual parameters considered are explained in Table 2.

Table 2. Visual variables and knot ratios considered in the analysis and correlation coefficients with MOE_g and MOR (Vega *et al.* 2011)

Symbol	Definition	R^2 (MOE_g)	R^2 (MOR)
CKDR	Concentrated knot diameter ratio (Eq.2)	0.19	0.23
Nu	Number of knots per meter	0.22	0.28
K	Mean diameter of all knots in relation to width	0.22	0.27
K_h	Maximum knot diameter in relation to width	0.24	0.37
K_b	Maximum knot diameter in relation to thickness	0.18	0.23
K_c	Maximum ratio of knot diameter / width (h) within the central third	0.19	0.27
K_p	Maximum relative diameter in the central third in relation to its distance from the tension side	0.17	0.38
K_t	Presence of a cut knot in the tension side within the central third (categorical)	0.10	0.06
K_{cm}	Presence of knot in the compression side within the central third (categorical)	0.09	0.34
S_k	Relative surface occupied by the sum of all knots	0.29	0.32

CKDR is the Concentrated Knot Diameter Ratio considering any 15 cm length of the piece (Divos and Sismandy, 2010) (Eq. 2).

$$CKDR = \frac{\sum d_i}{2 \cdot (b + h)} \quad \text{Eq. 2}$$

where d_i = diameter of the knot (mm), b and h = thickness and width of the timber element, respectively (mm).

The correlations between the variables explained in Tables 1 and 2 were evaluated by means of multivariate analysis (principal components) in a previous work (Vega *et al.* 2011). Accordingly, the most important visual variables in relation to the mechanical properties were selected for the regression analysis in the present work: kh, CKDR and Sk.

2.4 Statistical analysis and mathematical models

The sample size was estimated following the criteria presented by Cohen (1992) for regression analysis considering a significance criterion a = 0.05, a statistical power of 0.8 and a population effect size, f2 (Eq. 3), equal to 0.15.

$$f^2 = \frac{R^2}{1 - R^2} \quad \text{Eq. 4}$$

where R^2 = squared multiple correlation of the variables considered

Multiple linear regression models were constructed using the global modulus of elasticity (MOEg) and bending strength (MOR) as dependent variables, and wave velocities (Vu, Vi, Vv) dynamic modulus of elasticity (MOEdyn), density (q), sample length (l), CKDR, Kh and Sk as independent variables (Eq. 4).

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + u \quad \text{Eq. 5}$$

Where *u* is the standard error:

$$u = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n - 2}} \quad \text{Eq. 6}$$

where $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

The model was constructed by dividing the data into two subsets of equal size: the first one was used to construct the model and the second one for subsequent validation of the models. A linear adjustment was performed by stepwise regression.

3. Results

3.1. Regression adjustments

All selected variables presented a normal distribution except for CKDR, K_h, and S_k. To fulfill this condition, these variables were transformed using their square root. CKDR, and k_h met the condition and were redefined as $CKDR^{1/2}$, and $Kh^{1/2}$ respectively with normal distribution. However S_k, or its transformation $Sk^{1/2}$, did not present a normal distribution and, given the additional difficulty of measuring

this variable and its lack of practical application, it was discarded from the regression adjustments. The minimum sample size for the dependent variables, namely MOE_g and MOR, according to Eq. 3, was 107.

Since the experiment had a total of 374 samples, each subset (modelling and verification) had 187 samples, well above the calculated minimum. Tables 3 and 4 give the results of the adjustment of MOE_g and MOR regression models. Models with independent variables whose addition did not involve a significant effect are not shown.

Table 3. Coefficients of determination (R^2) and errors of estimate (u) of the linear regression

Dependent variable	Independent variable	R^2	Error (u)
MOE_g	V_u	0.520	0.991
	V_i	0.518	0.993
	V_v	0.470	1.041
	$V_u + \rho$	0.707	0.776
	$V_i + \rho$	0.684	0.806
	$V_v + \rho$	0.684	0.806
	MOE_{dynu}	0.697	0.787
	MOE_{dyni}	0.675	0.815
	MOE_{dynv}	0.674	0.816
	$MOE_{dynu} + I$	0.715	0.765
	$MOE_{dyni} + I$	0.715	0.765
	$MOE_{dynv} + I$	0.737	0.736
	$V_u + \rho + I$	0.721	0.759
	$V_i + \rho + I$	0.721	0.759
	$V_v + \rho + I$	0.740	0.734
MOR	V_u	0.122	12.363
	V_i	0.109	12.455
	V_v	0.162	12.076
	MOE_{dynu}	0.120	12.374
	MOE_{dyni}	0.107	12.471
	MOE_{dynv}	0.170	12.022
	$MOE_{dynu} + CKDR^{1/2}$	0.134	11.754
	$MOE_{dynu} + k_h^{1/2}$	0.192	11.390
	$MOE_{dynv} + k_h^{1/2}$	0.228	11.135
	$MOE_{dynu} + CKDR^{1/2} + I$	0.231	11.104
	$MOE_{dynv} + CKDR^{1/2} + I$	0.270	10.790
	$MOE_{dynu} + k_h^{1/2} + I$	0.271	10.851
	$MOE_{dynv} + k_h^{1/2} + I$	0.330	10.401

Table 4. Linear regression models with the largest coefficients of determination (R^2) and smallest error of estimate (u), for dependent variables MOE_g and MOR.

$MOE_g = \beta_0 + \beta_1 V_v + \beta_2 \rho + \beta_3 I + u$						
β_0	β_1	β_2	β_3	u	R^2	Durbin-Watson
-14.623	0.004	0.016	- 0.001	0.734	0.740	1.851
$MOR = \beta_0 + \beta_1 MOE_{dynv} + \beta_2 k_h^{1/2} + \beta_3 I + u$						
β_0	β_1	β_2	β_3	u	R^2	Durbin-Watson
50.272	3.367	- 22.167	– 0.009	10.401	0.330	1.847

3.2. Diagnosis and validation of the models

Analysis of the residues allowed the normality and homoscedasticity in the MOE_g model (Fig. 1) to be checked, as well as the absence of autocorrelation according to the Durbin–Watson statistic. However, the graph of the residues of the MOR model (Fig. 2) shows the possible existence of heteroscedasticity, since it does no satisfy the hypothesis of constant variance over all observations, using the ordinary least squares (OLS) method. Weighted least squares (WLS) method was used for the correction, and the final parameters and correlation coefficient for the MOR model are shown in Table 5.

The models were validated, using the subset selected for this purpose, through a cross-validation, equal to R_a^2 - R_b^2 , where R_a is the correlation between observed and predicted values of the regression sub-sample and R_b is the correlation between observed and predicted values of the independent sub-sample selected for the validation. Cross-validation rates were both<0.1; therefore, the models obtained were considered reliable (Table 5).

Table 5. Models cross-validation

Model	R_a^2	R_b^2	$\|R_a^2-R_b^2\|$
MOE_g = -14,623 + 0,004V_v + 0,016ρ - 0,001l	0.727	0.677	0.050
MOR = 50,079 + 3,409MOE_{dynv} - 22,059$k_h^{1/2}$ – 0,009l	0.344	0.282	0.062

4. Discussion

The coefficients of determination of the MOE_g models showed better adjustment when using wave speed and density as two independent variables, rather than the dynamic modulus of elasticity from Eq. 1. The use of the sample length variable (l) had a significant effect on the adjustments, but the addition of visual variables ($CKDR^{1/2}$, $K_h^{1/2}$ or $K_b^{1/2}$) did not result in a significant improvement. The model with the highest coefficient of determination (0.740) and lowest error (0.734) was obtained using vibration wave velocity (V_v), density (ρ) and sample length (l) as independent variables.

These results are similar to those discussed in numerous works. Iñiguez (2007) found coefficients of determination for radiata and Scots pine of 0.740 for linear regressions of the dependent variable MOE_g as a function of MOE_{dynu} and 0.760 when a function of MOE_{dynv}. Hanhijarvi and Ranta- Maunus (2008) obtained coefficients of determination of 0.630 and 0.650 for spruce and Douglas-fir, respectively, using ultrasound velocity as independent variable, while Divos and Tanaka (1997) reported of values up to 0.764 for the same species using variables obtained in the analysis of longitudinal vibrations. Fernández-Golfín *et al.* (2007) obtained coefficients of determination for several pine species of up to 0.705 for predictive models of MOE_g including visual classification parameters and nondestructive variables as independent variables. For chestnut, Faggiano (2009) found coefficients of determination of 0.760 from ultrasound measurements. The use of linear models to predict mechanical properties from the visual characteristics of wood seems to be an acceptable approach for various conifers. However, the results of this work showed that the visual grading parameters did not present predictive value for MOE_g of chestnut. Regression adjustments for the dependent variable MOR showed low coefficients of determination and high errors. The best model was obtained using the independent variables MOE_{dynv}, $Kh^{1/2}$ and l (R^2=0.344).

The relationship between non-destructive techniques and MOR has been studied in several works with different results attributable to the high variability of this mechanical property. For example, in the previously mentioned work by Iñiguez (2007) with some pine species, coefficients of determination of 0.680 for MOR are reported depending on the MOE_{dyn} and CKDR ratio. However, for structural chestnut wood Nocetti *et al.* (2010) found low coefficients of determination (0.184) for the variable MOR correlated with the MOE_{dyn} and knot parameters.

5. Conclusions

The regression models obtained in this study are suitable for the estimation of MOE_g using wave velocity and density as independent variables as evidenced by their coefficient of determination (R^2) values which are within the usual range in this type of studies. Their accuracy was significantly improved by adding the sample length, an easily measurable variable. On the contrary, the models obtained for MOR presented a low R^2 and a high estimated error; therefore, this approach was not suitable for its prediction.

The visual grading parameters of wood explained a low portion of the variance of MOE_g or MOR. Its use as predictors for mechanical properties, an approach commonly used in conifers, seems to fail in chestnut.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Ministry of Science and Innovation of Spain (MICIN) and the Plan for Science, Technology and Innovation of the Principality of Asturias (PCTI) for funding of the research project ''Forest and industrial valorisation of Spanish chestnut'' (VALOCAS). Funding of this work was conducted through the lines Singular Strategic Projects (MICIN) and Complementary Support for Singular Strategic Projects carried out in Asturias (PCTI).

References

Acuña L, Díez M, Casado M (2006) Los ultrasonidos y la calidad de la madera estructural. Aplicación a *Pinus Pinaster* Ait. CIDEU 2:7-26

Bucur V (2006) Acoustics of wood. Springer Verlag. Heidelberg.

Casado M, Acuña L, Vecilla D, Basterra A, Pando V, Relea E (2007) Determinación de la capacidad resistente de madera estructural de *Pinus sylvestris* mediante PLG. 11º Congreso Español de END. Gijón.

Divos F (2002) Portable Lumber Grader. 13th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood. Berkeley, USA.

Divos F, Sismandy F (2010) Strength Grading of Structural Lumber by Portable Lumber Grading - Effect of knots. Final Conference of COST Action E53. Edinburgh, Scotland.

Divos F, Tanaka T (1997) Lumber Strength Estimation by Multiple Regression. Holzforschung 51(5):467-471

Esteban M (2003) Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera. Dissertation. Universidad Politécnica de Madrid

Faggiano B (2009) Mechanical identification by NDT of old chestnut structural timber. First International Conference PROHITECH. Rome, Italy.

Feio A, Lourenço P, Machado J (2007) Non-Destructive Evaluation of the Mechanical Behaviour of Chestnut Wood in Tension and Compression Parallel to Grain. International Journal of Architectureal Heritage 1(3):272-292

Fernández-Golfín J, Conde M, Hermoso E (2007) Improving the prediction of strength and rigidity of structural timber by combining ultrasound techniques with visual grading parameters. Materiales de Construcción 57(288):49-59

Hanhijärvi A, Ranta Maunus A, Turk G (2005) Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade - project – phase 1. VTT Publications.

Hanhijarvi A, Ranta-Maunus A (2008) Development of strength grading of timber using combined measurement techniques. VTT. Espoo.

Iñiguez G (2007) Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Dissertation. Universidad Politécnica de Madrid

Kretschmann D E, Green D W (1999). Mechanical grading of oak timbers. Journal of Materials in Civil Engineering, 11(2): 91-97.

Nocetti M, Bacher M, Brunetti M, Crivellaro A, van de Kuilen J W G (2010) Machine grading of Italian structural timber: preliminary results on different wood species. World Conference on Timber Engineering. Trentino, Italy.

Piter J C, Zerbino R L, Blaß H J (2004). Machine strength grading of Argentinean Eucalyptus grandis. Main grading parameters and analysis of strength profiles according to European standards. Holz als Roh- und Werkstoff, 62(1):9-15, 2004.

Vega A, Guaita M, Dieste A, Majada J, Fernández I, Baño V. (2011) *Evaluation of the influence of visual parameters on wave transmission velocity in sawn chestnut timber*. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Sopron, Hungary.

Proposal of visual grading criteria of structural timber of Sweet Chestnut from Spain

Abel Vega[(1)], Francisco Arriaga[(2)], Manuel Guaita[(3)], Vanessa Baño[(1)]

European Journal of Wood and Wood Products
DOI 10.1007/s00107-013-0705-4
Received: 29th March 2013

[(1)]Forest and Wood Technology Research Centre (CETEMAS)
Finca Experimental "La Mata", Grado, Asturias, 33820 – Spain

[(2)]Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Montes
Technical University of Madrid,
Ciudad Universitaria, 28040, Madrid - Spain.

[(3)]Department of Agroforestry Engineering
EPS, University of Santiago de Compostela
Benigno Ledo, 27002, Lugo – Spain

Abstract

Bending strength, modulus of elasticity and density were obtained for 981 specimens of Spanish Sweet Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) sawn timber from 5 provenances. Four-points bending tests were made three sizes (40x100x2500, 40x150x3500 and 70x150x3500 mm) according to EN 408 (CEN EN 408:2011). Visual grading criteria were established, resulting in 82% of the samples being classified as one structural quality, namely MEF. Characteristic values of the density and the mechanical properties were determined according to EN 384 (CEN EN 384:2010): $E_{0,mean}$=12.3 kNmm^{-2}; $f_{m,k}$=28 Nmm-2 and ρ_k=510 kgm^{-3}. Therefore, a strength class D24 was assigned according to EN 338 (CEN EN 338:2010). The relationship between the modulus of elasticity and bending strength was lower (R^2=0.26) than for Spanish coniferous species.

Zusammenfassung

Die Biegefestigkeit, Elastizitätmodul und Rohdichte wurden für 981 Holzproben, die aus Kastanien (*Castanea sativa* Mill) von 5 unterschiedlichen Herkunft geschnitten wurden, getestet. Vierpunkt-Versuch wurde für drei Querschnit nach EN 408 (CEN EN 408:2011) durchgeführt: 40x100x2500 mm^3, 40x150x3500 mm^3 und 70x150x3500 mm3. Eine visuell Sortierung Annahmekriterien nach Tragfähigkeit, genannt MEF, konzentriert 82% die Holzproben. Charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte wurden nach EN 384 (CEN EN 384:2010) bestimmt: $E_{0,mean}$=12.3 kNmm^{-2}; $f_{m,k}$=28 Nmm^{-2} und ρ_k=510 kgm^{-3}. Eine Tragfähigkeit Klass D24 wurde nach EN 338 (CEN EN 338:2010) etabliert. Die Beziehung zwischen Elastizitätmodul und Biegefestigkeit war niedrigerer (R^2=0.26) als die, die für Spanische Nadelschnittholz veröffentlichen sind.

Keywords: *Spanish chestnut, visual grade, strength class, mechanical properties, density*

1. Introduction

Visual grading is the main tool for the assignment of structural grades to sawn timber. In Spain, *Eucaliptus* spp. is the only hardwood structurally characterized (Fernández-Golfín *et al.* 2007) and included in the Spanish visual grading Standard (UNE 56546:2011) and in the European System of strength classes from visual grading by species EN 1912 (CEN EN 1912:2012). Spanish chestnut has not yet been included in this Standard, even though it is a material traditionally used in construction. Chestnut timber from Italy has recently been included in the National Grading Standard (UNI 11035-2:2010) and incorporated in European Standard EN 1912 (CEN EN 1912:2012), being allocated to strength class D24 (Brunetti *et al.* 2009).

The objectives of this work are the following: 1) the determination of the bending strength, the modulus of elasticity and the density of Spanish sawn chestnut timber; 2) the proposal of visual grading criteria; 3) the assigning of a strength class according to EN 338 (CEN EN 338:2010); and 4) the study of the relationships between the bending strength, modulus of elasticity and density.

2. Materials and methods

2.2. Sample description

A total of 981 specimens of Chestnut structural sawn timber (*Castanea sativa* Mill.) were assessed. They were of three cross-sections: 40x100 mm, 70x100 mm and 70x150 mm, and from 5 provenances, which harvest most of chestnut wood in Spain: Galicia, Asturias, Castilla-León, Extremadura and Cataluña. The specimens were selected from various sawmills to represent the variability of the Spanish structural timber.

2.3. Determination of the mechanical properties and density

The values of modulus of elasticity (E_0) and bending strength (f_m) were obtained by a four points bending test according to EN 408 standard (CEN EN 408:2011). The characteristic values were calculated from the weighted average of the fifth percentile of each sample and corrected according to EN 384 standard (CEN EN 384:2010).

2.4. Visual grading

Wood singularities were evaluated according to EN 1310 standard (CEN EN 1310:1997). The visual grading criteria for Spanish chestnut timber were presented for future inclusion in the Spanish visual grading Standard UNE 56546 (UNE 56546:2011).

Fissures less than ¼ of the length of the beam, or less than 1 m in length were not included in the visual grading criteria proposed, nor were fissures due to lightning, frost or lesions. The presence of pith was not used as a restriction due to there was no significant differences in the mechanical properties for the structural chestnut specimens graded or rejected. Tested pieces were free from ring shake, so it was not considered in the grading criteria. The specimens were also free from fungal damages and from wood destroying insects.

3. Results and discussion

3.1. Mean values of the mechanical properties and density

The mean values of all the samples obtained for the modulus of elasticity, bending strength and density were 11.4 $kNmm^{-2}$ (CoV=14.9%), 48 Nmm^{-2} (CoV=28.5%) and 584 Kgm^{-3} (CoV=7.6%), respectively.

Equations 1, 2 and 3 show the relationships between the studied properties of sweet chestnut, significant at 99% confidence level. Their determination coefficients (R^2) were 0.26, 0.08 and 0.02, respectively. These coefficients showed that the bending strength could not be predicted, either from the modulus of elasticity or the density. In the same way, density could not be predicted from modulus of elasticity.

$$f_m = 4.294\ E_0 - 1.827 \quad \text{Eq.1}$$

$$\rho = 0.764\ E_0 + 496.080 \quad \text{Eq.2}$$

$$f_m = 0.038\ \rho + 24.680 \quad \text{Eq.3}$$

The determination coefficients for chestnut were lower than the Spanish coniferous. With respect to Spanish deciduous, the determination coefficients were similar to those obtained for *Eucalyptus globulus*, with values of R^2 equal to 0.36 and 0.12 for the relationships E_0-f_m and f_m-ρ, respectively (Fernández-Golfín *et al.* 2007) and they were different to those obtained for *Quercus robur*, with a value of R^2 for the relationship E_0-f_m equal to 0.65 (Riesco and Remacha 2012).

3.2. Visual grading

Knots are the most relevant singularity in the mechanical properties of chestnut (Bonamini *et al.* 1998; Vega *et al.* 2012). Hence criteria to limit the maximum diameter of knot were established in this work in order to obtain an appropriate percentage of structural timber.

A single visual grade, denominated MEF (hardwood structural timber) was established. Table 1 presents the proposed criteria for the visual grading, as MEF, of the Spanish sweet chestnut.

Table 1. Classification criteria for the assignation of visual grade MEF to the Spanish chestnut

QUALITY CRITERIA			MEF
Face knots (d/h)			d ≤ 1/2 h
Edge knots (d/b)			d ≤ 2/3 b
Fissures (1)(2)	Shrinkage	Passing	L (length) ≤ 2h
		Others	F (depth) ≤ 1/2 b
	-Lightning, frost, lesions		Not allowed
Slope of grain			1:10 (10 %)
Wane	-Length		≤1/4 L
	-Relative dimension		g ≤ 1/4
Pith			Allowed
Warp			
-Bow			10 mm (every 2m of length)
-Spring			8 mm (every 2m of length)
-Twist			1 mm (every 25 mm of h) (every 2m of length)
-Cup			No limitations

(1) *Dry classiffication*

(2) *Refers to 12-18% moisture content.*

The proposed criteria for visual grading of Spanish Chestnut were in agreement with those specified in the Italian standard UNI 11035 (UNI 11035-2:2010), with regard to the size of face knots, maximum length of the fissures; presence of pith and the limitations of deformations.

3.3. Characteristic values of the mechanical properties and density

The characteristic values of the samples obtained for the modulus of elasticity ($E_{0,mean}$), bending strength ($f_{m,k}$) and density (ρ_k) were 12.3 kN·mm^{-2}, 28 N·mm^{-2} and 510 Kg·m^{-3}, respectively. They corresponded with a strength class D24, according to EN 338 standard (CEN EN 338:2010).

4. Conclusions

Criteria to establish visual grades for Spanish chestnut were defined, resulting in a single quality denominated MEF. Spanish chestnut timber for structural use with height lower than 150 mm and graded as MEF was assigned to a strength class D24.

The relationships between the mechanical properties studied and the density were low. In addition, the modulus of elasticity of Spanish chestnut could not be used to estimate the bending strength.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Ministry of Science and Innovation of Spain (MICIN) and the Plan for Science, Technology and Innovation of the Principality of Asturias (PCTI) for supporting this research through the research project "Forest and industrial valorization of Spanish chestnut" (VALOCAS) and its funding through the Singular Strategic Projects (MICIN) and Complementary Support for Singular Strategic Projects carried out in Asturias (PCTI).

References

Bonamini G, Togni M, Pascucci R (1998) Regole di classificazione per le travi di castagno. Edizioni C.L.U.T. Torino, Italy

Brunetti M, Cremonini C, Crivellaro A, Togni M, Zanuttini R (2009) Il legname di castagno per uso estrutturale. Castanea 2009, 5º ConvegnoNazionale Castagno and 1st European Congress on Chestnut. Cuneo, Italy

Fernández-Golfín J, Díez R, Hermoso E, Baso C, Casas J, González O (2007) Caracterización de la madera de *Eucalyptus globulus* para uso estructural. Boletín CIDEU 4:91-100

Riesco-Muñoz G, Remacha-Gete A (2012) Prediction of bending strength in Oak beams on the basis of elasticity, density and Wood defects. J. Mater. Civ. Eng. 24:629-634

Vega A, Dieste A, Guaita M, Majada J, Baño V (2012) Modelling of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. structural timber by a combination of non-destructive variables and visual grading parameters. Eur. J. Wood Products. 70(6):839-844

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA