**PROGRAMA DE DOCTORADO EN
INVESTIGACIÓN FORESTAL AVANZADA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL**

**INFLUENCIA DE FACTORES FÍSICOS Y GEOMÉTRICOS
EN LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA
MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS**

DANIEL FERNÁNDEZ LLANA
Ingeniero Agrónomo

Director:
GUILLERMO ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ
Doctor Ingeniero de Montes

2016

Tribunal nombrado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día ____ de _____ de 2016.

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ____ de _____ de 2016, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural de Madrid.

Calificación:

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

El agua es a la madera como la suegra al ser humano, si no puedes evitar que entre en casa, asegúrate de que salga lo más rápidamente posible.

Dr. M. Rafael Díez Barra

Un día, antes de salir para sus diligencias de la tarde, sentose Carrasco un momento al lado de su *oíslo* y le dijo: «Tengo que comunicarte lo que pienso acerca del niño mayor, que pronto está en disposición de empezar una carrera. Este año se creará una nueva de gran porvenir, que llaman *Ingenieros de montes*, y ello tiene por objeto estudiar y dirigir la replantación de arbolado, para que llueva más y no tengamos tanta sequía. Nuestro hijo será de los primeros que entren en esa brillante carrera, para lo cual le pondremos en una escuela donde nos le preparen de toda la matemática y toda la botánica que sea menester».

D. Benito Pérez Galdós

Tercera serie de los Episodios Nacionales, libro Bodas Reales, capítulo XXIX

Los sucesos narrados en dicho capítulo transcurren en Madrid en el año 1846

Dedicado a todos los Ingenieros de Montes que han contribuido a esta tesis

AGRADECIMIENTOS

Una tesis doctoral no la hace uno solo, sin el apoyo de un montón de gente sería imposible llegar a este punto, sin embargo, en la portada solo me permiten poner mi nombre, que injusticia, así que no me queda más remedio que citar aquí a todos aquellos que, de una manera u otra, también son autores de la presente tesis.

A mi familia, en especial a mis padres y hermana por su incondicional apoyo durante toda mi vida.

A mi director, Guillermo Íñiguez por su dedicación, apoyo y eterna paciencia durante estos largos años de elaboración de la tesis doctoral.

A Francisco Arriaga, con el cual he pasado largas horas discutiendo sobre la normativa y otros aspectos de la madera, además, de enseñarme otros temas de la arquitectura.

A Miguel Esteban, ya que fueron sus clases de la asignatura Construcción con Madera las que me hicieron interesarme por este tema.

A Beatriz Palancar, por su ayuda y apoyo durante todos estos años.

A la doctora Pepa Montero que tanto me ayudó al principio de mi tesis.

A Nacho Bobadilla, por su apoyo durante estos años.

A Roberto D. Martínez, ilustre inventor de taladrines, por aguantarme en los viajes como compañero de habitación con mi despertador de tic tac.

A Eva Hermoso, por dirigirme en el laboratorio del INIA y por soportarme en los viajes transoceánicos en avión.

A Ramón García por su paciencia, ya que solo le faltó escribirme la tesis, sin olvidar que adquirió el reloj que marcó nuestros ensayos durante largas horas, especialmente de 2 a 3 de la tarde. Siempre somos los mismos.

A Emilio el carpintero que entre la fabricación de confesionarios y sarcófagos, siempre tuvo tiempo a echar una mano y me consiguió una radio que hiciera más llevaderas las largas jornadas de trabajo.

Al resto de componentes del Laboratorio de Estructuras de Madera del INIA Juan Carlos Cabrero, Rafa Díez, Raquel Mateo (AITIM), José Luis de Ceca, Quique Garriga, ... siempre dispuestos a echar una mano cuando hizo falta.

A Sara Izquierdo, Henar Rabadán y Víctor Maynou, por contribuir activamente en la realización de parte de los ensayos.

A Emilio A. Luengo, por los buenos momentos que hemos pasado trabajando en el laboratorio mientras escuchábamos música rock.

A Paco Ayuga por tutorarme durante mis primeros pasos en la investigación.

A Carlos González y Álvaro Ramírez con los que realicé mis primeras investigaciones en silos.

A Joaquín Montón por el regaliz y por sus enseñanzas sobre inspección de estructuras de madera e incluso sobre aspectos de la construcción con acero y hormigón.

Al profesor Peter Niemz, que me dirigió mi estancia en el ETH de Zürich, Suiza, acogiéndome como a uno más en su grupo de trabajo.

A Herr Doktor Sergio J. Sanabria, Thomas Lorenz, Katalin Kránitz, Thomas Schnider, Franziska Ritchel y demás miembros de Holzphysik ETH de Zürich que tanto me ayudaron durante mi estancia en su centro.

Al Dr. Xiping Wang, que me dirigió mi estancia en el FPL de Madison, WI, US, por las buenas experiencias allí vividas, incluyendo ensayos ND e incluso un cerrojazo.

A Hailing Feng, profesor de universidad en Hangzhou, con el que compartí despacho y algún ensayo no destructivo en las instalaciones del FPL de Madison.

Al profesor Ferenc Divós, que me dirigió mi estancia en Sopron, Hungría, y me instruyó en el uso de todo tipo de técnicas no destructivas y me permitió acompañarle en sus interesantes viajes.

A Balázs Major que tanto me ayudó en Sopron, no solo con los ensayos, sino también a comprender la cultura y tradiciones húngaras. "Jó szerencsét".

A mis compañeros del Máster en Agroingeniería, Rodrigo Ares, Sandra Esteban y la doctora Tatiana Jiménez, con ellos empezó todo.

A mi ahijada Isabel Sofía, su padre Miguel Ángel, Alicia Esteban y Blanca Muñoz, que siempre muestran su apoyo estén cerca o lejos.

A mis amigos Javier González, Pablo Rubiera, Mery Bartolomé, Carmen Gómez, Leonard D. Elspér, Nelida Fernández, Óscar Elspér, Luis M. Fernández, Carlos Rodríguez, Raúl Pardo, Belen E. Salgueiro, José Alfredo Rapela, Beatriz Reyero, Rocilio Benavente, Javier García, Carlos J. Ordás, José Pascual, German Souto, Roberto P. Castillo, Íñigo García, María Fátima Villar, Benjamín Hernández, Ryusuke D. Kambara, Anselmo Montes y Guillermo M. Martín, por su apoyo durante estos años.

A Justi Valdivieco y al supremo Luis Miguel Mielgo, por todo lo que me enseñaron en el sector de las construcciones metálicas y por su apoyo cuando me fui de Mayorga para realizar la tesis doctoral.

A Abel Vega y demás miembros del CETEMAS que realizaron una parte experimental de la presente tesis en castaño en su Laboratorio de Madera Estructural.

A todos aquellos miembros de entidades de investigación y universidades españolas que han aportado datos de equipos no destructivos: UPM, AITIM, CESEFOR, CETEMAS, CIFOR-INIA, CIS-MADEIRA, INCAFUST, TKNKA, UPC y UVA.

Al Ministerio de Economía y Competitividad del gobierno de España por el soporte económico a través del proyecto BIA2010-18858 del Plan Nacional I+D+i 2008-2011, al cual estaba asociada la beca FPI BES-2011-044803 de la cual era beneficiario.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xiii
SÍMBOLOS / <i>SYMBOLS</i>	xix
Nombres de especies / <i>species names</i>	xxi
Nombres de equipos comerciales no destructivos	xxi
RESUMEN	xxiii
<i>ABSTRACT</i>	xxv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. ANTECEDENTES	9
3.1 TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS EN MADERA.....	11
3.1.1 Uso de técnicas no destructivas en España	26
3.2 FACTORES QUE AFECTAN A LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS	44
3.2.1 Contenido de humedad de la madera	44
3.2.2 Temperatura de la madera	47
3.2.3 Dimensiones de la pieza	49
3.2.4 Ángulo y posición de los sensores	52
3.3 HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS	55
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	59
4.1 EQUIPO HUMANO.....	61
4.2 EQUIPO MATERIAL	62
4.2.1 Material auxiliar	62
4.2.2 Equipos de medición del contenido de humedad	63
4.2.2.1 Equipos del método de secado en estufa	63
4.2.2.2 Xilohigrómetro de resistencia eléctrica	63
4.2.2.3 Xilohigrómetro capacitivo	64
4.2.3 Equipos de ultrasonidos	65
4.2.3.1 Steinkamp BP-V.....	65
4.2.3.2 Sylvatest Duo.....	65

4.2.3.3 USLab	66
4.2.4 Equipos de ondas de impacto.....	67
4.2.4.1 MicroSecond Timer.....	67
4.2.5 Equipos de vibración.....	67
4.2.5.1 Portable Lumber Grader	67
4.2.5.2 Timber Grader MTG.....	69
4.2.6 Equipos de penetración.....	70
4.2.6.1 Pilodyn 6J Forest.....	70
4.2.7 Equipos de arranque de tornillo.....	71
4.2.7.1 Screw Withdrawal Resistance Meter	71
4.2.8 Tabla resumen de técnicas y equipos no destructivos utilizados	72
4.2.9 Máquina universal de ensayos mecánicos	72
4.3 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA Y ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES	74
4.3.1 Planteamiento general	74
4.3.2 Material de ensayo	74
4.3.3 Contenido de humedad y densidad	76
4.3.4 Clasificación visual y CKDR	76
4.3.5 Determinación del módulo de elasticidad local y global en flexión	78
4.3.6 Técnicas no destructivas globales	79
4.3.6.1 Técnicas de ultrasonidos y ondas de impacto	79
4.3.6.2 Técnica de vibraciones inducidas	80
4.3.7 Técnicas no destructivas puntuales	82
4.3.8 Ensayos físico-mecánicos	83
4.3.8.1 Módulo de elasticidad local y global en flexión	83
4.3.8.2 Resistencia a la flexión axial	83
4.3.8.3 Densidad local y contenido de humedad de rebanada	83
4.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA Y DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES	84
4.4.1 Planteamiento general	84
4.4.2 Material de ensayo	84
4.4.3 Contenido de humedad y densidad	86
4.4.4 Clasificación visual y CKDR	87
4.4.5 Determinación del módulo de elasticidad local y global en flexión	87
4.4.6 Técnicas de ultrasonidos y ondas de impacto.....	88
4.4.7 Técnica de vibraciones inducidas	89
4.5 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS.....	91

4.5.1 Recopilación de resultados	91
4.5.2 Homogeneización de datos	91
4.5.3 Protocolo de ensayos no destructivos	94
4.6 ESQUEMA RESUMEN DE MATERIAL DE ENSAYO UTILIZADO.....	95
4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	96
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
5.1 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA	99
5.1.1 Técnicas no destructivas globales	99
5.1.1.1 Transmisión de onda	102
5.1.1.2 Vibración	106
5.1.1.3 Propuesta de corrección.....	110
5.1.2 Técnicas no destructivas puntuales	113
5.1.2.1 Comparativa de velocidad de secado entre probetas de 3 m y 0,5 m	116
5.1.2.2 Penetración.....	117
5.1.2.3 Arranque de tornillo	121
5.1.2.4 Propuesta de corrección.....	125
5.1.3 Densidad global y puntual	125
5.2 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.....	130
5.2.1 Resultados de las técnicas no destructivas	130
5.2.1.1 Técnicas no destructivas globales	130
5.2.1.2 Técnicas no destructivas puntuales.....	131
5.2.2 Resultados de las propiedades físicas y mecánicas	132
5.2.2.1 Densidad local, global y puntual	132
5.2.2.2 Módulo de elasticidad local y global en flexión	134
5.2.2.3 Resistencia a la flexión axial (tensión de rotura)	134
5.2.3 Estimación de la densidad	135
5.2.4 Estimación del módulo de elasticidad	135
5.2.4.1 Utilizando la velocidad	135
5.2.4.1 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico	137
5.2.5 Estimación de la tensión de rotura	139
5.2.5.1 Utilizando la velocidad	139
5.2.5.2 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico	140
5.2.5.3 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico y el CKDR	141
5.3 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA	143
5.3.1 Transmisión de onda	143

5.3.2 Vibración	146
5.3.3 Procedimiento de corrección	148
5.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES	155
5.4.1 Posición testa-testa	155
5.4.2 Posición cara-cara directa y canto-canto directo	155
5.4.3 Posición cara-cara indirecta y canto-canto indirecto.....	157
5.4.4 Comparativa entre lecturas con diferente posición de los sensores	159
5.4.5 Corrección de mediciones directas e indirectas a testa-testa para equipos de ultrasonidos	161
5.5 CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS MUESTRAS.....	162
5.5.1 Rendimientos de clasificación visual según la norma UNE 56544:2011	162
5.5.1.1 Muestra 1	162
5.5.1.2 Muestra 2	164
5.5.2 Propiedades físicas y mecánicas por calidad visual	166
5.5.2.1 Muestra 1	166
5.5.2.2 Muestra 2	168
5.6 COMPARATIVA ENTRE EQUIPOS DE ENSAYO	170
5.6.1 Equivalencia entre velocidades de diferentes equipos	170
5.6.2 Comparativa entre módulos de elasticidad	171
5.7 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS.....	176
5.7.1 Resumen de datos, especies y procedencias.....	176
5.7.1.1 Universidad Politécnica de Madrid/CIFOR-INIA (Madrid).....	177
5.7.1.2 AITIM/CIFOR-INIA (Madrid).....	177
5.7.1.3 CESEFOR (Soria)	178
5.7.1.4 CETEMAS (Asturias/Asturies)	179
5.7.1.5 CIFOR-INIA (Madrid)	180
5.7.1.6 CIS-Madeira (Orense/Ourense)	181
5.7.1.7 INCAFUST (Lérida/Lleida).....	182
5.7.1.8 TKNKA (Guipúzcoa/Gipuzkoa)	182
5.7.1.9 Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona)	183
5.7.1.10 Universidad de Valladolid (Palencia)	183
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	185
6.1 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA	187
6.1.1 Técnicas no destructivas globales	187
6.1.2 Técnicas no destructivas puntuales	188
6.1.3 Densidad	188

6.2 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.....	189
6.2.1 Densidad	189
6.2.2 Modulo de elasticidad	189
6.2.3 Tensión de rotura.....	190
6.3 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA	191
6.4 INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES.....	192
6.5 CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS MUESTRAS.....	193
6.5.1 Comparativa de los resultados de la UNE 56544:2011 y la DIN 4074-1:2012 ...	194
6.6 COMPARATIVA ENTRE EQUIPOS DE ENSAYO	195
6.7 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS.....	195
6.8 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	196
6.9 CONCLUSIONS	197
6.9.1 Influence of timber moisture content	197
6.9.1.1 Global non-destructive techniques	197
6.9.1.2 Non-destructive probing techniques.....	198
6.9.1.3 Density	199
6.9.2 Estimation of mechanical properties by non-destructive techniques	199
6.9.2.1 Density	199
6.9.2.2 Modulus of elasticity	200
6.9.2.3 Bending strength	200
6.9.3 The influence of measurement length.....	201
6.9.4 Sensors position influence	202
6.9.5 Visual strength grading	203
6.9.5.1 Visual strength grading using UNE 5644:2011 vs. DIN 4074-1:2012	204
6.9.6 Comparison of devices	205
6.9.7 The collection and homogenization of non-destructive results	205
6.9.8 Future research lines	205
7. BIBLIOGRAFÍA.....	207
7.1 PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y LIBROS	209
7.2 TESIS DOCTORALES Y PROYECTOS FIN DE CARRERA	220
7.3 NORMAS.....	222
7.4 MANUALES DE USUARIO	223

ANEXOS	225
ANEXO A. ESTADILLOS DE LABORATORIO.....	227
ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS	235
B.1 Leyenda	235
B.2 Muestra 1 (100 piezas a 3 m).....	236
B.2.1 Dimensiones, contenidos de humedad, clasificación visual y densidad	236
B.2.2 Mediciones con equipos no destructivos	250
B.2.3 Resultados de ensayos físico-mecánicos.....	264
B.3 Muestra 1 (100 piezas a 0,5 m)	267
B.4 Muestra 2 (120 piezas a 4, 3, 2 y 1 m)	281
B.4.1 Dimensiones, contenidos de humedad, clasificación visual y densidad	281
B.4.2 Mediciones testa-testa con equipos no destructivos	288
B.4.3 Mediciones directas (cara y canto) con equipos no destructivos	295
B.4.4 Mediciones indirectas (cara y canto) con equipos no destructivos.....	302
B.4.5 Resultados de ensayos físico-mecánicos.....	309
ANEXO C. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE NORMALIDAD.....	311
ANEXO D. CLASIFICACIÓN VISUAL NORMA UNE 56544:2011 vs. DIN 4074-1:2012.....	319
D.1 Diferencias entre norma UNE 56544:2011 y DIN 4074-1:2012.....	319
D.2 Rendimientos de clasificación visual según la norma DIN 4074-1:2012.....	323
D.3 Propiedades físicas y mecánicas por calidad visual (DIN 4074-1:2012)	327
D.4 Comparativa entre los resultados de la UNE 56544:2011 y la DIN 4074-1:2012	331
ANEXO E. HOMOGENEIZACIÓN.....	333
E.1 Protocolo de ensayos.....	333
E.2 Glosario de técnicas y equipos no destructivos	346
ANEXO F. MADERA DE CASTAÑO: INFLUENCIA DE FACTORES GEOMÉTRICOS Y ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES	347
F.1 Introducción.....	347
F.2 Estudio de la influencia de la longitud de medida	347
F.3 Estudio de la influencia de la posición de los sensores	350
F.4 Estimación del módulo de elasticidad mediante técnicas no destructivas	351
F.4.1 Estimación del módulo de elasticidad utilizando la velocidad.....	352
F.4.2 Estimación del módulo de elasticidad utilizando el módulo de elasticidad dinámico	354
ANEXO G. CLASIFICACIÓN NO DESTRUCTIVA MEDIANTE MÁQUINA AUTOMÁTICA PLG+.....	357
G.1 Introducción	357
G.2 Aplicación práctica.....	359

ANEXO H. ESTANCIAS EN OTROS CENTROS DE I+D U ORGANISMOS SUPERIORES DE ENSEÑANZA	371
ANEXO I. DIFUSIÓN DE RESULTADOS	373
I.1 Artículos en revistas científicas indexadas en el JCR.....	373
I.2 Comunicaciones a congresos científicos internacionales.....	375
I.3 Participación en reuniones técnicas (<i>workshops</i>)	376
I.4 Proyectos fin de carrera derivados	376

Índice de tablas

Tabla 3.1 Coeficientes de determinación de tesis doctorales españolas.....	42
Tabla 4.1 Resumen de técnicas y equipos ND utilizados	72
Tabla 4.2 Especies objeto de estudio	75
Tabla 4.3 Especies objeto de estudio	85
Tabla 5.1 TND globales resumen de especies y dimensiones.....	99
Tabla 5.2 TND globales resumen de contenidos de humedad	100
Tabla 5.3 Resumen de velocidades de transmisión de onda	103
Tabla 5.4 Coeficientes de la ecuación 5.1 (I)	106
Tabla 5.5 Resumen de velocidades, obtenidas con la frecuencia de vibración	107
Tabla 5.6 Coeficientes de la ecuación 5.1 (II)	110
Tabla 5.7 Coeficientes de corrección por especie, de la velocidad medida mediante diferentes equipos (ecuación 5.2)	112
Tabla 5.8 TND puntuales resumen de especies y dimensiones	113
Tabla 5.9 TND puntuales resumen de contenidos de humedad.....	114
Tabla 5.10 Coeficientes de la ecuación 5.3.....	117
Tabla 5.11 Resumen de profundidades de penetración	118
Tabla 5.12 Coeficientes de la ecuación 5.4.....	121
Tabla 5.13 Resumen de fuerzas de arranque de tornillo	122
Tabla 5.14 Coeficientes de la ecuación 5.5.....	125
Tabla 5.15 Coeficientes de corrección por especie, de la profundidad de penetración y la fuerza de arranque de tornillo (ecuación 5.6)	125
Tabla 5.16 Resumen de densidad global y puntual.....	126
Tabla 5.17 Coeficientes de la ecuación 5.7.....	129
Tabla 5.18 Coeficientes de corrección por especie, de la densidad (ecuación 5.8)	129
Tabla 5.19 Resumen de velocidades medias de transmisión de onda	131
Tabla 5.20 Resumen de velocidades medias de vibración.....	131
Tabla 5.21 Resumen de mediciones con TND puntuales	132
Tabla 5.22 Resumen de densidades local y global	132
Tabla 5.23 Coeficientes de la ecuación 5.9.....	133
Tabla 5.24 Resumen de densidad puntual.....	133
Tabla 5.25 Resumen de los módulos de elasticidad local y global en flexión	134
Tabla 5.26 Resumen de tensiones de rotura.....	134
Tabla 5.27 Coeficientes de la ecuación 5.10	135
Tabla 5.28 Coeficientes de la ecuación 5.11	137

Tabla 5.29 Coeficientes de la ecuación 5.13	138
Tabla 5.30 Coeficientes de la ecuación 5.14	139
Tabla 5.31 Coeficientes de la ecuación 5.15	140
Tabla 5.32 Valores de CKDR	141
Tabla 5.33 Coeficientes de la ecuación 5.16	142
Tabla 5.34 Resumen de especies, CH y dimensiones iniciales	143
Tabla 5.35 Resumen de tiempos de transmisión de onda	143
Tabla 5.36 Resumen de velocidades de transmisión de onda	144
Tabla 5.37 Resumen de velocidades de vibración.....	146
Tabla 5.38 Coeficientes de la ecuación 5.17	149
Tabla 5.39 Resumen de velocidades de transmisión de onda corregidas	151
Tabla 5.40 Tiempo de retardo y CKDR máximo.....	153
Tabla 5.41 Resumen de medias de velocidades de transmisión de onda testa-testa	155
Tabla 5.42 Velocidades de transmisión de onda cara-cara directa corregidas	157
Tabla 5.43 Velocidades de transmisión de onda canto-canto directo corregidas	157
Tabla 5.44 Velocidades de transmisión de onda cara-cara indirecta corregidas	158
Tabla 5.45 Velocidades de transmisión de onda canto-canto indirecto corregidas.....	159
Tabla 5.46 Coeficientes de la ecuación 5.19	161
Tabla 5.47 Calidad visual en húmedo y seco (UNE 56544)	162
Tabla 5.48 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (UNE 56544)	163
Tabla 5.49 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (pino pinaster)	163
Tabla 5.50 Calidad visual a 4 y 3 m (UNE 56544)	164
Tabla 5.51 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (UNE 56544).....	165
Tabla 5.52 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (pino pinaster)	165
Tabla 5.53 Calidad visual en húmedo vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)	166
Tabla 5.54 Calidad visual en seco vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)	166
Tabla 5.55 Calidad visual en 3 m vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)	168
Tabla 5.56 Resumen de velocidades de transmisión de onda corregidas	170
Tabla 5.57 Resumen de velocidades obtenidas con equipos de vibración	170
Tabla 5.58 Coeficientes de la ecuación 5.20	171
Tabla 5.59 Resumen de propiedades físico-mecánicas	172
Tabla 5.60 Resumen de Edin obtenidos por transmisión de onda.....	172
Tabla 5.61 Resumen de Edin obtenidos por vibración	172
Tabla 5.62 Coeficientes de la ecuación 5.22	175
Tabla 5.63 Resumen de datos por especie y escuadría.....	176

Tabla 5.64 Datos aportados por UPM/CIFOR-INIA	177
Tabla 5.65 Datos aportados por AITIM/CIFOR-INIA	177
Tabla 5.66 Datos aportados por CESEFOR	178
Tabla 5.67 Datos aportados por CETEMAS	179
Tabla 5.68 Datos aportados por CIFOR-INIA	180
Tabla 5.69 Datos aportados por CIS-Madeira	181
Tabla 5.70 Datos aportados por INCAFUST	182
Tabla 5.71 Datos aportados por TKNKA	182
Tabla 5.72 Datos aportados por UPC	183
Tabla 5.73 Datos aportados por UPV	183
Tabla 6.1 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.1	187
Tabla 6.2 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.2	188
Tabla 6.3 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.3	188
Tabla 6.4 Coeficientes de la ecuación 6.4	189
Tabla 6.5 Coeficientes de la ecuación 6.5	190
Tabla 6.6 Coeficientes de la ecuación 6.6	191
Tabla 6.7 Coeficientes de la ecuación 6.7	193
Tabla 6.8 Resumen de datos por especie y escuadría	195
Table 6.9.1 Coefficients of equation 6.9.1	198
Table 6.9.2 Coefficients of equation 6.9.2	198
Table 6.9.3 Coefficients of equation 6.9.3	199
Table 6.9.4 Coefficients of equation 6.9.4	199
Table 6.9.5 Coefficients of equation 6.9.5	200
Table 6.9.6 Coefficients of equation 6.9.6	201
Tabla C.1 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (globales)	311
Tabla C.2 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (puntuales)	313
Tabla C.3 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (propiedades)	315
Tabla C.4 Resumen de p-valores del test Kolmogorov-Smirnov (distancia)	316
Tabla C.5 Resumen de p-valores del test Kolmogorov-Smirnov	317
Tabla D.1 Correspondencia de calidades visuales y clases resistentes (EN 1912:2012)	320
Tabla D.2 Criterios de calidad y especificaciones de cada una de las calidades para madera escuadrada, tablas y tablones clasificados visualmente como madera escuadrada (K)	322
Tabla D.3 Calidad visual en húmedo (DIN 4074-1)	323
Tabla D.4 Calidad visual en seco (DIN 4074-1)	323
Tabla D.5 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (DIN 4074-1)	324

Tabla D.6 Calidad visual a 4 y 3 m (DIN 4074-1)	325
Tabla D.7 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (DIN 4074-1)	326
Tabla D.8 Calidad visual en húmedo vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1).....	327
Tabla D.9 Calidad visual en seco vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1).....	328
Tabla D.10 Calidad visual en 3 m vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1).....	330
Tabla F.1 Resumen de CH y dimensiones.....	347
Tabla F.2 Resumen de tiempos de transmisión de onda	348
Tabla F.3 Resumen de velocidades de transmisión de onda	348
Tabla F.4 Velocidades de transmisión de onda cara-cara directas e indirectas	350
Tabla F.5 Módulos de elasticidad local y global en flexión y densidad	352
Tabla F.6 Coeficientes de la ecuación F.1	353
Tabla F.7 Coeficientes de la ecuación F.3.....	355
Tabla G.1. Dimensiones y número de piezas	361
Tabla G.2. Número de piezas en cada clase óptima	362
Tabla G.3. Coeficientes de la ecuación G.1 para cada submuestra	363
Tabla G.4. Regresiones entre E pred y E.....	364
Tabla G.5. Valores iniciales de paso	365
Tabla G.6. Valores iniciales de paso	365
Tabla G.7. Matriz de tamaño sin CKDR	366
Tabla G.8. Matriz de coste elemental	367
Tabla G.9. Matriz de coste global.....	367
Tabla G.10. Valores finales de paso	368
Tabla G.11. Nueva matriz de tamaño sin CKDR	368
Tabla G.12. Nueva matriz de coste global sin CKDR	368
Tabla G.13. Nueva matriz de coste global con CKDR	368
Tabla G.14. Valores propuestos para la norma EN 14081-4	369

Índice de figuras

Figura 3.1 Equipo de vibración longitudinal (fuente James 1961)	12
Figura 3.2 Equipo Roditest (fuente Helms y Niemz 1993)	15
Figura 3.3 Tomografía computerizada (fuente Aguilera <i>et al.</i> 2002)	18
Figura 3.4 Equipo ultrasónico de acoplamiento por aire (fuente Sanabria <i>et al.</i> 2011)	21
Figura 3.5 Equipos desarrollados en Tělc (fuente Kloiber y Drdacky 2015)	23
Figura 3.6 <i>Pulling test</i> y detalle del inclinómetro (arriba izquierda)	24
Figura 3.7 Laboratorio de estructuras de madera del INIA.....	26
Figura 3.8 Mediciones con Steinkamp BP-V (fuente Arriaga <i>et al.</i> 1992b)	27
Figura 3.9 Máquina de clasificación automática Cook-Bolinder	29
Figura 3.10 Estructura del aserradero de Valsaín, Segovia (fuente GICM).....	31
Figura 3.11 Equipos de vibración PLG y HM 200 (fuente Vega 2013).....	35
Figura 3.12 Máquina de arranque de tornillo de traviesas de madera	36
Figura 3.13 RML Wood Extractor (fuente Roberto D. Martínez).....	39
Figura 3.14 Georradar (fuente Rodríguez-Abad 2009)	40
Figura 3.15 Mediciones con Steinkamp BP-V (fuente Sandoz 1989)	45
Figura 3.16 Influencia del CH en la profundidad de penetración (fuente Smith y Morrell 1986).....	47
Figura 3.17 Velocidad de ultrasonidos según sección (fuente Bucur 2006)	49
Figura 3.18 Influencia del ángulo en la velocidad (fuente Armstrong <i>et al.</i> 1991).....	53
Figura 3.19 Medidas testa-testa e indirectas (fuente Gonçalves <i>et al.</i> 2014)	55
Figura 4.1 Xilohigrómetros de resistencia eléctrica (izquierda) y capacitivo (derecha)	64
Figura 4.2 Steinkamp BP-V (izquierda); Sylvatest Duo (centro); USLab (derecha)	66
Figura 4.3 MST midiendo entre caras opuestas y detalle del sensor (inferior derecha)	67
Figura 4.4 PLG y detalle de golpeo (abajo izquierda)	68
Figura 4.5 Consola del MTG	70
Figura 4.6 SWRM (arriba) y Pilodyn 6J Forest (abajo)	71
Figura 4.7 Muestra de piezas de pino pinaster en aserradero para seleccionar.....	75
Figura 4.8 CKDR (reeditada de Íñiguez 2007 con permiso).....	77
Figura 4.9 Detalle de extensómetros en ensayo en máquina universal	79
Figura 4.10 Dispositivo de ensayo para medición ultrasónica testa-testa	80
Figura 4.11 Imagen de pantalla de ordenador de medición con MTG	81
Figura 4.12 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con PLG	81
Figura 4.13 Dispositivo de ensayo para arranque de tornillo sobre pieza de pino silvestre y detalle (abajo izquierda)	82

Figura 4.14 Selección de piezas de pino laricio en aserradero	85
Figura 4.15 Marcado de piezas y taladros	86
Figura 4.16 Ensayo de elasticidad en pino radiata	87
Figura 4.17 Dispositivo de ensayo para medición ultrasónica entre caras opuestas	88
Figura 4.18 Medición ultrasónica con USLab en la misma cara	89
Figura 4.19 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con MTG	90
Figura 5.1 Evolución del CH (pino radiata)	101
Figura 5.2 Evolución del CH (pino silvestre)	101
Figura 5.3 Evolución del CH (pino laricio)	102
Figura 5.4 Evolución del CH (pino pinaster).....	102
Figura 5.5 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino radiata).....	104
Figura 5.6 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino silvestre).....	104
Figura 5.7 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino laricio)	104
Figura 5.8 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino pinaster)	105
Figura 5.9 Regresiones lineales entre velocidad de Sylvatest Duo y CH (CH<30%)	105
Figura 5.10 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino radiata)	108
Figura 5.11 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino silvestre)	108
Figura 5.12 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino laricio).....	108
Figura 5.13 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino pinaster)	109
Figura 5.14 Regresiones lineales entre velocidad de PLG y CH (CH<30%)	109
Figura 5.15 Evolución del CH (pino radiata)	115
Figura 5.16 Evolución del CH (pino silvestre)	115
Figura 5.17 Evolución del CH (pino laricio).....	116
Figura 5.18 Evolución del CH (pino pinaster).....	116
Figura 5.19 Profundidad de penetración en función del CH (pino radiata)	119
Figura 5.20 Profundidad de penetración en función del CH (pino silvestre).....	119
Figura 5.21 Profundidad de penetración en función del CH (pino laricio).....	119
Figura 5.22 Profundidad de penetración en función del CH (pino pinaster)	120
Figura 5.23 Regresiones lineales entre profundidad de penetración y CH (CH <30%)	120
Figura 5.24 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino radiata).....	123
Figura 5.25 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino silvestre).....	123
Figura 5.26 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino laricio)	123
Figura 5.27 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino pinaster)	124
Figura 5.28 Regresiones lineales entre fuerza de arranque de tornillo y CH (CH<30%).....	124
Figura 5.29 Densidad global en función del CH	127

Figura 5.30 Densidad puntual en función del CH	127
Figura 5.31 Regresiones lineales entre densidad global y CH (CH <30%)	128
Figura 5.32 Regresiones lineales entre densidad puntual y CH (CH <30%)	128
Figura 5.33 Regresiones lineales entre Eloc y velocidad de MST	136
Figura 5.34 Regresiones lineales entre Eglo y velocidad de MTG.....	136
Figura 5.35 Regresiones lineales entre Eloc y Edin PLG	137
Figura 5.36 Regresiones lineales entre Eglo y Edin USLab	138
Figura 5.37 Regresiones lineales entre Trot y velocidad de Sylvatest Duo	139
Figura 5.38 Regresiones lineales entre Trot y Edin de PLG.....	140
Figura 5.39 Velocidad de transmisión de onda (pino radiata)	144
Figura 5.40 Velocidad de transmisión de onda (pino silvestre)	145
Figura 5.41 Velocidad de transmisión de onda (pino laricio)	145
Figura 5.42 Velocidad de transmisión de onda (pino pinaster)	145
Figura 5.43 Velocidad de vibración (pino radiata).....	147
Figura 5.44 Velocidad de vibración (pino silvestre).....	147
Figura 5.45 Velocidad de vibración (pino laricio)	147
Figura 5.46 Velocidad de vibración (pino pinaster)	148
Figura 5.47 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino radiata)	149
Figura 5.48 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino silvestre) ...	149
Figura 5.49 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino laricio)	150
Figura 5.50 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino pinaster)	150
Figura 5.51 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino radiata)	151
Figura 5.52 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino silvestre)	152
Figura 5.53 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino laricio).....	152
Figura 5.54 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino pinaster).....	152
Figura 5.55 Regresión lineal entre tiempo de retardo medio (todos los equipos juntos) y CKDR máximo	154
Figura 5.56 Gráfico de medias de la velocidad canto-canto directo Sylvatest Duo y longitud (pino laricio)	156
Figura 5.57 Gráfico de medias de la velocidad cara-cara indirecta MST y longitud (pino radiata)	158
Figura 5.58 Gráfica de medias de velocidad de Sylvatest Duo (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino radiata)	159
Figura 5.59 Gráfica de medias de velocidad de USLab (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino laricio)	160

Figura 5.60 Gráfica de medias de velocidad de Steinkamp BPV (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino silvestre)	160
Figura 5.61 Gráfica de medias de velocidad de MST (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino pinaster)	160
Figura 5.62 Clasificación visual en húmedo y seco (UNE 56544).....	162
Figura 5.63 Clasificación visual a 4 y 3 m (UNE 56544)	164
Figura 5.64 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en húmedo (pino laricio).....	167
Figura 5.65 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en seco (pino laricio).....	167
Figura 5.66 Gráfica de medias de Trot y calidad visual, en seco (pino laricio)	167
Figura 5.67 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en húmedo (pino laricio)	167
Figura 5.68 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en seco (pino laricio) ..	167
Figura 5.69 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino radiata)	169
Figura 5.70 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino laricio)	169
Figura 5.71 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino radiata)	169
Figura 5.72 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino laricio)	169
Figura 5.73 Gráfica de medias de módulo de elasticidad y equipo (pino radiata).....	173
Figura 5.74 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino silvestre)	173
Figura 5.75 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino laricio).....	173
Figura 5.76 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino pinaster).....	174
Figura C.1 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de Sylvatest para la especie pino pinaster y CH 40,3%	312
Figura C.2 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de USLab para la especie pino radiata y CH 29,2 %.....	312
Figura C.3 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de Steinkamp BPV para la especie pino silvestre y CH 10,6%.....	312
Figura C.4 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de MicroSecond Timer para la especie pino laricio y CH 62,6%	312
Figura C.5 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de PLG para la especie pino radiata y CH 9,0%	312
Figura C.6 Histograma de frecuencias de la variable densidad global para la especie pino laricio y CH 21,3%	312
Figura C.7 Histograma de frecuencias de la variable profundidad de penetración para la especie pino pinaster y CH 10,5%	314
Figura C.8 Histograma de frecuencias de la variable fuerza de arranque para la especie pino silvestre y CH 10,0 %.....	314
Figura C.9 Histograma de frecuencias de la variable densidad puntual para la especie pino radiata y CH 10,9%.....	314

Figura C.10 Histograma de frecuencias de la variable densidad puntual para la especie pino laricio y CH 45,0%	314
Figura C.11 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad local para la especie pino radiata y CH 52,7%.....	315
Figura C.12 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global para la especie pino silvestre y CH 10,6%.....	315
Figura C.13 Histograma de frecuencias de la variable tensión de rotura para la especie pino laricio y CH 9,7%.....	315
Figura C.14 Histograma de frecuencias de la variable densidad local para la especie pino pinaster y CH 9,2%.....	315
Figura C.15 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de Sylvatest para la especie pino radiata y 2 m	316
Figura C.16 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de Steinkamp BPV para la especie pino silvestre y 1 m	316
Figura C.17 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de MicroSecond Timer para la especie pino laricio y 3 m.....	317
Figura C.18 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de PLG para la especie pino pinaster y 4 m.....	317
Figura C.19 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global para la especie pino radiata	317
Figura C.20 Histograma de frecuencias de la variable densidad global para la especie pino pinaster y 3 m.....	317
Figura D.1 Medida y evaluación de la nudosidad (UNE 56544)	321
Figura D.2 Medida y evaluación de la nudosidad (DIN 4074-1)	321
Figura D.3 Clasificación visual en húmedo y seco (DIN 4074-1)	323
Figura D.4 Clasificación visual a 4 y 3 m (DIN 4074-1)	325
Figura D.5 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en húmedo (pino silvestre).....	328
Figura D.6 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en seco (pino silvestre).....	328
Figura D.7 Gráfica de medias de Trot y calidad visual, en seco (pino silvestre)	329
Figura D.8 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en húmedo (pino silvestre)	329
Figura D.9 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en seco (pino silvestre)	329
Figura D.10 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino radiata)	330
Figura D.11 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino silvestre)	330
Figura D.12 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino radiata).....	331
Figura D.13 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino silvestre).....	331
Figura F.1 Velocidad de transmisión de onda (castaño húmedo).....	349
Figura F.2 Velocidad de transmisión de onda (castaño seco).....	349

Figura F.3 Gráfica de medias de velocidad de Sylvatest Trio (testa-testa, cara-cara directa y cara-cara indirecta) y longitud (castaño húmedo)	351
Figura F.4 Gráfica de medias de velocidad de MST (testa-testa, cara-cara directa y cara-cara indirecta) y longitud (castaño seco)	351
Figura F.5 Regresión lineal entre Eloc y velocidad (Castaño húmedo).....	352
Figura F.6 Regresión lineal entre Eglo y velocidad (Castaño seco)	353
Figura F.7 Regresión lineal entre Eloc y Edin (Castaño seco).....	354
Figura F.8 Regresión lineal entre Eglo y Edin (Castaño húmedo)	354
Figura G.1 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con PLG+	359

SÍMBOLOS / SYMBOLS

Símbolo	Definición	English definition
ANOVA	Análisis de la varianza	Analysis of variance
Canto (b)	Dimensión menor de la sección (en ciertas normas como la UNE 56544:2011 se le denomina espesor o grosor y en otras como la UNE-EN 408:2011+A1:2012 se le denomina anchura)	Width (smaller dimension of cross section)
Cara (h)	Dimensión mayor de la sección (en ciertas normas como la UNE 56544:2011 se le denomina anchura y en otras como UNE-EN 408:2011+A1:2012 se le denomina altura)	Depth (larger dimension of cross section)
CH	Contenido de humedad	Moisture content
CKDR	Concentrate Knot Diameter Ratio	
CKDR central	CKDR de la zona central de la pieza considerando una longitud de 8h (8 veces la cara)	Central CKDR (8h)
CKDR global	CKDR de la pieza (puede coincidir o no con el CKDR central)	Global CKDR
CR	Clase Resistente	Strength class
CrD	Cara-cara directa	Direct face to face
CrI	Cara-cara indirecta	Indirect face to face
CtD	Canto-canto directo	Direct edge to edge
Cte	Constante	Constant
CtI	Canto-canto indirecto	Indirect edge to edge
CV	Coefficiente de Variación	Coefficient of variation
Den glo	Densidad global (obtenida como masa/volumen a partir de las piezas completas utilizadas para mediciones globales)	Global density (big pieces)
Den loc	Densidad local (obtenida como masa/volumen a partir de una rebanada extraída de la pieza)	Local density (slice)
Den pun	Densidad puntual (obtenida como masa/volumen a partir de las piezas completas utilizadas para mediciones puntuales)	Puntual density (small pieces)
E	Módulo de elasticidad estático	MOE
Edin	Módulo de elasticidad dinámico	Dynamic MOE
Eglo	Módulo de elasticidad estático global en flexión	Global MOE
Eloc	Módulo de elasticidad estático local en flexión	Local MOE
FreLplg	Frecuencia longitudinal obtenida con PLG	PLG Longitudinal frequency
G	Módulo de elasticidad transversal	Shear modulus
GICM	Grupo de Investigación Construcción con Madera	Timber construction research group
Max	Máximo	Maximum
M	Media	Mean/average
Min	Mínimo	Minimum
Nº	Número	Number

ND	No Destructivo	Non Destructive
NM	Número de medición	Measurement number
PSF	Punto de Saturación de la Fibra	Fiber Saturation Point
L	Longitud	Length
LVDT	Captador de deformación LVDT	Linear Variable Differential Transducer
T	Tiempo	Time
Te	Testa-testa	End to end
TND	Técnicas No Destructivas	NDT
TR	Tiempo de Retardo	Time Lag
Trot	Tensión de rotura	MOR
R	Coeficiente de correlación de Pearson (para regresión lineal simple)	Pearson correlation coefficient
R²	Coeficiente de determinación	Determination coefficient
V / Vel	Velocidad	Velocity
VA	Variable	Variable
Vc	Valor característico (5º percentil)	Characteristic value
λ	Longitud de onda	Wave length

Nombres de especies / species names

Los nombres de especies de madera se citan según la norma UNE-EN 13556:2004 (siempre que aparezcan en dicha norma, en otro caso se buscó el nombre más repetido en internet), solo se listan aquí las que son de uso común en España o se citan repetidamente en el texto:

Abeto (*silver fir*): *Abies alba* Mill.

Acacia (*robinia*): *Robinia pseudoacacia* L.

Alerce de Japón (*Japanese larch*): *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.

Castaño (*sweet chestnut*): *Castanea sativa* Mill.

Chopo canadiense (*black poplar*): *Populus x euramericana* (Dade) Guinier

Elondo (*missanda/Tali*): bajo este nombre se agrupan 2 especies: *Erythrophleum ivorense* A. Chev. y *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan

Eucalipto blanco (*southern blue gum*): *Eucalyptus globulus* Labill.

Fresno (*European ash*): *Fraxinus excelsior* L.

Haya (*European beech*): *Fagus sylvatica* L.

Picea (*Norway spruce*): *Picea abies* (L.) Karst. (nota: aunque según la RAE píceas lleva tilde, en la norma UNE-EN 13556:2004 picea figura sin tilde)

Picea de Sitka (*Sitka spruce*): *Picea sitchensis* (Bong.) Carr.

Pino amarillo del sur (*slash pine/shortleaf pine/American pitch pine/southern pine*): bajo este nombre se agrupan 4 especies: *Pinus elliotii* Engelm.; *Pinus echinata* Mill.; *Pinus palustris* Mill.; *Pinus taeda* L.

Pino del Caribe (*Caribbean pitch pine*): *Pinus caribaea* Morelet

Pino laricio (*laricio pine*): *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco

Pino laricio corsicana (*Corsican pine*): *Pinus nigra* Arnold ssp. *laricio* (Poir.) Maire

Pino Oregón (*Douglas fir*): *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Pino pinaster (*maritime pine*): bajo este nombre se agrupan 2 subespecies: *Pinus pinaster* Ait. ssp. *atlantica* H. de Vill. y *Pinus pinaster* Ait. ssp. *mesogeensis* Fieschi & Gaussen

Pino Silvestre (*Scots pine*): *Pinus sylvestris* L.

Pino radiata (*radiata pine*): *Pinus radiata* D. Don

Roble (*European oak*): *Quercus robur* L.

Roble rojo americano (*American red oak*): *Quercus rubra* L.

Sabina (*Spanish juniper*): *Juniperus thurifera* L.

Nombres de equipos comerciales no destructivos

Se listan aquí los equipos comerciales que aparecen citados en el texto:

Arbotom (Rinn-tech, Alemania): Tomografía acústica.

Computermatic (mpc, Reino Unido): Máquina de clasificación automática mediante flexión.

Cook-Bolinder (SG-AF Techmac, Reino Unido): Máquina de clasificación automática mediante flexión.

Epoch 4 (Olympus/Panametrics, Japón): Ultrasonidos, admite sensores de diferentes frecuencias.

Finnograder (Innotec Oy, Finlandia): Máquina de clasificación automática mediante microondas, radiación infrarroja y rayos gamma.

Grindo-Sonic MK3/MK5 (GrindoSonic, Bélgica): Vibraciones inducidas transversales con acelerómetro receptor.

FMW moisture detector (Brookhuis, Países Bajos): Xilohigrómetro capacitivo.

Hydromette HT 85 T (Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH, Alemania): Xilohigrómetro de resistencia eléctrica.

Hitman Director HM 200 (Fibre-gen, Nueva Zelanda): Vibraciones inducidas con acelerómetro receptor.

Hitman ST 300 (Fibre-gen, Nueva Zelanda): Ondas de impacto.

IML Resi B300/IML Resi-B 1280/IML Resi F300/IML Resi F400-S (IML, Alemania /EEUU): Resistógrafo.

IML Micro Hammer (IML, Alemania/EEUU): Ondas de impacto.

Metriguard 239A (Metriguard, EEUU): Ondas de impacto.

MicroSecond Timer (MST) (Fakopp enterprise, Hungría): Ondas impacto.

M Timber Grader (MTG) (Brookhuis, Países Bajos): Vibraciones inducidas con acelerómetro receptor y balanzas.

PCB 086D20 (PCB, EEUU): Martillo de excitación de grandes dimensiones para ensayos de vibración.

PCB 3711B112G (PCB, EEUU): Acelerómetros de contacto para ensayos de vibración.

PiCUS Sonic Tomograph (Argus Electronic, Alemania): Tomografía acústica.

Pilodyn 4JR (Proceq, Suiza): Penetrómetro de varios disparos.

Pilodyn 6J Forest (Proceq, Suiza): Penetrómetro, 6 Julios, varilla de 2,5 mm.

Polux (CBS-CBT, Francia/Suiza): Ultrasonidos para postes.

Portable Lumber Grader (PLG) (Fakopp enterprise, Hungría): Vibraciones inducidas con micrófono receptor y balanza.

Portable Lumber Grader + (PLG+) (NYME, Hungría): Vibraciones inducidas con micrófono receptor, balanzas y distanciómetro láser.

PUNDIT (Proceq, Suiza): Diversos modelos de ultrasonidos diseñados para hormigón con sensores planos.

Resistograph 3450-S (Rinn-tech, Alemania): Resistógrafo. Antiguamente llamado Densitomat.

RML Wood Extractor (GICM, España): Extractor de viruta.

Steinkamp BP-V o BP-5 (Ultratest, Alemania) (antiguamente comercializado por Krautkrämer, Alemania): Ultrasonidos con sensores cónicos de 50 kHz.

Steinkamp BP-7 (Ultratest, Alemania): Ultrasonidos, admite sensores de diferentes frecuencias.

Screw Withdrawal Resistance Meter (SWRM) (Fakopp enterprise, Hungría): Arranque de tornillo.

Sylvatest (CBS-CBT, Francia/Suiza): Ultrasonidos con sensores cónicos de 30 kHz y medidor de humedad.

Sylvatest Duo (CBS-CBT, Francia/Suiza): Ultrasonidos con sensores cónicos de 22 kHz.

Sylvatest Trio (CBS-CBT, Francia/Suiza): Ultrasonidos con sensores cónicos de 22 kHz.

ViSCAN (Microtec, Italia): Vibraciones inducidas con láser receptor.

Ultrasound Timer (Fakopp enterprise, Hungría): Ultrasonidos, sensores triangulares de 45 kHz.

USLab (Agricef, Brasil): Ultrasonidos, admite sensores de diferentes frecuencias.

WoodSpec (IRL, New Zealand): Vibraciones inducidas con micrófono receptor.

RESUMEN

Esta tesis doctoral presenta los análisis, resultados y conclusiones de la influencia de ciertos factores (contenido de humedad, longitud de medida y posición de los sensores) en las variables no destructivas, así como, la clasificación visual de las muestras y la determinación de las propiedades físico-mecánicas (densidad, módulo de elasticidad y tensión de rotura) mediante ensayos según la norma EN 408. Además, recopila y homogeneiza resultados de ensayos con técnicas no destructivas de varios grupos de investigación españoles.

Para el estudio citado se utilizaron dos muestras de madera de procedencia española de las especies: pino radiata, silvestre, laricio y pinaster. Muestra 1a: 100 piezas (25 de cada especie) y de dimensiones 100x150x3000 mm. Muestra 1b: 100 piezas de las mismas especies y de dimensiones 100x150x500 mm. Muestra 2: 120 piezas (30 de cada especie) de las mismas especies y de dimensiones 90x140x4000 mm.

Se realizaron mediciones con equipos no destructivos de: ultrasonidos, ondas de impacto, vibraciones inducidas, resistencia a la penetración y resistencia al arranque de tornillo.

Se estudió la influencia del contenido de humedad de la madera en las variables no destructivas medidas, obteniendo modelos de ajuste por equipo y especie, con coeficientes de corrección que, para un contenido de humedad de referencia del 12%, variaron entre 0,58 y 0,77% para las técnicas no destructivas globales (acústicas y vibración), entre 1,7 y 2,2% para la resistencia a la penetración, y entre 2,1 y 2,8% para la resistencia al arranque de tornillo.

Se propusieron modelos de estimación de las propiedades físico-mecánicas mediante técnicas no destructivas, con coeficientes de determinación de hasta el 68% para la densidad, hasta el 92% para el módulo de elasticidad y hasta el 70% para la tensión de rotura.

También se observó que la velocidad de los equipos de transmisión de onda a diferentes longitudes de medida no era constante, presentando una tendencia a disminuir la velocidad al aumentar la longitud de medida. Dado que la corrección está influenciada por múltiples factores (equipo, especie y calidad de la madera) no resultó posible obtener un modelo de ajuste y, por tanto, se propuso un procedimiento de corrección de dichas velocidades, que se aconseja realizar para cada caso particular.

Se observó que las mediciones de velocidad de ultrasonidos realizadas colocando los sensores en la cara de la pieza, bien en la misma cara o en caras opuestas, y en los cantos, no presentaban diferencias estadísticamente significativas entre ellas, sin embargo, sí las presentaban con respecto a las mediciones de velocidad testa-

testa. Se propusieron modelos de ajuste entre velocidades testa-testa y el resto de posiciones de medida, con coeficientes de determinación de hasta el 97%.

La clasificación visual realizada sobre la misma muestra, tanto en húmedo como en seco, mostró, que si bien existía una gran diferencia entre el porcentaje de rechazo en húmedo (hasta el 24%) y seco (hasta el 84%), en ambas situaciones se pudo realizar una discriminación del módulo de elasticidad y la tensión de rotura por calidad visual. No siendo posible, sin embargo, discriminar la densidad.

La recopilación y homogeneización de datos de mediciones con equipos no destructivos portátiles de varios grupos de investigación españoles, mostró que existen hasta la actualidad datos de aproximadamente 9500 piezas de madera aserrada estructural, de las cuales, más de 3000 son de gran escuadría, y puso de manifiesto la necesidad de normalizar el uso de otras técnicas no destructivas aparte de la clasificación visual para clasificar madera.

ABSTRACT

This Doctoral Thesis entitled: "The influence of physical and geometrical factors on timber stress-grading by non-destructive techniques", contains analyses, results and conclusions regarding several factors' influence (moisture content, measurement length and sensors position) on non-destructive variables. Furthermore, visual strength grading results and physical and mechanical properties (density, modulus of elasticity and bending strength) according to the EN 408 standard are presented. The non-destructive results from several Spanish research groups are also compiled and homogenized.

Two timber batches of four Spanish species (radiata pine, Scots pine, laricio pine and maritime pine) were used in these studies. Batch 1a: 100 specimens (25 of each species) with nominal dimensions of 100x150x3000 mm. Batch 1b: 100 specimens (25 of each species) with nominal dimensions of 100x150x500 mm. Batch 2: 120 specimens (30 of each species) with nominal dimensions of 90x140x4000 mm.

Measurements were taken using non-destructive devices such as ultrasound waves, sonic stress waves, longitudinal vibration, penetration tester and screw withdrawal.

The influence of timber moisture content on non-destructive variables was studied, and adjustment models for 12% reference moisture content by device and species were obtained. Adjustment coefficients range from: 0,58% to 0,77% for acoustic and vibration techniques, 1,7% to 2,2% for penetration resistance, and 2,1% to 2,8% for pullout resistance.

Physical and mechanical properties estimation models for non-destructive techniques were proposed, with determination coefficients up to: 68% for density, 92% for modulus of elasticity and 70% for bending strength.

Furthermore, no constant velocity was observed for different lengths when measured with acoustic devices. A clear tendency of velocity to decrease with increased length was found. As correction of this effect is affected by several factors (device, species and timber quality), it was not possible to obtain a correction model. A velocity correction procedure was therefore proposed.

No significant statistical differences were found between face-to-face and edge-to-edge direct and indirect ultrasound velocity measurements. However, significant statistical differences were found between these velocities and end-to-end velocities. Adjustment models between end-to-end and the other velocities were proposed, obtaining determination coefficients of up to 97%.

Wet (up to 24% rejected) and dry (up to 84% rejected) visual strength gradings in the same batch were found to differ widely. In both moisture content situations, a correct discrimination between modulus of elasticity and bending strength was found by visual strength grade. Nevertheless, it was not possible to discriminate by density.

Compilation and homogenization of non-destructive results from several Spanish research groups with circa 9500 specimens (more than 3000 of gross cross-section) showed the necessity to standardize the use of non-destructive techniques.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas no destructivas aplicadas a la madera y sus productos derivados resultaron ser sistemas de estimación de sus propiedades altamente eficientes, existiendo referencias de su uso desde el siglo XIX, si bien, no empezó a investigarse a fondo su aplicación hasta los años 60 del siglo XX. A pesar que han transcurrido casi 25 años desde las primeras experiencias de investigación en el uso de técnicas no destructivas aplicadas a madera en España, existe una escasa tradición de su uso en la industria.

Respecto a su uso con fines investigadores, aunque los equipos no destructivos portátiles utilizados son, en general, los mismos, los resultados existentes no son comparables debido a las diferentes metodologías aplicadas. Parece por tanto, un momento muy propicio para la homogeneización y normalización de estos sistemas portátiles de clasificación.

Entre otros aspectos, para dicha tarea se muestra necesario disponer de unos modelos de ajuste para los diversos factores que afectan a las mediciones no destructivas (contenido de humedad, longitud, posición de los sensores), y así, tratar y analizar correctamente los datos recogidos con los equipos no destructivos.

Por otro lado, es necesario disponer de unos modelos de estimación de propiedades físico-mecánicas a partir de mediciones realizadas con equipos no destructivos.

Si bien, sobre algunos de dichos factores existen abundantes trabajos científicos, especialmente sobre influencia del contenido de humedad, y centrados en la especie picea, al llegar a este punto surgen algunas preguntas: ¿son dichos factores válidos para cualquier especie o procedencia de la misma especie? ¿el comportamiento es similar para madera libre de defectos, pequeña escuadría y gran escuadría?

La presente tesis doctoral trata de ahondar en el estudio de la influencia de dichos factores sobre la madera aserrada de gran escuadría de las especies de procedencia española más comúnmente utilizadas en construcción: pino radiata, silvestre, laricio y pinaster, haciendo uso de los equipos no destructivos portátiles más utilizados hasta la fecha.

Además, la tarea de normalizar el uso de técnicas no destructivas vendrá precedida de la necesaria homogeneización del uso de equipos no destructivos y sus resultados, además de la consecuente aplicación de los modelos de ajuste para los factores citados anteriormente.

2. OBJETIVOS

Los objetivos principales de la presente tesis doctoral son los siguientes:

- Análisis de la influencia de los factores que afectan a las mediciones con equipos no destructivos, como son: el contenido de humedad, la influencia de la longitud de medida y la posición de los sensores. Con el objeto de proponer procedimientos y factores de corrección que faciliten y uniformicen las mediciones no destructivas.
- Desarrollo de un método común en el uso de las técnicas no destructivas para la clasificación de la madera aserrada estructural, que permita alcanzar resultados de aplicación universal que puedan sumarse a los de otras investigaciones pasadas, presentes y futuras.

Para alcanzar dichos objetivos, en primer lugar se consensuó con los agentes implicados un protocolo de ensayos no destructivos. A continuación, se realizaron ensayos de acuerdo a dicho protocolo, estudiando los diferentes factores que afectan a dichas mediciones. Además, se realizó la clasificación visual de las muestras. Por último, se determinaron las propiedades físico-mecánicas mediante ensayos de flexión en máquina universal.

Como objetivos específicos destacan:

- Obtención de factores de ajuste para especies de procedencia española por influencia del contenido de humedad de la madera en las mediciones con equipos no destructivos.
- Desarrollo de modelos de estimación de las propiedades físico-mecánicas mediante el uso de técnicas no destructivas.
- Estudio de la influencia de la longitud de medida y de la posición de los sensores en las medidas con equipos no destructivos.
- Evaluación de la eficacia y eficiencia de la clasificación visual para la predicción de propiedades físico-mecánicas, tanto en madera aserrada estructural en húmedo como en seco.
- Recopilación y homogeneización de las mediciones con equipos no destructivos realizadas hasta la fecha sobre madera aserrada estructural por los diferentes grupos de investigación españoles. Impulsando con ello la relación continuada con dichos grupos para la unificación de criterios y un futuro desarrollo normativo.

3. ANTECEDENTES

3.1 TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS EN MADERA

La evaluación de las propiedades de la madera mediante el uso de técnicas no destructivas (TND) no es un concepto nuevo. La gran utilidad de su uso ya fue ampliamente expuesto en el primer congreso de TND que tuvo lugar en Madison, Estados Unidos en octubre de 1963 (Proceedings 1964), con el cual no solo se pretendía presentar las últimas investigaciones en TND, sino también reunir a los investigadores con personas de la industria para implementar las investigaciones en la industria de la madera.

El 5 de octubre de 1846, se presentó ante la academia de ciencias de París *Mémoire sur les propriétés mécaniques du bois* de Chevandier y Wertheim, en dicha publicación se presentaron ensayos dinámicos consistentes en la medición de la velocidad del sonido en madera de 14 especies diferentes, tanto coníferas como frondosas, para ello se inducía la vibración en dirección longitudinal mediante un golpe y con un sonómetro diferencial y diapasones se registraba la frecuencia natural de vibración, concluyéndose que el módulo de elasticidad dinámico (Edin) obtenido era mayor que el módulo de elasticidad estático (E) (Chevandier y Wertheim 1848).

En 1935, fue publicado un estudio en el cual mediante el uso de un equipo de vibración longitudinal que recogía la frecuencia natural de vibración, se obtuvo el Edin en rocas. El equipo utilizado fue similar a los que pocos años después empezarían a utilizarse en madera (Ide 1935).

En 1943, mediante el uso de vibración transversal se obtuvo el Edin, el cual presentaba valores similares al E obtenido mediante compresión paralela a la fibra, para la picea de Sitka (McBurney 1943).

En 1948, haciendo uso de vibración longitudinal y transversal se obtuvieron Edin entre un 10 y 12% mayores que el E (Hearmon 1948).

En 1951 un estudio sobre 25 piezas de coníferas y frondosas, obtuvo un valor de Edin un 8% mayor que el E y siendo además mayor el Edin obtenido con vibración longitudinal que el obtenido con transversal (McSwain y Kitazawa 1951).

Un estudio realizado en la especie pino Oregón con vibraciones inducidas tanto longitudinales como transversales, obtuvo valores similares de Edin en ambos casos, el cual fue un 10 % superior al E (Bell *et al.* 1954).

Mediante el uso de un equipo de vibración transversal que recogía la señal mediante una célula fotoeléctrica y sobre madera libre de defectos de picea de Sitka, se obtuvo el Edin, procediéndose a la estimación del E con un coeficiente de determinación de 0,90 (Jayne 1959).

En 1961 James haciendo uso de un equipo de vibración longitudinal compuesto por un mazo de madera, un micrófono receptor y un osciloscopio (figura 3.1), en piezas de la especie pino Oregón, obtuvo a partir de la velocidad y la densidad el Edin, observando que este parámetro decrece cuando aumenta la temperatura y contenido de humedad (CH) (James 1961).

Figura 3.1 Equipo de vibración longitudinal (fuente James 1961)

339 piezas de pino Oregón se ensayaron mediante vibración transversal, con objeto de estimar el E a partir del Edin, no encontrando diferencias entre hacer vibrar las vigas de tabla o de canto (Pellerin 1965).

El congreso de TND de 1970 (Proceedings 1970), estuvo focalizado en las máquinas de clasificación automática mediante flexión y vibraciones inducidas transversales. Un resumen de varias de las máquinas presentadas puede consultarse en la comunicación de Knudson (Knudson 1970).

Probetas de picea al 8% de CH y dimensiones 20x20x300 mm, se midieron mediante un equipo portátil de ultrasonidos, diseñado para hormigón con sensores de frecuencia 50 kHz, en dirección longitudinal, radial y tangencial, sometidas a carga hasta rotura, encontrando diferentes velocidades según el nivel de carga debido al deterioro de la estructura de la madera (Bucur 1978).

En el capítulo 6 del libro *Mechanics of wood and wood composites* de Bodig y Jayne, se expusieron los principios y tipos de vibración (algunos de ellos pueden ser utilizados como TND), así como las ecuaciones que podían ser utilizadas para obtener el Edin a partir de vibración longitudinal y transversal, indicando que el tamaño de la sección debe ser pequeño en comparación con la longitud de la pieza en la vibración transversal. Además en el apartado 12.4 de dicho libro se abordó el uso de las TND de máquina automática mediante deformación y la vibración

inducida transversal, obteniéndose con este último valores de Edin entre un 5 y 15% mayores que el E (Bodig y Jayne 1982).

Sobre el uso y posibilidades de la emisión acústica en la investigación con madera, se encontró un trabajo de 1983 en el cual se expuso que hasta ese momento uno de los usos más comunes era el estudio del proceso de la fractura del material. También se aplicó dicha técnica para el estudio de la influencia del adhesivo en las propiedades de madera encolada y modelización del proceso de secado (Niemz *et al.* 1983).

Otro estudio expuso las expresiones necesarias, derivadas de ecuaciones enunciadas por Timoshenko, para la obtención del Edin mediante vibración transversal, utilizando el equipo Grindo-Sonic MK3. En función del número de apoyos utilizados, se obtuvo el primer, segundo o tercer módulo de vibración natural, variando los coeficientes que deben aplicarse en la ecuación (Görlacher 1984).

Se compararon tres formas de obtener la densidad de arbolado en pie, una destructiva cortando un segmento de árboles en los que se realizó aclareo, otra semidestructiva mediante extracción de testigo y otra no destructiva mediante penetrómetro (Pilodyn 6J Forest), se realizaron ensayos sobre 15 árboles de la especie pino amarillo del sur, obteniendo que la extracción de testigo y penetrómetro eran mejores métodos para identificar diferentes densidades entre árboles que el uso de un segmento, sin embargo el penetrómetro presentó la ventaja de ser el método más rápido, recomendando realizar más de 2 medidas por árbol (Gough y Barnes 1984).

En un estudio de Ross y Pellerin se aplicó la técnica de vibraciones inducidas longitudinales a tableros de partículas, obteniendo coeficientes de determinación altos (por encima de 0,90) en la estimación de las propiedades mecánicas (Ross y Pellerin 1985).

En el año 1986 Sobue propuso aplicar a madera un método, por el cual golpeando con un martillo, utilizando un micrófono y haciendo uso de la transformada rápida de Fourier se obtuvo la frecuencia natural de vibración y a partir de ella el Edin, haciendo uso de ecuaciones enunciadas por Timoshenko, tanto con vibración transversal (Sobue 1986a), como con vibración longitudinal (Sobue 1986b).

En el uso de las TND de vibraciones inducidas transversales para la obtención del Edin, es necesario un tiempo bastante superior a la vibración longitudinal, entre 10 y 15 segundos para realizar vibración transversal. Por ello a nivel industrial es generalmente utilizada como técnica de control de calidad. Además, existen dos tipos de vibración, libre y forzada, siendo posible utilizar equipos portátiles para la libre. Aunque la frecuencia natural de vibración de las piezas es independiente de la intensidad del impacto, en el caso de la vibración transversal es preferible un impacto suave ya que la frecuencia natural de la madera estructural es baja, con un

impacto suave aunque el valor máximo del pico de fuerza es menor, el efecto es más duradero y se recoge mejor la frecuencia. El alabeo produce un balanceo en los apoyos que afecta a la medida, además en piezas pequeñas el impacto las hace rebotar sobre los apoyos, estos problemas se ven minimizados al colocar los apoyos en los nodos (los puntos con desplazamiento cero). Los nodos, suponiendo el material homogéneo, para el primer módulo de vibración natural serán 2 apoyos a 0,224 L de los extremos, para el segundo 3 apoyos, 1 en el medio y 2 a 0,132 L de los extremos como se explica en un trabajo de 1966 (Hearmon 1966). El método con mejores resultados es suspender la pieza de 2 muelles, sin importar los puntos de suspensión, nos permite obtener valores claros y de varios modos de vibración a la vez. La influencia del cortante en la estimación del E se puede reducir cuando la relación luz/canto (L/d) sea grande, si bien la relación E/G debe ser pequeña y en muchos casos está en valores entre 16 y 20 lo cual es alto. Para cualquier relación E/G comparando los modelos de Timoshenko (con cortante) y Euler (sin cortante), el efecto del cortante se puede despreciar en una viga apoyada en los nodos para una relación L/d mayor de 57, para una viga apoyada en sus extremos esta relación se puede reducir hasta 32 (Chui 1989).

Sandoz presentó en 1991 un estudio sobre el uso de TND, donde se realizaron mediciones con el equipo de ultrasonidos Sylvatest sobre 40 troncos secos de abeto, los cuales fueron aserrados posteriormente y las piezas resultantes ensayadas a flexión, obteniendo estimaciones de la $Trot$ con la velocidad de onda con coeficientes de determinación de 0,75 (Sandoz 1991).

200 piezas de pequeño tamaño de picea y acacia se ensayaron mediante vibración transversal y ultrasonidos con objeto de predecir E y $Trot$, obteniendo los mejores resultados a partir del $Edin$ de vibración. Al tratarse de madera libre de defectos se alcanzaron coeficientes de determinación hasta de 0,94 (Divos *et al.* 1991).

El invento del Densitomat, posteriormente nombrado resistógrafo por Frank Rinn entre 1986 y 1988, basado en una idea anterior de dos ingenieros alemanes para detección de podredumbre en postes, permitió múltiples aplicaciones como la estimación de la densidad con coeficientes de determinación de 0,80, detección de zonas con podredumbre, madera de compresión, variación entre madera de invierno y verano tanto en arbolado en pie como en madera puesta en obra. En este estudio a partir de más de 20000 perfiles resistográficos realizados entre 1986 y 1993, se presentaron las claves para analizar los perfiles resistográficos (Rinn 1993).

Si bien el Densitomat (resistógrafo) se mostró adecuado para su uso en arbolado en pie o madera estructural, para los tableros de partículas se presentaron otros equipos, haciendo uso de los mismos principios de medir la energía necesaria para taladrar con velocidad constante, como el equipo portátil RoDiTest (figura 3.2), este método fue especialmente empleado en inspección en fábrica (Helms y Niemz 1993).

Figura 3.2 Equipo Roditest (fuente Helms y Niemz 1993)

Históricamente las TND fueron utilizadas exclusivamente para la clasificación de productos de madera estructural. Sin embargo, existía una necesidad del uso de dichas técnicas para la evaluación de estructuras existentes. En los últimos 25 años la comunidad científica mostró un considerable interés en su uso en estructuras existentes (Ross y Pellerin 1994).

En los años 90, ante la inminente publicación de la norma EN 519:1995 sobre máquinas de clasificación automática, se presentó una comparativa entre cuatro máquinas, dos de ellas de flexión (Cook-Bolinder y Computermatic), una de microondas, infrarrojos y radiación gamma (Finnograder) y, por último, una de ultrasonidos (Sylvatest). Para ello se utilizaron 425 piezas de diferentes pequeñas escuadrías de picea, procediendo seguidamente a realizar ensayos en máquina universal. Obteniéndose los mejores resultados mediante el uso de máquinas de flexión, si bien para algunas escuadrías sobreestiman la Trot, el coeficiente de determinación más alto para estimar la Trot a partir del E se situaba en 0,68 para Cook-Bolinder (Boström 1994).

En 1995 apareció la primera edición del libro *Acoustics of wood* de Voichita Bucur, en el cual se expusieron ampliamente los principios y aspectos de la aplicación de las TND acústicas a la madera, haciendo uso de una extensa bibliografía existente sobre la materia (casi 1000 referencias). Una segunda edición ampliada y mejorada se publicó en 2006 (Bucur 2006).

Piezas de la especie pino silvestre de procedencia suroeste de Alemania, de 2 escuadrías diferentes 38x100 y 60x120 mm, se ensayaron con TND de vibración

transversal con el equipo Grindo-Sonic y ultrasonidos con el equipo Sylvatest antes de proceder al ensayo estático, con objeto de estimar la Trot. La mejor correlación se encontró mediante el uso del E o el Edin de vibración, siendo menor en el caso de ultrasonidos. Dichos modelos se vieron mejorados añadiendo densidad y criterios de nudosidad alcanzando coeficientes de determinación de 0,75 (Sauter y Metzger 1996).

Para obtener propiedades del material sobre probeta pequeña libre de defectos suelen usarse frecuencias de ultrasonidos en torno a 1 MHz, sin embargo, para piezas de tamaño estructural deben usarse frecuencias bajas, cuanto más próximas a 20 kHz mejor, pues no solo se reduce la atenuación, también se mejora el acoplamiento (Sandoz 1996).

Un estudio de Haines realizado sobre picea y abeto, comparó los Edin obtenidos en madera estructural y libre de defectos mediante ultrasonidos, vibración longitudinal y vibración transversal con el E obtenido mediante ensayo de 4 puntos. Encontrándose que para ambos tipos de madera los módulos de elasticidad de mayor a menor fueron: ultrasonidos, vibración longitudinal, vibración transversal y estático. Exponiéndose como causa la condición viscoelástica de la madera y la frecuencia de las diferentes TND (Haines *et al.* 1996).

Sobre 12 piezas de gran escuadría (305x345x5000 mm) de abeto, procedentes de una estructura florentina del siglo XV se realizaron diferentes mediciones con TND: con Sylvatest tanto testa-testa como en la misma cara; en sentido transversal con el equipo de ultrasonidos PUNDIT; con dos modelos de Pilodyn (6J y 4JR) en dirección radial; y la vibración longitudinal con un acelerómetro de contacto. Se obtuvieron coeficientes de determinación por encima de 0,80 en la estimación del E, obtenido tanto por ensayo de 3 puntos como de 4 puntos, a partir de los Edin de ultrasonidos longitudinales y vibración, no encontrando diferencias entre el uso de ambas técnicas. Sin embargo, a pesar de la buena correlación entre densidad y dureza, el Pilodyn no resultó un buen método para estimar la densidad (Ceccotti y Togni 1996).

Mediante una regresión lineal múltiple se incrementó el coeficiente de determinación en la estimación de la Trot a partir del Edin y E, fuerza de arranque de tornillo y criterios visuales como nudosidad. Esto indica la importancia de combinar la clasificación visual con las TND. Para ello 100 piezas de dimensiones 38x88x2130 mm de picea y varios pinos procedentes de Estados Unidos fueron medidas con las TND de vibración longitudinal, transversal, el arranque de tornillo SWRM, ultrasonidos con Sylvatest y ondas de impacto con MST, realizando posteriormente el ensayo con máquina universal (Divos y Tanaka 1997).

Sobre 523 piezas de 3 escuadrías diferentes (canto de 38 mm y caras de 89, 140 y 184 mm) de picea, se realizaron ensayos de vibración longitudinal, transversal y de torsión con un acelerómetro y un martillo de la marca PCB. Encontrando que, si bien la estimación del E a partir del Edin es buena, los valores de Edin eran del

orden de un 10% superiores a los de E, cuanto mayor es la cara menor es el Edin y los valores de Edin longitudinales son un 4% más altos que los transversales. Además las piezas sin médula presentaban mayor resistencia (Larsson *et al.* 1998).

Se publicó una guía sobre el uso de equipos de ondas de impacto y la interpretación de sus resultados, aplicada a la evaluación de estructura existente. En dicha guía se realizó un repaso de los valores de velocidad longitudinal y transversal aportados por diversos autores para varias especies. Además se describió el efecto sobre las TND de ciertos factores: CH, temperatura, orientación de los anillos y tratamientos aplicados a la madera. Asimismo, se recomendó realizar una prueba sobre una pieza sana para tener un valor de velocidad de referencia y poder comparar los obtenidos en la inspección (Ross y Hunt 2000).

Respecto al uso de TND en rollizos de pequeño diámetro, fue publicado un estudio realizado sobre 159 rollizos de varias especies de pino de procedencia norte de Michigan, de diámetros entre 127 y 310 mm, usando las TND de ondas de impacto y vibración transversal con acelerómetro de contacto, realizando posteriormente el ensayo mediante máquina universal para obtener el E de los rollizos. Se obtuvieron coeficientes de determinación en la estimación del E a partir del Edin entre 0,60 y 0,94. Los mejores resultados fueron obtenidos mediante vibración transversal, y la relación longitud-diámetro tuvo influencia en los valores de Edin obtenidos mediante ondas de impacto (Wang *et al.* 2001).

52 piezas de dimensiones 20x20x300 mm de una especie de eucalipto de procedencia australiana, fueron medidas mediante las TND de vibración longitudinal y transversal (usando un micrófono tipo ECM-T140), realizando posteriormente ensayo en máquina universal de 3 puntos. Si bien los valores de Edin eran bastante más altos que los de E, se obtuvieron coeficientes de determinación muy altos (0,69 a 0,98) con ambas técnicas para la estimación del E y la Trot a partir de los Edin (Ilic 2001).

En el 13º congreso internacional de TND se presentó el equipo portátil de vibraciones inducidas longitudinales Portable Lumber Grader (PLG), con objeto de clasificar piezas de madera tanto de coníferas como de frondosas mediante el uso de una balanza y un micrófono. El uso de dicho equipo se extendió rápidamente debido a su reducido coste y simplicidad de uso (Divos 2002).

El uso de las TND en Brasil se extendió hace relativamente poco tiempo. Un estudio realizado sobre 54 piezas de madera de goupí (*Goupia glabra* Aubl.) de procedencia Brasil de dimensiones 60x120x2500 mm, aserradas de una misma troza, se midieron con el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V en dirección longitudinal antes de su ensayo en máquina universal. Se concluyó que el Edin y E eran mayores en las piezas procedentes de la parte baja del tronco, y que existía una buena correlación permitiendo estimar el E a partir del Edin (Gonçalves y Bartholomeu 2002). Otro estudio realizado en el mismo país haciendo uso del equipo de ultrasonidos Sylvatest Duo, sobre 33 piezas de la especie pino amarillo

del sur de procedencia Brasil y dimensiones 50x200x4400 mm, obtuvo valores de E_{din} un 20% superiores a los de E , obteniendo coeficientes de determinación de 0,80 en la estimación del E a partir del E_{din} (Oliveira *et al.* 2002).

Aunque normalmente las TND se usan para la evaluación de elementos individuales, algunos trabajos propusieron usar técnicas como la vibración transversal para la evaluación de un forjado de madera en su conjunto. Se procedió a ensayar tres estructuras de forjado compuestas por 5 viguetas de 6 metros de longitud con entablado, dos de ellos sanos y uno con piezas con podredumbre. La vibración fue recogida inferiormente con extensómetros LVDT y la atenuación mediante un osciloscopio, concluyendo que se recogieron frecuencias menores en el forjado con podredumbre (Soltis *et al.* 2002).

En la evaluación de estructuras de puentes una técnica comúnmente utilizada es la vibración. Mediante la excitación con martillos de grandes dimensiones de la marca PCB, y recogiendo la señal con acelerómetros que permiten recoger frecuencias muy bajas (entre 0 y 50 Hz), similares a los usados para detectar seísmos, resultó difícil obtener el primer modo de vibración natural, obteniendo 6 modos diferentes a partir de los cuales se analizó la estructura (Morison *et al.* 2002).

El uso de la tomografía computerizada mediante el empleo de rayos X sobre trozas, permitió diferenciar zonas de distinta densidad como nudos (figura 3.3). Para ello se realizaron mediciones sobre 3 trozas de diámetro 400 mm y longitud 700 mm de pino radiata de procedencia Chile, cortándose posteriormente y caracterizándose por sus nudos. Se observó que los nudos más pequeños no aparecían en la tomografía, lo cual se solventó haciendo más lentamente la tomografía, en el resto de nudos se obtuvo un modelo bastante preciso (Aguilera *et al.* 2002).

Figura 3.3 Tomografía computerizada (fuente Aguilera *et al.* 2002)

En el año 2002 se publicó el libro *Nondestructive evaluation of wood* de Pellerin y Ross, en el cual se abordaron tanto los conceptos fundamentales de las diferentes TND como su aplicación en la industria (Pellerin y Ross 2002). En mayo de 2015 fue

publicada la segunda edición de dicho libro, la cual es una versión ampliada y mejorada del anterior.

Una comparativa entre los valores obtenidos con TND sobre trozas y los valores de esas misma técnicas sobre las piezas procedentes del aserrado de dichas trozas, se realizó utilizando 95 trozas de una especie de arce de procedencia Virginia oeste. Mediciones con ondas de impacto fueron realizadas tanto en las trozas, como en las piezas aserradas en verde, como en las piezas una vez secas. Los valores de tiempo obtenidos para trozas y madera en verde fueron similares, siendo los valores en seco un 20% más bajos, pero con un elevado coeficiente de correlación (Wang *et al.* 2004a).

Un estudio sobre el uso de equipos de infrarrojos cercanos en madera, productos derivados de la madera y en la arbolado en pie, con objeto de estimar la calidad de la madera y posibles ataques fue publicado en 2004 (So *et al.* 2004).

Respecto a la evaluación de puentes de madera, 4 equipos portátiles diferentes (IML Micro Hammer, Metriguard 239A, MST y Sylvatest Duo) se utilizaron en 36 piezas de madera escuadrada y 10 en rollo, la mayoría de la especie pino Oregón, procedentes de puentes con diferentes grados de pudrición. Se concluyó que la mejor forma de evaluar la pudrición era con medidas transversales, estableciendo un rango de valores según el estado de las piezas. Las diferencias observadas entre diferentes equipos fueron justificadas por los diferentes umbrales de detección (Brashaw *et al.* 2005).

En un estudio, además de realizar una comparativa entre la norma de clasificación visual española y alemana, sobre un lote de 201 piezas de pino silvestre de varias escuadrías de procedencia alemana, se realizaron mediciones testa-testa con ultrasonidos (Sylvatest 30 kHz) y vibración longitudinal (con acelerómetro de contacto y micrófono). Se obtuvieron coeficientes de determinación de 0,62 y 0,69 en la estimación de la Trot (Adell 2005).

Mediante el uso de varias TND fue evaluado el estado de 2 árboles de la especie roble rojo americano (*Quercus rubra* L.) de los alrededores del capitolio de Madison, Wisconsin, los cuales posteriormente fueron talados. Se comprobó la eficacia de cada técnica, resultando que la inspección visual y ondas de impacto con MST identificaban el problema de forma general pero no especificaba su magnitud, mientras la tomografía acústica con PiCUS especificaba su magnitud y localización pero no distinguía el origen. Fue necesario realizar resistencia al taladro con IML Resi F400-S, para detectar si el origen se debía a una pudrición o a una rotura interna que distorsionara la imagen de la tomografía acústica produciendo sombras inexistentes (Wang y Allison 2008).

En 2009 varios autores, con mucha experiencia en el uso de TND en madera, publicaron un artículo recopilando las TND existentes, incluyendo un resumen por técnicas y equipos y su uso por continentes (Brashaw *et al.* 2009).

En una tesis publicada en el año 2009 haciendo uso de varias TND sobre arbolado en pie, troza y tablonés de la especie picea de Sitka, utilizando un equipo ultrasónico PUNDIT con sensores de 54 kHz y vibración longitudinal recogiendo la señal mediante acelerómetros conectados a un osciloscopio fueron realizadas medidas en probetas que se fueron reduciendo en longitud desde 2110 hasta 200 mm. Se encontró que el único parámetro que afecta a la velocidad longitudinal es la nudosidad, además existe gran variabilidad en las velocidades de las piezas más pequeñas, considerando necesario piezas de al menos 400 mm. Asimismo, dichas TND fueron también utilizadas sobre 150 trozas y 651 listones procedentes de dichas trozas, obteniendo para listones los coeficientes de determinación más altos 0,71 en la estimación del E mediante Edin de vibración y 0,41 en el caso de la Trot, 252 listones también fueron medidos con Hitman HM 200. Se encontraron resultados ligeramente diferentes entre ambos equipos de vibración longitudinal, sin embargo no se obtuvo una buena estimación del E de los listones a partir del Edin de las trozas (Mackenzie 2009).

En un estudio realizado en Japón, mediante el valor de velocidad obtenido con el equipo MST, se pretendía calcular el Edin sin conocer la densidad. En primer lugar fue realizada una base de datos de densidades en Excel, Edin con densidad y velocidad de MST y valores de E. Mediante una simulación de Monte Carlo se tomó una densidad al azar, obteniendo un Edin1, a la cual sumándole la desviación estándar de la gráfica de regresión lineal se obtuvo un Edin2. Con dicho valor y la velocidad obtenida con MST, se obtuvo otra densidad y mediante un proceso iterativo se repitió hasta que la densidad al azar tuviera menos de un 1% de diferencia respecto a la densidad real (Yamasaki y Sasaki 2010). Haciendo uso de la base de datos creada en dicho trabajo, años más tarde se publicaría un estudio para obtener el Edin a partir de vibración longitudinal sin conocer la masa de la pieza (Kubojima y Sonoda 2015).

Un libro sobre evaluación *in situ* de estructuras de madera fue publicado en 2010, en él se abordan las diferentes TND, muchas de ellas utilizadas en la presente tesis, que pueden ser utilizadas en estructuras, las posibilidades de cada una y sus limitaciones (Kasal y Tannert 2010).

Con objeto de reutilizar vigas antiguas, mediante el uso del equipo de ultrasonidos Sylvatest Duo se compararon los valores obtenidos en madera procedente de aserradero y de estructuras existentes, de picea de procedencia Suiza, de pequeña y gran escuadría y semejante densidad. Se obtuvieron valores de Edin ligeramente superiores en madera vieja que en nueva (Kranitz *et al.* 2010).

Durante el proceso de obtención de los ajustes de la máquina PLG, según la norma EN 14081, se tuvo especialmente en cuenta el efecto de los nudos. Añadiendo parámetros de nudosidad al modelo, obtenido de las 243 primeras piezas, se mejoró la estimación del E mediante el Edin obtenido por vibración longitudinal (Divos y Sismandy 2010). Un año después continuando con la obtención de los

ajustes de máquina, ya con 624 piezas ensayadas, se añadió para la mejora del modelo, además de la nudosidad, la atenuación. Si bien se podrían obtener mejores resultados mediante la vibración transversal, esta es un proceso más lento que la vibración longitudinal, lo cual dificulta su uso a nivel industrial (Sismandy y Divos 2011).

Mediante el uso de vibraciones longitudinales inducidas con el equipo MTG, se obtuvo el Edin en 788 piezas de dimensiones 40x90x3000mm de pino Chipre (*Pinus brutia* Ten.). Comparando dicho valor con el Edin obtenido mediante un modelo de redes neuronales *Multilayer Preceptor* (MLP), y realizando posteriormente el ensayo en máquina universal de 3 puntos. Se obtuvieron buenos resultados en la estimación del E, siendo los mejores los obtenidos mediante redes neuronales con coeficientes de correlación de 0,88 (Güntekin *et al.* 2011).

Los equipos de ultrasonidos que no necesitan contacto entre el sensor y la madera, ya que el medio de acoplamiento es el aire, solían presentar la limitación de espesores de piezas hasta 50 mm, lo cual implicaba que su uso se limitaba a tabla de laminar y tableros. Un revolucionario equipo ultrasónico (figura 3.4), con sensores de 120 kHz y acoplamiento por aire, fue desarrollado por las instituciones ETH y EMPA de Suiza, permitiendo su utilización en piezas de gran escuadría, hasta 500 mm. Es de especial aplicación en la detección de delaminaciones en los planos de encolado de madera laminada, debido a que la atenuación se incrementa en las zonas con delaminaciones (Sanabria 2012).

Figura 3.4 Equipo ultrasónico de acoplamiento por aire (fuente Sanabria *et al.* 2011)

Un magnífico compendio de las TND (resistencia al taladro, resistencia a la penetración, emisión acústica, frecuencias propias, termografía, microondas,

medición del color), que pueden ser utilizadas por separado o conjuntamente para la inspección de estructuras, puede consultarse en un estudio del año 2012 (Niemz y Mannes 2012).

Otra TND bastante utilizada en la actualidad es la tomografía acústica para la inspección de arbolado en pie, debiendo utilizarse en diferentes secciones. Un tronco recién cortado de 1,2 m de longitud de la especie cerezo americano (*Prunus serotina* Ehrh.), fue utilizado en laboratorio para la realización de tomografía acústica con el equipo PiCUS en 3 secciones diferentes, cortándose posteriormente por dichas secciones para evaluar su estado. Se encontró que los agujeros y roturas internas fueron bien representadas por la tomografía, sin embargo las formas exactas y los primeros estados de la pudrición fueron difíciles de representar y detectar (Li *et al.* 2012).

En 2013 se presentó la evaluación de dos puentes de madera en la República Checa, mediante el uso de un equipo en fase experimental desarrollado y fabricado en la universidad de Mendel. Dicho equipo mide la profundidad de penetración de una aguja, y en función de dicha profundidad se establece una escala de madera sana, daños leves y daños graves (Hunkova 2013).

Una técnica más compleja que las hasta ahora expuestas es la utilización de aceleradores de partículas. Mediante el uso del Synchrotron del centro P.S.I. de Suiza se realizaron tomografías microscópicas, obteniendo una alta resolución volumétrica en 3D de la estructura interna de la madera (Ritschel *et al.* 2013).

Otras TND novedosas fueron las diseñadas en el centro de excelencia de Tělc (República Checa), consistentes en 2 equipos (figura 3.5): el primero de ellos se basa en la resistencia a penetración de una aguja, hasta 120 mm de longitud, es un equipo manual en el cual la fuerza la ejerce el operario por medio de una manivela, obteniendo un perfil similar al resistográfico y estimando la densidad en función de la fuerza aplicada (Kloiber *et al.* 2011). El segundo es un acople para un taladro, que permite medir la deformación producida en la madera aplicando fuerza mediante 2 pletinas, a diferentes profundidades de un agujero de 12 mm de diámetro realizado previamente, estimando la resistencia de la madera (Drdacky y Kloiber 2013).

Figura 3.5 Equipos desarrollados en Tělc (fuente Kloiber y Drdacky 2015)

Un estudio fue realizado por Baar sobre 30 piezas de 5 especies de frondosas tropicales, con diferentes desviaciones de la fibra y dimensiones 20x60x300 mm, haciendo uso de las TND de vibración longitudinal y transversal (mediante un acelerómetro MMF type KS94B.10) y ultrasonidos (con el equipo Ultrasound Timer), y realizando posteriormente ensayo con máquina universal de 3 puntos. Se obtuvieron valores de E_{din} superiores al E , siendo los de vibración transversal los más aproximados (aprox. 12% mayores), seguidos de vibración longitudinal (aprox. 25% superiores) y ultrasonidos (aprox. 40% superiores), teniendo en cuenta que el ensayo de 3 puntos da un E hasta un 19% inferior al de 4 puntos (Brancheriau *et al.* 2002). La estimación del E obtuvo coeficientes de determinación entre 0,68 y 0,75 dependiendo de la TND utilizada. En la estimación de la $Trot$ los mejores resultados se obtuvieron a partir del E con coeficientes de hasta 0,74. Los mejores resultados con E_{din} se situaron en coeficientes de 0,57. La predicción de E y de la $Trot$ usando la densidad presentó coeficientes muy bajos (Baar *et al.* 2015).

La tomografía acústica es una técnica que además de su utilidad para arbolado en pie también se puede aplicar a estructuras existentes. Un estudio presentado en el 19º congreso de TND, expuso su uso en la evaluación de la estructura de madera laminada de una torre de observación de 40 años de antigüedad en Hungría. Se concluyó la utilidad de dicha técnica dado que fueron detectados en 3 pilares ataques fúngicos internos, no detectables exteriormente (Major y Divos 2015).

En los últimos años han proliferado gran cantidad de nuevas aplicaciones de TND en madera, como por ejemplo el empleo del láser de infrarrojo cercano instalado en

la propia línea de producción de paneles, para la determinación del CH de las virutas utilizadas (Divos *et al.* 2015a). Otro sistema para la evaluación del estado de las raíces de arbolado en pie, derivado del *pulling test* inventado en Alemania hace unos años, consistente en atirantar el árbol mediante un cable y con un inclinómetro en la base medir el ángulo de inclinación (figura 3.6). La tangente del ángulo de inclinación tiene una relación directa con el estado de la raíz. Al resultar un método dificultoso, por necesitar otro árbol cercano para atirantar, se propuso utilizar el movimiento producido por la fuerza del viento (Divos *et al.* 2015b)

Figura 3.6 *Pulling test* y detalle del inclinómetro (arriba izquierda)

Mediante la técnica de aprendizaje automático, similar al uso de redes neuronales, se analizaron datos de clasificación visual obtenidos con la norma chilena (NCh1207:2005) y la española (UNE 56544:2011), velocidades de transmisión de onda con MST y propiedades físico-mecánicas obtenidas en máquina universal, para dos especies de pino de procedencia Uruguay. Se obtuvo que el error del modelo se redujo del 27% al 13% utilizando TND combinadas con la clasificación visual en la predicción del E (Cardoso *et al.* 2015).

En resumen, en los primeros años de uso de TND la técnica más utilizada fue la vibración transversal. Debido a la lentitud de dicha técnica frente a la vibración longitudinal y la posibilidad de realizarla mediante micrófono o acelerómetro a nivel industrial, se utilizó más esta última. Además, dada la facilidad de dicha técnica, muchos estudios científicos usan sus propios diseños sin recurrir a equipos

comerciales específicos. Con los años se fueron añadiendo otras técnicas como ultrasonidos u ondas de impacto, todas ellas enfocadas a estimar el E y la Trot, mejorando los modelos de predicción añadiendo criterios visuales como la nudosidad. Es necesario combinar las TND con la clasificación visual para obtener mejores resultados. Otras técnicas como la resistencia al arranque de tornillo o la resistencia a la penetración son utilizadas para estimar la densidad. Otras técnicas como la resistencia al taladro se usan principalmente para evaluación de alteraciones biológicas. También observamos la gran cantidad de equipos diferentes aplicando TND que se han ido inventando a lo largo de estos años, algunos con más éxito que otros.

A continuación se muestra un breve resumen cronológico sobre el uso de técnicas no destructivas aplicadas a madera, a parte de la clasificación visual:

- 1846 Ensayos de vibraciones longitudinales para obtener el Edin, observando la influencia del contenido de humedad en la velocidad (Chevandier y Wertheim 1848).
- 1933 Ensayos de arranque de tornillo en madera (Cockrell 1933).
- 1943 Ensayos de vibraciones transversales para obtener el Edin (McBurney 1943).
- 1961 Ensayos de vibración longitudinal e influencia de la temperatura y humedad (James 1961).
- 1963 Primer congreso de TND, en Madison (Proceedings 1964).
- 1965 Ensayos de vibración transversal de cara y canto (Pellerin 1965).
- 1975 Desarrollo del equipo Pilodyn (Hoffmeyer 1978).
- 1978 Ensayos de ultrasonidos e influencia del nivel de carga (Bucur 1978).
- 1982 Libro que define el uso de la vibración longitudinal y transversal y las condiciones de ensayo adecuadas (Bodig y Jayne 1982).
- 1983 Emisión acústica para estudio de proceso de fractura, adhesivos de madera encolada y proceso de secado (Niemz 1983).
- 1984 Ecuaciones para obtención del Edin con los diferentes modos de vibración transversal (Görlacher 1984).
- 1985 Estimación de propiedades en tableros de partículas (Ross y Pellerin 1985).
- 1986 Vibraciones longitudinales con micrófono receptor (Sobue 1986b).
- 1988 Desarrollo del equipo Resistógrafo (Rinn 1993).
- 1991 Desarrollo del equipo Sylvatest (Sandoz 1991).
- 1995 Libro *Acoustics of Wood* (Bucur 1995).
- 1997 Combinación de TND con parámetros de clasificación visual como nudosidad en la estimación de propiedades (Divos y Tanaka 1997).
- 2000 Desarrollo del equipo PLG (Divos 2002).
- 2002 Libro *Nondestructive evaluation of wood* (Pellerin y Ross 2002).
- 2003 Norma estadounidense que regula el uso de la técnica de vibración transversal para estimación de propiedades (ASTM D 6874-03).
- 2007 Norma brasileña de clasificación mediante velocidad de ultrasonidos (NBR 15521).

- 2009 Publicación que recopila la TND existentes (Brashaw *et al.* 2009).
- 2010 Libro de evaluación in situ de estructuras de madera (Kasal y Tannert 2010).
- 2012 Desarrollo de equipo de ultrasonidos de acoplamiento por aire (Sanabria 2012).
- 2013 Uso del acelerador de partículas Synchrotron para realizar tomografías microscópicas (Ritschel *et al.* 2013).
- 2015 Desarrollo de láser de infrarrojo cercano para determinación del CH en las virutas utilizadas para paneles (Divos *et al.* 2015a).

3.1.1 Uso de técnicas no destructivas en España

La investigación científica en España, para la determinación de propiedades físico-mecánicas de la madera comenzó en los años 60 del pasado siglo (figura 3.7), centrada en ensayos de probetas libres de defectos (Gutiérrez-Oliva y Plaza 1967). A mediados de los años 80, se empezaron a utilizar piezas de tamaño estructural (Gutiérrez-Oliva *et al.* 1988; Seoane *et al.* 1989; López-Roma *et al.* 1991).

Figura 3.7 Laboratorio de estructuras de madera del INIA

Las primeras experiencias en el uso de técnicas no destructivas aplicadas a madera en España, a parte de la clasificación visual, tuvieron lugar a principios de los años 90 del pasado siglo. La primera publicación científica fue de junio de 1992, en ella se usó el equipo ultrasónico portátil Steinkamp BP-V para la evaluación de estructuras existentes (figura 3.8), realizando medidas sobre 34 piezas entre caras opuestas, en carga y sin carga. Se obtuvieron coeficientes de correlación en la

estimación de las propiedades mecánicas a partir del Edin de 0,60, sin advertir ninguna influencia de la carga (Arriaga *et al.* 1992a).

Figura 3.8 Mediciones con Steinkamp BP-V (fuente Arriaga *et al.* 1992b)

En madera nueva, se defendió una tesis doctoral en noviembre de 1992 que hizo uso del mismo equipo ultrasónico para la clasificación de madera aserrada de secciones 40x100 mm y 50x150mm de pino pinaster. Realizando modelos de regresión lineal entre E y Edin y entre la densidad y el tiempo de onda ultrasónica (Martínez 1992).

La primera publicación del tema listada en SCI JCR con índice de impacto 0,727, fue realizada haciendo uso del mismo equipo de los estudios anteriores y de rayos X para detección de pudrición en pino y haya de procedencia española (Bucur *et al.* 1993).

En la misma línea existe otro estudio sobre detección de pudrición con ultrasonidos, realizado con un equipo diseñado para su uso en hormigón, con sensores cilíndricos de 90 kHz, sobre probetas de dimensiones 70x100x200 mm (Palaia *et al.* 1993). Un año después, se presentó la segunda parte del estudio anterior, realizado con 12 probetas de pino de Rusia (llamado así por los autores) de dimensiones 29x68x158 mm a las que se les realizó perforaciones para simular la pérdida de masa debida a las pudriciones. La simple medición con el equipo de ultrasonidos del estudio anterior no fue suficiente para determinar la incidencia del número de perforaciones, por eso se acopló un osciloscopio para estudiar otros aspectos de la onda, encontrando que a mayor número de perforaciones mayor es la atenuación de la señal acústica (Galvañ *et al.* 1994).

La técnica de ultrasonidos haciendo uso del equipo Steinkamp BP-V fue utilizada para estudiar la pudrición de piezas de chopo previamente sometidas a diferentes tratamientos térmicos (Troya y Navarrete 1994).

En el primer congreso europeo de técnicas no destructivas se presentó un estudio realizado con microondas, rayos láser y ultrasonidos para detectar defectos en la madera (Martín 1994).

En el año 1995, se realizaron mediciones con el equipo Steinkamp BP-V tanto en madera nueva de pino silvestre de dimensiones 100x150x300 mm y 20x20x300 mm y posteriormente 37 de ellas ensayadas a flexión, como en madera vieja de la misma especie en un edificio antiguo en las cuales se hicieron medidas entre caras opuestas, desmontándose 6 piezas para su ensayo a flexión. Se establecieron las correlaciones de la velocidad de onda ultrasónica con las propiedades mecánicas, obteniendo valores de coeficientes de determinación muy dispares (Rodríguez-Liñán y Rubio 1995).

En el año 1997, se presentó una tesis doctoral en la cual haciendo uso del equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V, se realizan mediciones sobre probetas de pino silvestre, tanto en madera nueva como vieja, obteniendo correlaciones aceptables con el módulo de elasticidad estático local (60 %) y tensión de rotura (66 %) (Rubio 1997).

En el año 1998, se publicó un estudio realizado sobre 662 piezas de pino silvestre, 572 piezas de pino radiata y 545 piezas de pino pinaster de procedencia española, incluyendo muestreos a lo largo de diferentes zonas del país, todas ellas con una sección 50x150 mm. En dicho estudio se aportaron los valores de módulo de elasticidad obtenidos mediante una máquina automática de clasificación (Fernández-Golfín *et al.* 1998).

Sobre las especies pino silvestre, pino pinaster y pino del Caribe, procedentes de estructura antigua, se realizaron mediciones con los equipos Steinkamp BP-V (con sensores planos de 40 kHz) y Pilodyn para evaluar pudrición, además se estudió la influencia del CH en las mediciones de ambos equipos (Palaia *et al.* 2000).

Sin embargo, la mayor cantidad de publicaciones sobre el tema tuvieron lugar a partir del año 2000. Las principales especies estudiadas en España fueron, pino radiata, pino silvestre, pino laricio y pino pinaster. Las técnicas más comúnmente aplicadas fueron ondas ultrasónicas, vibraciones inducidas, resistencia a la penetración, arranque de tornillo y sondeo con taladro (Esteban *et al.* 2007). Una revisión del uso de TND en España puede consultarse en una publicación del año 2009 (Carballo *et al.* 2009a).

Sobre 45 probetas libres de defectos de madera de roble se midió la velocidad de onda en sentido longitudinal con el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V, realizando posteriormente en 13 de ellas ensayo de flexión estática de 3 puntos y en 34 de ellas ensayo de compresión axial. Obteniendo coeficientes de determinación de 0,40 y 0,19 en la estimación con la velocidad de el módulo de elasticidad a flexión y a compresión axial respectivamente (Riesco 2001).

Los ajustes para la máquina de clasificación automática Cook-Bolinder (figura 3.9), para la especie de pino silvestre de procedencia española fueron publicados en una tesis doctoral (Hermoso 2001). En dicha tesis también se abordó el uso de los métodos no destructivos ultrasónicos, realizando ensayos con el equipo Sylvatest Duo sobre 85 piezas de dimensiones 40x150x3000 mm de procedencia Cuenca, realizándose regresiones entre la Trot y la velocidad de ultrasonidos.

Figura 3.9 Máquina de clasificación automática Cook-Bolinder

Por otra parte, los ajustes para la misma máquina para la especie pino laricio de procedencia española aparecieron en otra tesis doctoral (Conde 2003). Asimismo, se realizaron ensayos con el equipo Sylvatest sobre 735 piezas de varias dimensiones, estableciendo un modelo de regresión entre E y la velocidad de ultrasonidos.

En piezas de gran escuadría (piezas con anchura superior a 70 mm) de pino silvestre y pino pinaster procedentes de estructuras existentes, fueron realizadas medidas testa-testa, entre caras opuestas y en la misma cara a varias distancias, con ultrasonidos haciendo uso de los equipos Steinkamp BP-V y Sylvatest Duo. A partir de dichos valores se realizó una clasificación de las piezas, si bien los mejores resultados fueron obtenidos combinando dicho método con la clasificación visual. Además, al realizar la estimación del E a partir del Edin, los mejores resultados se obtuvieron para las ondas que recorren mayor longitud (testa-testa y caras opuestas a 18h) (Esteban 2003).

En una muestra compuesta por 1327 piezas de pino silvestre y 735 de pino laricio de varias dimensiones, se realizaron medidas con Sylvatest con objeto de obtener los valores de paso para el equipo de acuerdo con el proyecto de norma europeo EN 14081-2. Posteriormente se comparó la clasificación obtenida con ultrasonidos, con la obtenida por la máquina de flexión automática Cook-Bolinder, resultando que, si

bien, dicha máquina resultó mejor estimadora de las propiedades mecánicas, los rendimientos clasificatorios son aceptables con el uso de ultrasonidos (Hermoso *et al.* 2003).

En 2006, se publicó un estudio de la propiedades físicas y mecánicas mediante clasificación visual con la norma británica BS 5756:1997, ultrasonidos con el equipo Sylvatest Duo y ensayo a flexión en 82 piezas de elondo de procedencia Guinea y Camerún, de dimensiones 80x80x1600 mm y 200x250x5000 mm. Se encontraron altos coeficientes de determinación (0,73) en la estimación del E a partir de la velocidad de ultrasonidos, además de aparecer un efecto de longitud (Arriaga *et al.* 2006).

Haciendo uso de los datos recabados a lo largo de 15 años, durante la caracterización de las especies de pino laricio, pinaster, radiata y silvestre, por el laboratorio de estructuras de madera del INIA, se procedió a realizar una comparativa entre diversos modelos de ajuste por regresión para la estimación del E a partir del Edin obtenido con velocidad de onda ultrasónica. Se concluyó que en la mayoría de los casos un ajuste exponencial o multiplicativo, puede mejorar ligeramente los coeficientes de determinación respecto al ajuste lineal (Hermoso *et al.* 2007a).

También se utilizaron TND en madera en rollo, para la caracterización de madera en rollo delgada (diámetro inferior a 23 cm) se emplearon 445 rollizos torneados de la especie pino laricio, realizando medidas ultrasónicas con Sylvatest Duo de forma indirecta y en testas de tres formas (médula, albura y duramen). No se encontraron diferencias entre las tres, y estimando el E a partir del Edin con un coeficiente de determinación de 0,68 (Hermoso *et al.* 2007b).

Un estudio realizado sobre 1305 piezas de pino silvestre y 852 de pino laricio con el equipo Sylvatest Duo, concluyó que la velocidad de ultrasonidos por sí sola no es buena predictora de las propiedades mecánicas. Se deben añadir parámetros de nudosidad, longitud y densidad, pudiendo usar el mismo modelo para ambas especies estudiadas (Conde *et al.* 2007).

El edificio de la Lonja de los Mercaderes de Valencia fue objeto de inspección, haciendo uso de los equipos Sylvatest Duo para estimar su E y resistógrafo IML Resi B 300 para cuantificar los ataques de xilófagos (Capuz *et al.* 2007).

En una tesis doctoral del año 2007 se utilizaron TND sobre 395 piezas madera nueva de gran escuadría de pino radiata, silvestre y laricio (Íñiguez 2007).

Una metodología para la evaluación de estructuras existentes mediante el uso de diversos equipos no destructivos (ultrasónico, penetrómetro y resistógrafo) junto con inspección visual fue propuesta y validada sobre piezas antiguas de la especie pino silvestre (Palaia *et al.* 2008).

La estructura de madera de la plaza mayor de Chinchón, Madrid, fue objeto de inspección mediante el uso de TND, ultrasonidos con el equipo Sylvatest, con medida entre caras opuestas, arranque de tornillo con SWRM y resistencia al taladro con Resistograph 3450-S (Basterra *et al.* 2009).

Sobre 491 piezas de pino pinaster de procedencia Galicia y 6 escuadrías diferentes, fueron utilizados los equipos Sylvatest Duo y MST para realizar medidas tanto testa-testa como mismo canto a 18h. Con ambos equipos la estimación del E alcanzó coeficientes de determinación de hasta 0,55, usando como variable independiente la velocidad de la onda, y 0,70 usando el Edin, mientras que la predicción de la Trot alcanzó 0,30 y 0,39 cuando se añadió la variable de nudosidad CKDR (Carballo *et al.* 2009b).

En la estructura de cubierta del aserradero de Valsaín, Segovia, de pino silvestre (figura 3.10), se realizaron ensayos con los equipos Pilodyn 6J Forest y SWRM para estimar la densidad, y conjuntamente con la velocidad obtenida con MST, estimar el E y la Trot haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Íñiguez (2007), procediendo a asignar una clase resistente a las piezas (Esteban *et al.* 2009).

Figura 3.10 Estructura del aserradero de Valsaín, Segovia (fuente GICM)

En un proyecto fin de carrera realizado con 26 piezas de gran escuadría (3000x100x150 mm) de pino silvestre de procedencia española, se estimaron las propiedades mecánicas mediante el uso de 3 equipos ND: Sylvatest Trio, MST y PLG. Obteniendo para la estimación del E a partir del Edin obtenido con cada equipo, coeficientes de determinación de 0,71; 0,67 y 0,81 respectivamente. En el

caso de la estimación de la Trot el coeficiente más alto fue de 0,28 (De la Mata 2011).

En 2012, se publicó un trabajo con ensayos realizados sobre 374 piezas de castaño de procedencia española, con los equipos ND: Sylvatest Trio, MST y PLG, encontrando coeficientes de correlación similares (aprox. 0,70) para estimar el E usando la velocidad obtenida por vibración y la densidad por separado, que usando directamente el Edin. Sin embargo, los resultados de estimación de la Trot, incluso añadiendo al modelo un parámetro de nudosidad son bastante menores (0,33) (Vega *et al.* 2012).

En una tesis doctoral sobre 150 piezas de pino radiata de procedencia Cataluña, se realizaron mediciones con diversos equipos ND: Sylvatest Duo, MST y PLG, para la estimación de las propiedades mecánicas. Se obtuvieron los mejores resultados usando como estimador el Edin que únicamente la velocidad, y ligeramente mejores con la técnica de vibraciones inducidas, tanto longitudinal como transversal. En el caso de la estimación del E los valores de coeficiente de determinación se sitúan entre 0,78 y 0,86, y en el caso de la Trot entre 0,40 y 0,50. Éstos últimos mejoraron al añadir al modelo un parámetro de nudosidad como es el CKDR (Montón 2012).

En un edificio del Cortijo de San Isidro de Aranjuez, Madrid, se realizó una evaluación de la estructura de madera existente sin posibilidad de desmontar piezas, mediante el uso de los equipos ND MST y Pilodyn 6J Forest, se estimaron las propiedades mecánicas haciendo uso de diferentes modelos de predicción propuestos en tesis doctorales y trabajos realizados en España para la especie pino silvestre (Arriaga *et al.* 2013).

Se estudió el efecto de la competencia entre árboles en 3 parcelas con diferente índice de aclareo, haciendo uso del equipo portátil de ondas de impacto Hitman ST300 sobre arbolado en pie de pino radiata en Galicia. No se encontraron diferencias entre las velocidades de las distintas parcelas, pero se obtuvieron en cada parcela velocidades más altas en los árboles codominantes que en los dominantes (dependen del tamaño de copa). Esto último pudo ser debido a la mayor presencia de madera juvenil en estos últimos (Merlo *et al.* 2013).

Otros empleos de las TND fueron por ejemplo el estudio del envejecimiento en tableros de partículas, realizando ciclos de envejecimiento y mediciones con Sylvatest Duo, MST y SWRM (Sevilla *et al.* 2013).

En 2014 se presentó un trabajo en el cual se propone una metodología de inspección mediante TND aplicada a hórreos (estructuras existentes de Asturias protegidas por ley), la cual se realizó tanto para detección de daños, como para la estimación de propiedades físico-mecánicas (Vega *et al.* 2014).

En un trabajo realizado para la acción COST FP 1101, se presentó la evaluación de una estructura existente en el norte de Cataluña, estimando la densidad con resistógrafo, usando el equipo MST y mediante las ecuaciones propuestas por Íñiguez (2007) obteniendo el Edin. Procediendo a asignar clase resistente con dichos valores (Vilches *et al.* 2015).

En un estudio realizado sobre la influencia de la luna en 360 piezas de alerce de Japón de procedencia País Vasco, procedentes de árboles apeados en cuarto creciente y cuarto menguante, se realizaron medidas con MST. No se encontró influencia de la luna sobre la velocidad de ondas de impacto, aunque sí una tendencia (Íñiguez *et al.* 2015a).

Los artículos citados hasta el momento, eran sobre el uso general de TND, en la mayoría de los casos se utilizaban ultrasonidos y ondas de impacto, a continuación se exponen otros artículos focalizados en otras técnicas diferentes a las anteriormente citadas.

Vibraciones inducidas

La primera publicación haciendo uso de la técnica de vibraciones inducidas en España fue realizada con el equipo PLG, midiendo en sentido longitudinal, con objeto de clasificar 75 piezas de gran escuadría (150x250 mm) de pino radiata (Arriaga *et al.* 2005).

Haciendo uso del mismo equipo del estudio anterior, se estimó el E de 51 piezas de diferentes dimensiones de elondo, empleadas en la rehabilitación del cargadero de mineral de Río Tinto, Huelva. En este estudio se emplearon además otros equipos ND como Pilodyn 6J Forest para estimar la densidad y Sylvatest Duo para estimar el E. Se obtuvieron mejores resultados con la vibración que con los ultrasonidos (Íñiguez *et al.* 2006).

En el año 2007 se realizaron ensayos con PLG sobre 158 piezas de pino radiata de sección 50x150 mm y varias longitudes, consiguiendo mejorar el rendimiento clasificatorio obtenido mediante clasificación visual, combinando ambas técnicas (Carballo *et al.* 2007a).

En una tesis doctoral del año 2007, se utilizó el equipo PLG sobre 395 piezas de gran escuadría de pino radiata, silvestre y laricio de procedencia española. Se concluyó que la estimación de las propiedades mecánicas a partir del Edin aporta mejores coeficientes de determinación que haciendo uso exclusivamente de la velocidad. Además, en el caso de la predicción de la Trot, se pudo mejorar el modelo añadiendo el criterio de nudosidad CKDR. También fue empleado el equipo de ultrasonidos Sylvatest Duo, obteniéndose resultados similares al PLG en la predicción de las propiedades mecánicas (Íñiguez 2007).

En un estudio 211 probetas de pino silvestre con cantos comprendidos entre 120 y 205 mm, fueron ensayadas con un equipo de vibración longitudinal y posteriormente llevadas a rotura. Mediante modelos exponenciales se estimó el E y la Trot a partir del Edin, con unos coeficientes de determinación próximos a 0,5 en ambos casos. Además, se comprobó que la clasificación realizada por el aparato infravaloró el 73% y sobrevaloró el 7% de las piezas, lo cual indicó que era necesario disponer de ajustes específicos por especie y procedencia (Broto *et al.* 2007).

Un proyecto fin de carrera, con objeto de clasificar la madera en rollo de la especie sabina de procedencia Castilla y León, sobre 99 piezas de diámetros entre 150 y 300 mm, hizo uso de un equipo de vibraciones inducidas longitudinal, recogiendo la frecuencia mediante un micrófono, ensayando posteriormente los rollizos a flexión. La estimación del E con el Edin presentó un coeficiente de determinación de 0,12, sin embargo la predicción incluyendo criterios de conicidad del rollizo aumentó el coeficiente hasta 0,43 (Villanueva 2009).

Un estudio se realizó sobre 200 piezas de dimensiones 80x120x2200 mm de pino Oregón, con abundante madera juvenil (procedían de árboles de 27 años), de procedencia Orense usando el equipo PLG. Se obtuvo un coeficiente de determinación entre la velocidad obtenida con PLG y el E de 0,82, siendo dicha determinación mejor que la obtenida con otros 2 equipos de ondas de impacto (IML Micro Hammer y MST). Dicha predicción se vio incrementada en mayor medida incluyendo datos de nudosidad que incluyendo el parámetro densidad. Sin embargo los coeficientes de determinación obtenidos para la estimación de la Trot fueron muy bajos (Santacalara *et al.* 2009).

No todos los estudios de vibraciones inducidas realizados en España utilizaron el equipo PLG. Una comunicación a congreso del año 2011 expuso el uso del equipo Hitman Director HM 200 para la clasificación de 162 trozas de pino pinaster de procedencia Galicia. 237 piezas aserradas de dichas trozas fueron ensayadas a flexión, con coeficientes de determinación entre E y Edin de 0,73 (Santacalara y Merlo 2011)

Otro equipo diferente de vibración fue utilizado para la evaluación de puentes y pasarelas realizadas con pino silvestre. Mediante la colocación de varios acelerómetros (modelo PCB 3711B112G) en el canto inferior de las vigas principales, y excitando la estructura con un martillo (modelo PCB 086D20) en la parte superior, se recogieron y analizaron las frecuencias de vibración obtenidas, para estudiar el riesgo de resonancia (Baño *et al.* 2011).

En 2012, se publicó un estudio realizado sobre 395 piezas de gran escuadría de pino radiata, silvestre y laricio de procedencia española. Se realizaron ensayos con un equipo de vibración longitudinal inducida recogiendo la señal a través de un micrófono y obteniendo la frecuencia mediante el software libre FFT (el cual hace uso de la transformada rápida de Fourier). Posteriormente, las piezas fueron

ensayadas de acuerdo a la norma europea EN 408:2003. Obteniendo una satisfactoria relación entre el E y el Edin. Además, se realizó un cálculo de ajustes para el equipo de vibraciones inducidas de acuerdo con la norma europea EN 14081-2:2005 (Arriaga *et al.* 2012).

Sobre 218 piezas de sección 150x200 mm de pino silvestre se realizaron ensayos de vibración tanto longitudinal con PLG como transversal con software libre, además de usar métodos de ultrasonidos y ondas de impacto con los equipos Sylvatest Duo y MST. Se concluyó que se estiman más acertadamente las propiedades mecánicas mediante el uso del Edin, que solamente mediante el uso de la velocidad, siendo ligeramente mejores los resultados obtenidos mediante vibración longitudinal (Montero 2013).

Una comparativa entre los resultados obtenidos en la tesis doctoral de Montero (2013) y ensayos de vibración longitudinal y transversal realizados sobre 140 piezas de pino radiata fueron presentados en un congreso. Se concluyó que la estimación del E es mejor en la especie pino silvestre que radiata y que los resultados son mejores, en ambas especies, mediante vibración longitudinal que mediante transversal (Hermoso *et al.* 2013).

Una tesis doctoral publicada en 2013 presentó el uso de 2 equipos de vibración PLG y Hitman Director HM 200 (figura 3.11). A diferencia del PLG que recoge la señal mediante un micrófono, el HM 200 la recoge mediante un acelerómetro de contacto. Se realizaron ensayos de vibración longitudinal en 981 piezas de diferentes escuadrías de castaño procedentes de 5 zonas de España. Se estimó el E con coeficientes de determinación superiores a 0,70, los mejores resultados fueron obtenidos con el equipo PLG (0,78), sin embargo no fue posible estimar la resistencia a flexión con coeficientes altos (0,33) (Vega 2013).

Figura 3.11 Equipos de vibración PLG y HM 200 (fuente Vega 2013)

En el 6º congreso forestal español se presentó un estudio sobre la clasificación de 345 trozas de pino pinaster con el equipo Hitman Director HM 200 y su posterior comparativa con las 849 piezas aserradas que dieron lugar. Consiguiendo incrementar el rendimiento de la clasificación visual de madera aserrada, mediante preclasificación de trozas (Santacalara y Merlo 2013).

En 2014, se publicó un estudio realizado sobre 150 piezas de dimensiones 80x120x2500 mm de pino radiata de procedencia Cataluña, con vibración longitudinal y transversal. Concluyendo que ambas técnicas presentan coeficientes de determinación similares para estimar las propiedades mecánicas de la madera (Arriaga *et al.* 2014).

Técnicas puntuales

Las técnicas puntuales son especialmente utilizadas en la inspección y evaluación de estructuras existentes. Dentro del grupo de técnicas conocidas como puntuales se agrupan las siguientes: resistencia a la penetración, arranque de tornillo (figura 3.12), resistencia al taladro, extracción de viruta, barrenado y extracción de testigo.

Se podría establecer el umbral entre técnica no destructiva y semidestructiva en 10 mm de diámetro de orificio provocado, pues es el tamaño mínimo de nudo que considera la norma española de clasificación visual (UNE 56544:2011), siempre y cuando no sean pasantes, si bien otras normas de clasificación visual presentan un criterio más restrictivo, como la norma alemana DIN 4074-1:2012-06 que establece el tamaño mínimo de nudo en 5 mm.

Figura 3.12 Máquina de arranque de tornillo de traviesas de madera

La técnica de resistencia al taladro se suele utilizar para la evaluación de estructuras existentes obteniendo información de la sección transversal y defectos internos de los elementos estructurales de madera, como la realizada en un edificio histórico de La Coruña construido en pino amarillo del sur y pino del Caribe (Touza 2009), o en el eje del martinete de Navafría (González-Sanz 2012).

En 2002, se publicó un estudio sobre estimación de densidad de la madera de la especie pino silvestre procedente del norte de Europa mediante el uso de la técnica de resistencia al taladro con el resistógrafo IML Resi F300 en dirección radial, llegando a obtener valores de coeficiente de determinación de 0,85 (Mariño *et al.* 2002).

Mediante el uso del resistógrafo IML Resi F300-S sobre 60 probetas libres de defectos (30 al 10% de CH y 30 al 18%) de dimensiones 20x20x300mm, de pino laricio (variedad pyrenaica) de procedencia Cataluña, se realizaron en el laboratorio del INCAFUST dos medidas por probeta, una a 90° y otra a 45° en la cara longitudinal. Se encontró influencia tanto del CH como del ángulo de ataque. Se estimó la Trot a partir del valor medio de amplitud y CH con unos coeficientes de determinación próximos a 0,90 en ambos casos. En la estimación de densidad las medidas a 90° dieron mejores resultados que las de 45°, siendo sus coeficientes de determinación 0,68 y 0,57 respectivamente (Vilches y Correal 2009).

Otro estudio realizado sobre 6 especies de procedencia española, incluyendo coníferas y frondosas, con el equipo Resistograph 3450-S, obtuvo estimaciones de la densidad usando el consumo medio del equipo por centímetro penetrado, con coeficientes de determinación en torno a 0,80 y llegando a 0,90 si se añadían más parámetros al modelo (Acuña *et al.* 2011).

Las densidades de 50 probetas de pino, procedentes de pilotes de edificios lisboetas, fueron estimadas mediante resistógrafo IML Resi-B 1280 y extracción de testigo, obteniéndose mejores resultados con el primer método (Morales-Conde *et al.* 2014).

Un uso cuando menos curioso del resistógrafo fue presentado en un congreso en Sopron en el año 2011. Realizando una evaluación de la reproducción construida para la Expo'92 de la nao Victoria, en la cual Juan Sebastián Elcano circunnavegó el mundo, con objeto de detectar daños por hongos (Calderón y Saiz-Omeñaca 2011).

39 viguetas de pino silvestre procedentes de una estructura existente, fueron estudiadas mediante el uso de la técnica arranque de tornillo con SWRM, buscando la estimación de las propiedades mecánicas. Se encontró que únicamente puede predecirse la densidad con ciertas garantías, obteniendo coeficientes de determinación de 0,62. También se estudió su uso para la detección de daños bióticos (Casado *et al.* 2005).

En 2007, se publicó un estudio realizado sobre 395 piezas de gran escuadría de pino radiata, silvestre y laricio de procedencia española, sobre las cuales se realizaron ensayos de resistencia a la penetración y arranque de tornillo con los equipos Pilodyn 6J Forest y SWRM, para la estimación de la densidad. Realizando la media de las medidas radial y tangencial, se obtuvieron coeficientes de determinación de 0,35 en el caso de Pilodyn y de 0,49 en el caso de SWRM (Bobadilla *et al.* 2007).

Si bien el coeficiente de determinación en la estimación de densidad mediante penetrómetro suele presentar valores bajos en madera aserrada (entre 0,30 y 0,60), debido a la variabilidad del material, este inconveniente no suele existir en los tableros derivados de madera, ya que son mucho más homogéneos, con valores de 0,84 (Bobadilla *et al.* 2009).

La densidad de un total de 266 piezas de pino radiata, silvestre, laricio y pinaster, fue estimada haciendo uso de los equipos Pilodyn 6J Forest, SWRM, Sylvatest Duo y MST, los mejores resultados fueron obtenidos con SWRM y Pilodyn con coeficientes de determinación de 0,67 y 0,61 respectivamente, mientras el uso de la velocidad de onda dió un coeficiente de 0,34 (Íñiguez *et al.* 2010).

Para la estimación de la densidad, en la tesis doctoral de Montón (2012), se presentó, además de la profundidad de penetración (R^2 0,31) y arranque de tornillo (R^2 0,53), otra técnica, definida por el autor como ligeramente destructiva, consistente en la extracción de un testigo cilíndrico de diámetro 17 mm y longitud 20 mm, con una sierra de corona acoplable a un taladro. En 60 rebanadas de pino radiata, fueron comparadas mediante regresión lineal las densidades, obtenidas como masa/volumen, del testigo y de la rebanada, obteniéndose coeficientes de determinación de 0,88. Únicamente en el caso de la profundidad de penetración se observaron diferencias entre mediciones radiales y tangenciales.

En 2013, se presentó un nuevo equipo: RML Wood Extractor (GICM, España), acoplable a un taladro convencional para la extracción viruta (figura 3.13). Mediante la masa de la viruta extraída, recogida por aspiración en una bolsita tipo infusión, aprovechando el ventilador del taladro, y conocido el volumen del orificio realizado de 8 mm de diámetro, se obtuvo la densidad. En el estudio presentado se realizaron 3 taladros sobre 44 piezas, 22 de ellos en dirección radial y los otros 22 tangencial, de pino laricio de procedencia española. Se comparó la densidad de la pieza completa con la de la viruta extraída, obteniéndose valores similares siendo el coeficiente de determinación 0,84. Además no fue necesario realizar más que un orificio y siendo independiente de la dirección radial o tangencial (Bobadilla *et al.* 2013). Además, puede ser utilizado para identificar daños biológicos (Martínez *et al.* 2015).

Figura 3.13 RML Wood Extractor (fuente Roberto D. Martínez)

La técnica de resistencia a la penetración, mediante Pilodyn 6J Forest, no solo se utilizó para estimación de la densidad, también se utilizó en estructura existente para la evaluación de zonas de piezas o piezas en mal estado. Se utilizó únicamente la diferencia de penetración entre zonas sanas y zonas con ataques, estableciendo unos valores para madera sana. Para pino silvestre la penetración media era de 11 mm (Bobadilla *et al.* 2009), o el caso de pino silvestre y laricio entre 9 mm y 12 mm (Palaia 2014).

Una comparativa para la estimación de densidad con 3 técnicas puntuales diferentes (resistencia a la penetración con Pilodyn 6J Forest, arranque de tornillo con SWRM y extracción de testigo), en dirección radial y tangencial, sobre 150 piezas de pino radiata de sección 80x120 mm fue publicada en 2015. Dado que la extracción de testigo se realizó con dos brocas de corona de 14 mm y 22 mm de diámetro exterior, los autores consideraron esta técnica como semidestructiva. Se concluyó que la extracción de testigo es la técnica más precisa, con coeficientes de determinación de 0,80, independientemente del diámetro de la broca, frente a 0,57 obtenido mediante arranque de tornillo y 0,30 mediante resistencia a la penetración (Íñiguez *et al.* 2015b).

Otras técnicas menos comunes en España

Otra técnica, menos común en España cuando se aplica a madera, es el Georradar. En una tesis doctoral publicada en 2009 se abordó el análisis de estructuras de madera con dicha técnica (Rodríguez-Abad 2009). Sobre el uso de la misma técnica se publicó un estudio realizado sobre 22 viguetas de pino pinaster de sección 75x200 mm para estimación del CH (Rodríguez-Abad *et al.* 2011).

Figura 3.14 Georradar (fuente Rodríguez-Abad 2009)

Recientemente se utilizó la tomografía acústica, para estudiar el efecto de la distancia de la médula en la velocidad de propagación de la onda. 432 medidas fueron realizadas sobre 6 piezas de gran escuadría (100x200x400 mm) de castaño haciendo el uso del equipo portátil Arbotom (Mariño *et al.* 2010).

Se utilizó termografía infrarroja sobre diversas especies en laboratorio y sobre una estructura existente, para detectar diferencias de humedad que pueden indicar zonas con ataques, densidades diferentes y singularidades como fendas o nudos (Rodríguez-Liñán *et al.* 2011). Otro estudio que hace uso de la termografía para detectar diferencias de CH, junto con otras técnicas no destructivas, fue realizado sobre una estructura existente (Morales-Conde *et al.* 2013).

Se realizaron en España algunos estudios haciendo uso de redes neuronales, a partir de datos obtenidos con técnicas destructivas y TND, para la clasificación de madera (Mier 2001; García-Esteban *et al.* 2009; García-Ceca *et al.* 2013).

A la vista de todos estos estudios realizados en España, se concluye que los equipos ND más utilizados fueron los equipos portátiles. En la técnica de ultrasonidos: Steinkamp BP-V y Sylvatest en sus diferentes versiones; en cuanto a ondas de impacto: MST; y en vibración inducida: PLG. Asimismo, las técnicas puntuales más utilizadas fueron: los resistógrafos IML y Rinn-tech, Pilodyn 6J Forest y SWRM. Sobre las especies de procedencia española, las más estudiadas fueron: pino radiata, silvestre, laricio pinaster y más recientemente el castaño.

A continuación se muestra un breve resumen cronológico sobre el uso de técnicas no destructivas aplicadas a madera en España, a parte de la clasificación visual:

- 1992 Primera publicación científica (Arriaga *et al.* 1992a): estimación de propiedades en madera de gran escuadría de estructura existente.
- 1992 Primera tesis doctoral (Matínez 1992): estimación de propiedades en madera nueva de pequeña escuadría.
- 1993 Primera publicación SCI JCR (Bucur *et al.* 1993): detección de pudriciones.

- 1994 Publicación en el primer congreso europeo de TND (Martín 1994): detección de defectos.
- 1997 Estimación de propiedades en madera nueva de gran escuadría y vieja de pequeña escuadría (Rubio 1997).
- 1998-2003 Estimación de propiedades mediante la máquina automática de clasificación Cook-Bolinder (Fernández-Golfín *et al.* 1998; Hermoso 2001; Conde 2003).
- 2001 Uso de redes neuronales para datos de TND (Mier 2001).
- 2002 Estimación de la densidad con resistógrafo (Mariño *et al.* 2002).
- 2003 Estimación de propiedades en madera de gran escuadría de estructuras existentes (Esteban 2003).
- 2005 Primera publicación científica de vibraciones inducidas (Arriaga *et al.* 2005): estimación de propiedades.
- 2005 Estimación de la densidad con arranque de tornillo (Casado *et al.* 2005).
- 2006 Estimación de propiedades en madera de especies tropicales aserrada en España. (Arriaga *et al.* 2006; Íñiguez *et al.* 2006).
- 2007 Estimación de propiedades de madera en rollo (Hermoso *et al.* 2007b).
- 2007 Estimación de propiedades madera nueva de gran escuadría (Íñiguez 2007).
- 2007 Estimación de densidad con penetrómetro (Bobadilla *et al.* 2007).
- 2008 Metodología para la evaluación de estructuras existentes (Palaia *et al.* 2008).
- 2009 Uso del georradar en análisis de estructuras (Rodríguez-Abad 2009).
- 2011 Evaluación de puentes mediante vibración (Baño *et al.* 2011).
- 2011 Termográfica infrarroja para detección de singularidades (Rodríguez-Liñán *et al.* 2011).
- 2012 Estimación de la densidad mediante extracción de testigo (Montón 2012).
- 2012 Estimación de propiedades en Castaño (Vega *et al.* 2012).
- 2013 Estimación de la densidad mediante extracción de viruta (Bobadilla *et al.* 2013).
- 2015 Influencia de la luna sobre la velocidad de las ondas de impacto (Íñiguez *et al.* 2015a).

Además, en la tabla 3.1 se muestra una relación de los coeficientes de determinación obtenidos en la estimación de propiedades físico-mecánicas mediante TND, en varias tesis doctorales españolas.

Tabla 3.1 Coeficientes de determinación de tesis doctorales españolas

Estimada	Variable 1	Variable 2 (+3)	R ² (%)	Especie	Autor
Den	Tiempo BPV	-	16	pinaster	Martínez 1992
	P. penetración	-	59	radiata, silvestre, laricio	Íñiguez 2007
	F. arranque	-	64		
	P. penetración	-	31	radiata	Montón 2012
	F. arranque	-	53		
	Extracción de testigo	-	88		
	P. penetración	-	32	silvestre	Montero 2013
	F. arranque	-	33		
Eloc	Edin BPV	-	53	pinaster	Martínez 1992
	Vel BPV	-	34	silvestre	Rubio 1997
	Edin BPV	-	60		
	Vel Syl	-	51	laricio	Conde 2003
Eglo	Vel BPV		40 (mld)	roble	Riesco 2001
	Vel Syl/BPV	-	35 53 (18h)	silvestre, pinaster	Esteban 2003
	Edin Syl/BPV	-	40		
	Vel Syl	-	53	radiata, silvestre, laricio	Íñiguez 2007
	Vel PLG	-	52		
	Edin Syl	-	74		
	Edin PLG	-	76		
	Vel Syl	-	72	radiata	Montón 2012
	Vel MST	-	70		
	Vel PLG	-	73		
	Edin Syl	-	82		
	Edin MST	-	78		
	Edin PLG	-	85		
	Edin PLG (t)	-	86		
	Vel Syl	-	39	silvestre	Montero 2013
	Vel MST	-	39		
	Vel PLG	-	46		
	Edin Syl	-	56		
	Edin MST	-	54		
	Edin PLG	-	63		
	Edin PLG (t)	-	45		
	Vel Syl	-	55	castaño	Vega 2013
	Vel MST	-	53		
	Vel PLG	-	60		
	Vel HM200	-	56		
	Edin Syl	-	71		
	Edin MST	-	56		
	Edin PLG	-	78		
	Edin HM200	-	70		
	Vel Syl	Den glo	71		
	Vel PLG	Den glo + L	74		

Tabla 3.1 Coeficientes de determinación de tesis doctorales españolas (continuación)

Estimada	Variable 1	Variable 2 (+3)	R ² (%)	Especie	Autor
Trot	Vel BPV	-	66	silvestre	Rubio 1997
	Vel Syl	-	34	silvestre	Hermoso 2001
	Edin Syl	-	38		
	Vel Syl	N (Dcar) + N (Dcto)	45		
	Vel Syl/BPV	-	10	silvestre, pinaster	Esteban 2003
	Edin Syl/BPV	-	22		
	Vel Syl	-	50	radiata, silvestre, laricio	Íñiguez 2007
	Vel PLG	-	53		
	Edin Syl	-	60		
	Edin PLG	-	65		
	Edin Syl	N (CKDR)	66		
	Edin PLG	N (CKDR)	68	radiata	Montón 2012
	Vel Syl	-	25		
	Vel MST	-	26		
	Vel PLG	-	31		
	Edin Syl	-	40		
	Edin MST	-	40		
	Edin PLG	-	47		
	Edin PLG (t)	-	50		
	Edin Syl	N (CKDR)	46		
	Edin MST	N (CKDR)	46		
	Edin PLG	N (CKDR)	51		
	Edin PLG (t)	N (CKDR)	54		
	Vel Syl	-	23	silvestre	Montero 2013
	Vel MST	-	17		
	Vel PLG	-	30		
	Edin Syl	-	31		
	Edin MST	-	22		
	Edin PLG	-	37		
	Edin PLG (t)	-	26		
	Vel Syl	-	11	castaño	Vega 2013
	Vel MST	-	8		
	Vel PLG	-	15		
	Vel HM200	-	11		
	Edin Syl	-	14		
	Edin MST	-	8		
	Edin PLG	-	20		
	Edin HM200	-	15		
	Edin Syl	N (CKDR)	13		
	Edin PLG	N (k _n) + L	33		

Si no se especifica lo contrario, las mediciones fueron realizadas en dirección longitudinal

(mld)=madera libre de defectos

(18h)=lectura directa (caras opuestas) a una distancia de 18h

(t) medición en dirección transversal

L=longitud/N=criterios de nudosidad

3.2 FACTORES QUE AFECTAN A LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

A pesar de que es relativamente fácil el uso de las técnicas no destructivas en madera, es importante reseñar que diversos factores afectan a los parámetros de medida.

Estos factores se pueden dividir dentro de dos grandes grupos:

Factores que son consecuencia directa de las propiedades de la madera, como: el tamaño de los nudos, la desviación de la fibra o el contenido de humedad.

Otros factores son consecuencia del ensayo realizado o del equipo utilizado, como: acoplamiento de los sensores, dimensiones y forma de la pieza.

La evaluación de la influencia de estos factores tanto en las propiedades, mecánicas como en las técnicas no destructivas, fue estudiada desde hace años en repetidas ocasiones (Kollmann y Krech 1960; James 1961; Bucur 1980; Gerhards 1982a; Sandoz 1991; Bucur y Böhnke 1994; Moreno-Chan 2007; Arriaga *et al.* 2009; Wang 2013).

En los siguientes subapartados se abordaron los factores que se consideraron más relevantes.

3.2.1 Contenido de humedad de la madera

Existen varios estudios sobre el efecto del contenido de humedad en las ondas ultrasónicas (Sandoz 1993; Mishiro 1995), y otros que propusieron factores de corrección para ultrasonidos y vibraciones inducidas (Chevandier y Wertheim 1848; Sandoz 1989; Unterwieser y Schickhofer 2010).

La primera referencia de corrección por CH aplicada a la velocidad de vibración longitudinal es de 1848, en la cual se presentaron coeficientes de corrección para 14 especies diferentes, variando dichos coeficientes entre 0,50% de variación por cada grado de humedad para fresno, hasta 1,30% de variación para pino silvestre, siendo 0,80% para abeto (Chevandier y Wertheim 1848).

Por debajo del PSF, la velocidad de las ondas ultrasónicas en dirección paralela a la fibra disminuye drásticamente con el aumento del CH. Sin embargo por encima del PSF apenas presenta variación alguna o ésta es despreciable (Sakai *et al.* 1990; Rodríguez-Liñán y Rubio 2000; Kang y Booker 2002; Oliveira *et al.* 2005; Bucur 2006; Gonçalves y Leme 2008).

Otros autores (Sandoz 1993), estimaron en 8 veces superior esa disminución de velocidad cuando se encontraban por debajo del PSF en relación a situaciones por encima del PSF.

Dicha influencia fue similar en el caso de las ondas de impacto (Wang 2008). El Wood Handbook (USDA 2010), definió el CH a partir del cual se produce este

cambio de tendencia. Nombrándolo punto de intersección del CH, dado que fue ligeramente inferior al PSF.

Un estudio realizado con ondas de impacto sobre madera de coníferas y frondosas concluyó que la velocidad de las ondas decrece con el incremento del CH, sin embargo, la magnitud de dicho efecto fue diferente en coníferas que en frondosas (Matthews *et al.* 1994).

Varios factores de corrección fueron propuestos por diversos autores, considerando como CH de referencia el 12%:

Para el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V y picea (figura 3.15), se produjo un descenso de la velocidad aproximado del 0,80% por cada incremento de un 1% en el CH, para el rango entre 5% y 30% de CH (Sandoz 1989).

Figura 3.15 Mediciones con Steinkamp BP-V (fuente Sandoz 1989)

Para la velocidad de ondas ultrasónicas, obtenida con el equipo Sylvatest, en picea, se produjo un descenso en la velocidad de 0,53% por cada incremento de un 1% del CH, para un CH por debajo del 28% (Steiger 1996).

Para el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V y pino silvestre de procedencia española, se produjo un descenso de la velocidad en sentido longitudinal aproximado del 0,70%, y en sentido transversal de 1,16%, por cada incremento de un 1% en el CH, para el rango entre 12% y 28% de CH (Rodríguez-Liñán y Rubio 2000).

Para el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP7, equipado con sensores de 45 kHz y pino paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.), se propuso una ecuación de corrección, de la cual se obtuvo un descenso de la velocidad de las ondas de 0,45% por cada incremento de 1% en el CH, para un CH por debajo del PSF (Gonçalves y Leme 2008).

Para el equipo de ultrasonidos Sylvatest y el equipo de vibraciones inducidas ViSCAN sobre picea, se produjo un descenso de 0,60% en la velocidad de ondas y de 0,83% en el módulo de elasticidad dinámico, por cada incremento de 1% en el CH, para un CH inferior al 28% (Unterwieser y Schickhofer 2010).

Un estudio realizado sobre 36 piezas de pino radiata de dimensiones 55x80x1050 mm con el equipo de vibraciones inducidas WoodSpec, en un rango CH entre 17% y 159%, concluyó que la velocidad obtenida de la frecuencia aumenta de manera lineal a un ritmo de 32 m/s por cada disminución de 1% en el CH por debajo del PSF (sin afectarle la temperatura). En el caso de CH por encima del PSF, el aumento de velocidad fue menor, en torno a 10 m/s para madera a temperatura por encima de 0°C, y 3 m/s para madera congelada. En este caso la temperatura tuvo un efecto combinado con el CH (Moreno-Chan *et al.* 2010).

Sobre la especie de procedencia española pino silvestre se realizó un estudio sobre 26 piezas de gran escuadría (100x150x3000 mm), haciendo uso de 3 equipos no destructivos: Sylvatest Trio, MST y PLG. Concluyendo que en el rango de CH entre 11,8% y 21,4%, por cada descenso del 1% en el CH, la velocidad de la onda aumentaba 0,48% en Sylvatest Trio, 0,50% en MST y 0,65% en PLG (Montero *et al.* 2015).

En un estudio sobre 200 piezas de castaño de tamaño estructural (80x80x2500 mm), se realizaron ensayos con el equipo de vibración longitudinal ViSCAN. Obteniendo un coeficiente de corrección del Edin de 0,58%, por cada 1% de variación del CH, en el rango entre 12% y 33% de CH (Nocetti *et al.* 2015).

Existen menos estudios sobre la influencia de la humedad en las técnicas no destructivas puntuales.

El Pilodyn es un equipo de origen sueco, y si bien el equipo estándar final se estableció en 6 Julios y varilla de 2,5 mm de diámetro, se hicieron prototipos a 9, 12 y 18 Julios, con diferentes diámetros de varilla. En un estudio realizado con dichos equipos sobre las especies: picea, pino silvestre y haya, se obtuvo un incremento de penetración entre el 1% y 2% por cada aumento de un 1% del CH, en el rango entre el 8% y el 24% de CH, siendo dicha variación mucho menor por encima del 30% de CH (Hoffmeyer 1978).

En un estudio posterior realizado con los equipos Pilodyn 6J y Pilodyn 18J sobre 106 probetas de dimensiones 50x50x50 mm de pino Oregón a diferentes CH, se establecieron dos zonas con diferente comportamiento, por debajo y por encima del PSF (figura 3.16). Una zona con comportamiento lineal en el rango entre 6% y 30% de CH, en la cual a mayor humedad mayor penetración, aumentando 0,19 mm en el caso de Pilodyn 6J y 0,26 mm en el caso de Pilodyn 18J, por cada punto de humedad, sin embargo, en la zona comprendida por encima de 30% de CH no se aprecia influencia estadísticamente significativa de la humedad (Smith y Morrell 1986).

Figura 3.16 Influencia del CH en la profundidad de penetración (fuente Smith y Morrell 1986)

Otro estudio realizado con Pilodyn 6J Forest sobre píceas concluyó que se produjo un incremento en la penetración de 0,73 % por cada aumento de un 1% en el CH, en el rango entre 12% y 21% de CH (Görlacher 1987).

Un estudio fue realizado sobre pino radiata, silvestre y laricio con el equipo Pilodyn 6J Forest (Calderon 2012). En él se concluyó, que si bien se apreció una pequeña variación de penetración con la variación de CH en el rango entre 8% y 18%, quedó oculta tras la variabilidad de las mediciones, descartando por tanto la propuesta de un coeficiente de corrección. Sin embargo en el caso del equipo de arranque de tornillo SWRM, sí se apreció de forma clara un aumento de la resistencia de arranque a medida que disminuye el CH, presentando ecuaciones de corrección de 2º orden para cada especie estudiada en el rango entre 8% y 18% de CH.

Algunos autores citaron la gran sensibilidad que presenta el arranque de tornillo a la humedad (McLain 1997).

Hace más de 80 años, se realizó un estudio de arranque de tornillo sobre arce duro (*Acer saccharum* Marsh.), haya americana (*Fagus grandifolia* Ehrh.), abedul amarillo de Canadá (*Betula lutea* Mirchx.), fresno americano (*Fraxinus nigra* Marsh.), pino rojo de Canadá (*Pinus resinosa* Sol. ex Ait.), picea roja (*Picea rubra* Link.), hemlock oriental (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.), pino Weymouth (*Pinus strobus* L.) y tilo americano (*Tilia glabra* Vent.). Concluyendo, que la fuerza necesaria para arrancar un tornillo en condiciones de madera seca, al 7% de CH, era por término medio un 50% más alta que por encima del PSF, encontrando amplias diferencias entre especies. El mayor incremento de fuerza era del 71% para la especie arce duro, y el menor del 23% en pino Weymouth (Cockrell 1933).

3.2.2 Temperatura de la madera

Si bien se encontraron abundantes estudios sobre la influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas y productos de madera (Gerhards 1982b;

Sonderegger y Niemz 2006; USDA 2010; Szmutku *et al.* 2013), fueron más escasos los que tratan de la influencia de dicho parámetro en las TND.

La influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas y en la velocidad de propagación de ultrasonidos fue bastante menos significativa que la del contenido de humedad (Launay y Gilletta 1988; Pellerin y Ross 2002; Bucur 2006).

La velocidad de ondas ultrasónicas se incrementó linealmente al disminuir la temperatura, en el rango comprendido entre menos 50°C y -30°C, con un CH por debajo del PSF (Bucur 2006).

En otros estudios se expuso que dicha velocidad apenas se vio afectada por la variación de temperatura, en el intervalo desde 2,5 °C hasta 35 °C, con un CH próximo al 12% (Gao *et al.* 2011). En dicho trabajo también fue estudiado el efecto por encima y debajo del punto de congelación, observando que no existían diferencias.

El CH puede tener cierta influencia sobre el efecto de la temperatura. La influencia de la temperatura sobre el módulo de elasticidad fue menor cuanto menor era el CH (Niemz 1993; Green y Evans 2008). El mismo efecto se produjo sobre la velocidad de las ondas ultrasónicas (Sandoz 1993).

Un estudio realizado con ondas de impacto sobre madera de coníferas y frondosas concluyó, que la velocidad de las ondas decrecía de forma lineal con el incremento de temperatura. Además, la magnitud de dicho efecto fue similar en coníferas y en frondosas (Matthews *et al.* 1994).

En un estudio realizado sobre tableros (partículas, OSB y MDF), en el rango -40°C a 70 °C, la velocidad de ultrasonidos descendió de forma lineal (Bekhta *et al.* 2002)

Un estudio fue realizado sobre 36 piezas de pino radiata de dimensiones 55x80x1050 mm con el equipo de vibraciones inducidas WoodSpec, en un rango temperaturas entre -71°C y 58°C. Concluyendo que la velocidad de onda disminuía de manera lineal a un ritmo medio de 5,4 m/s, por cada aumento de 1°C por debajo del PSF (sin afectarle el CH). En el caso de CH por encima del PSF, se produjo una disminución abrupta en torno a 0°C, presentando comportamientos lineales diferentes por debajo y encima del PSF. En este último caso la temperatura tuvo un efecto combinado con el CH (Moreno-Chan *et al.* 2010).

Otro estudio sobre influencia de temperatura en la técnica de vibraciones inducidas, fue realizado sobre 5 piezas de pino radiata de sección 1 X 4 pulgadas y 2 m de longitud, al 12% de CH, en un rango de temperaturas entres 10 °C y 100 °C, realizando mediciones a intervalos de 10 °C. El equipo utilizado fue un prototipo de vibración transversal diseñado por los autores del estudio, la viga se encontraba biapoyada en los extremos y uno de los apoyos recogía las oscilaciones de masa al vibrar, obteniéndose la frecuencia. Se apreció una disminución de la frecuencia con

el aumento de temperatura y el Edin se redujo en un 20% a 100 °C con respecto al valor a 10 °C (Cornejo y Baettig 2009).

Las referencias sobre la influencia de la temperatura en las técnicas puntuales son aún más escasas. Un estudio realizado con el equipo Pilodyn 6J Forest, concluyó la ausencia de influencia de la temperatura por encima del punto de congelación, observando un descenso acusado en la profundidad de penetración en el rango de temperaturas entre 0° y -10°C (Cheliak *et al.* 1984).

Algunos autores han propuesto factores de corrección por temperatura:

Para el equipo de ultrasonidos Sylvatest y la especie picea, se produjo un descenso de la velocidad aproximado del 0,08% por cada incremento de un 1°C, para el rango temperatura entre -20°C y 60°C, y con un CH del 12% (Sandoz 1993).

El mismo valor de corrección que Sandoz (1993) fue propuesto por Steiger en el rango entre 20°C y 40°C (Steiger 1996).

3.2.3 Dimensiones de la pieza

Diversos estudios de investigación fueron realizados sobre el efecto de las dimensiones de la sección en las TND. La geometría de la pieza afectó significativamente a la velocidad y al modo de propagación de la onda. (Divos *et al.* 2005).

Bucur presentó los resultados obtenidos sobre probetas de picea de longitud constante 300 mm y una sección inicial de 100x100 mm, las cuales fueron reducidas en altura modificando el ratio espesor-altura desde el inicial hasta 14 (figura 3.17). La velocidad longitudinal de ultrasonidos se vio fuertemente afectada por la relación entre base y altura, obteniéndose la velocidad máxima de ondas ultrasónicas cuando dicha relación se encontraba entre 1 y 2 (Bucur 1984).

Figura 3.17 Velocidad de ultrasonidos según sección (fuente Bucur 2006)

Wang investigó el efecto de la humedad y de las dimensiones sobre las ondas de impacto y el Edin, obtenido con la velocidad de dichas ondas, en la especie pino Oregón. Para ello se dividieron las probetas en 6 grupos de diferente altura y espesor constante de 51 mm. Éstas se ensayaron con ondas de impacto y ensayo de flexión para determinar el E desde condiciones de humedad en verde hasta una CH próximo al 12%. No fueron encontradas diferencias significativas, a ningún valor de CH, debidas a la variación de altura (Wang 2008).

Otro estudio fue realizado sobre 119 piezas de dimensiones 30x30x90 mm de pino amarillo del sur y 244 piezas de dimensiones 50x50x150 mm de eucalyptus saligna (*Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maid.). Realizando mediciones con el equipo de ultrasonidos Epoch 4, usando diferentes frecuencias en el rango desde 25 kHz hasta 1000 kHz. Se concluyó que para frecuencias superiores a 500 kHz, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes dimensiones (Trinca y Gonçalves 2009).

El efecto de la longitud de la pieza en la velocidad de ondas ultrasónicas fue también estudiado por varios autores.

Oliveira investigó la variación de la velocidad de onda ultrasónica, de 22 kHz de frecuencia nominal (UNE-EN 1330-4:2010), en piezas de madera estructural de sección 50x120 mm de 4 especies diferentes: pino del Caribe, eucalipto aromático (*Eucalyptus citriodora* Hook.), eucalyptus saligna (*Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maid.) y jatoba (*Hymenaea courbaril* L.), con longitudes comprendidas entre 0,1 m y 3 m. Se encontró un claro efecto de la relación longitud de pieza y longitud de onda (L/λ) cuando dicha relación se encontraba por debajo de 3, sin embargo la velocidad permanecía constante por encima de 3 (Oliveira *et al.* 2006). Por lo tanto en función de la frecuencia utilizada (que es la que determina la longitud de onda), se debe especificar una longitud mínima de la pieza. Dicha limitación está incluida en la norma brasileña de clasificación mediante ultrasonidos (NBR 15521), en cuya tabla número 1 vienen definidas las longitudes mínimas de las piezas en función de las frecuencias utilizadas.

Otro estudio, realizado en la misma línea que el anterior, utilizó el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP7, con sensores de frecuencia nominal 45 kHz, en la especie eucalipto (*Eucalyptus spp.*). Se concluyó que era posible el uso de ultrasonidos cuando la relación entre longitud de la pieza y la longitud de onda es superior a 5, para evitar los fenómenos de dispersión que afectaban de manera importante a la velocidad de las ondas por debajo de dicho valor (Bartholomeu *et al.* 2003).

Un estudio fue realizado sobre haya con piezas de secciones 10x10 mm, 20x20 mm, 30x30 mm y 40x40 mm, las cuales fueron reducidas en longitud sucesivamente desde 600 mm hasta 25 mm. Concluyendo que la velocidad de onda

ultrasónica era más o menos constante cuando la relación entre longitud de la pieza y longitud de onda se encontraba entre 20 y 40 (Bucur 1984).

En España, existen estudios como el realizado con el equipo Sylvatest Duo, sobre 161 piezas de elondo con 2 secciones 80x80 mm y 200x250 mm y longitudes comprendidas entre 1,6 y 7,1 m. Se concluyó que la longitud tenía una influencia en el tiempo de la onda ultrasónica mucho mayor que la sección. En el rango de longitudes estudiadas la velocidad decrecía 83 m/s por cada metro que se incrementaba la longitud (Arriaga *et al.* 2006).

La influencia de la longitud y la nudosidad fue estudiada sobre 40 piezas (20 con nudos y 20 sin nudos) de la especie pino silvestre, haciendo uso del equipo Sylvatest Duo. Las piezas presentaban una sección de 45x145 mm y una longitud inicial de 4,4 m, la cual se fue reduciendo 1,1 m de cada vez hasta alcanzar la longitud de 1,1 m. En el rango entre 4,4 y 1,1 m la velocidad de onda ultrasónica aumentaba 83 m/s en la madera con nudos y 68 m/s en la madera sin nudos, por cada metro que disminuía la longitud (Íñiguez *et al.* 2007).

Diversas piezas de pequeña escuadría, al 12% de CH, de diferentes especies de procedencia española: 14 de pino radiata, 12 de silvestre y 16 de pinaster, fueron medidas longitudinalmente mediante el uso del equipo de ultrasonidos Sylvatest. Partiendo de una longitud aproximada de 3,5 m, se fue recortando sucesivamente 0,1 m de longitud, hasta llegar a 0,5 m. Concluyendo que la velocidad de la onda ultrasónica aumentaba 182 m/s en pino radiata, 120 m/s en pino silvestre y 109 m/s en pino pinaster, por cada metro que disminuía la longitud de la pieza. Proponiendo una ecuación de corrección de la velocidad para cada una de las especies en función de la longitud, estableciendo como longitud de referencia 0 m (Acuña *et al.* 2007).

Basándose en datos de estudios anteriores (Íñiguez 2007), se propuso una ecuación de corrección por longitud para cada una de las especies estudiadas pino silvestre y laricio, estableciendo como longitud de referencia 3,6 m (Arriaga *et al.* 2009).

No solo existen estudios sobre madera aserrada, en 2002 apareció un estudio sobre la influencia de las dimensiones en los ultrasonidos, realizado sobre 3 tipos de tableros (partículas, OSB y MDF) y haciendo uso de 3 frecuencias diferente 50, 100 y 200 kHz. Concluyendo que el espesor afectaba a la velocidad de onda ultrasónica para cualquiera de las frecuencias estudiadas (Bekhta *et al.* 2002)

En el caso de equipos de vibraciones inducidas, la frecuencia de resonancia de una pieza está influenciada por las dimensiones de la pieza. A este respecto se encontraron dos estudios realizados, con el equipo PLG, sobre especies de procedencia española, con el objeto de obtener coeficientes de corrección por sección en la estimación del E usando el Edin (PLG posee por defecto un coeficiente empírico de 0,92: $E=0,92 \times E_{din}$).

El primero de dichos estudios fue realizado sobre 490 piezas de 5 secciones diferentes (50x100, 40x150, 50x150, 70x150 y 70x200 mm), de pino pinaster de procedencia Galicia. Obteniendo coeficientes más bajos que el genérico para la sección pequeña 50x100 mm, lo cual significaba que el PLG sobreestimaba el material en secciones pequeñas, y coeficientes más altos en la sección mayor 70x200 mm (Carballo *et al.* 2007b).

El segundo estudio se realizó sobre 322 vigas de 3 secciones diferentes (50x150, 80x150 y 100x200 mm), de chopo canadiense de procedencia Castilla y León. Obteniendo coeficientes más bajos que el genérico para las secciones más pequeñas (50x150 y 80x150 mm), con el consiguiente problema de sobreestimación del material (Casado *et al.* 2010).

3.2.4 Ángulo y posición de los sensores

Si bien lo deseable sería colocar los sensores en dirección longitudinal a la fibra, procedimiento habitualmente empleado en madera nueva, no siempre es posible. De hecho en la mayoría de la estructuras existentes no es posible tener acceso a las testas, debiendo colocar los sensores en las caras o cantos de las piezas a evaluar, lo cual puede influir en la medida. Además, en algunas ocasiones ni siquiera se tiene acceso a varias caras, como en viguetas de forjado o pilares embebidos, debiendo colocar ambos sensores en la misma cara o canto; a pesar de que en este caso se obtendrá la medida paralela a la fibra, esta medida será diferente a la realizada colocando los sensores en las testas.

El ángulo de desviación de la fibra es importante cuando la madera es usada con fines estructurales. La desviación de la fibra puede ser macroscópicamente determinada mediante la medición de la orientación de su proyección en las caras de las piezas (Piazza y Riggio 2008).

Ya en el año 1921, existía un estudio que trataba sobre la influencia del ángulo de desviación de la fibra sobre las propiedades elastomecánicas, enunciando la fórmula de Hankinson. Mediante dicha expresión podía obtenerse el valor de la propiedad estudiada para cualquier ángulo, conocidos dichos valores para la dirección paralela y perpendicular a la dirección de la fibra (Hankinson 1921). Anteriormente ya habían sido enunciadas fórmulas para corregir por ángulo, en 1842 Hagen propuso una para corregir el E similar a la de Hankinson, pero con las funciones elevadas al cubo (Hearmon 1948).

Sobre el efecto del ángulo de desviación de la fibra sobre las ondas de impacto, se realizó un trabajo sobre 5 piezas de pino Oregón, de dimensiones 50x200x2400 mm, libre de nudos. Dichas piezas fueron posteriormente reducidas en sección a 50x100 mm, usando la fórmula enunciada por March (March 1944) para calcular la influencia del ángulo, conocidos los valores de la dirección paralela y perpendicular a la fibra (Gerhards 1980). Además, se mencionó que la relación entre la velocidad

longitudinal y perpendicular a la fibra es alrededor de 3. Concretando en otro estudio el valor de dicha relación en 2,7 (Gerhards 1982a).

Se realizaron mediciones sobre 4 tablas de cada una de las 5 especies estudiadas, con ondas de impacto y un osciloscopio, cada 15° entre 0° y 90°, para determinar la influencia del ángulo. Encontrando que la velocidad transversal era aproximadamente un 30% de la longitudinal (figura 3.18). Además, comparando las 2 ecuaciones de segundo orden parabólica e hiperbólica, con los resultados obtenidos mediante la ecuación de Hankinson, únicamente cuando el coeficiente de las funciones era 1,7 en la ecuación de Hankinson, los errores cometidos fueron ligeramente inferiores a los de las funciones de segundo grado propuestas (Armstrong *et al.* 1991).

Figura 3.18 Influencia del ángulo en la velocidad (fuente Armstrong *et al.* 1991)

Se realizó un estudio sobre 5 especies de coníferas y 5 de frondosas de procedencia Chile, haciendo uso de 100 probetas libres de defectos de cada especie, realizando ensayos de ultrasonidos con Sylvatest en dirección paralela y perpendicular a la fibra. Concluyendo que la relación entre ambas velocidades oscilaba entre 2,6 en el caso de las coníferas y 3,6 para las frondosas (Niemz *et al.* 1994).

Otro estudio realizado con Steinkamp BP-V, con sensores cónicos de 50 kHz, en pino silvestre de procedencia española, presentó un valor de 2,9 de media entre las medidas radial y tangencial. Además, se estableció que la relación entre la velocidad longitudinal testa-testa y la longitudinal entre caras opuestas era de 1,19 en unos casos y 1,59 en otros (Rodríguez-Liñán y Rubio 1995).

En piezas de gran escuadría, de diferentes especies, procedentes de estructuras existentes, fueron realizadas medidas con ultrasonidos haciendo uso de los equipos Steinkamp BP-V y Sylvatest Duo, en dirección paralela a la fibra, y con diversos

ángulos respecto a la fibra. Concluyendo que la velocidad en dirección paralela a la fibra era 4 veces mayor que en dirección perpendicular. Además, no se encontraron influencias significativas en la velocidad para ángulos con respecto a la fibra hasta 7° (Esteban 2003).

Mediante el uso del equipo Sylvatest Duo, se dedujo una relación entre velocidad longitudinal y perpendicular a la fibra de 2,7 para pino radiata, un valor de 3 para pino silvestre y 2,5 para pino pinaster, todas ellas de procedencia española (Íñiguez *et al.* 2009).

El efecto no es exactamente el mismo en cada especie, aunque si parecido. Un estudio fue realizado sobre 20 piezas de dimensiones 20x20x200 mm de picea y haya, con el equipo de ultrasonidos Steinkamp BP-V, y con diferentes ángulos respecto a la fibra (0, 15, 30, 45, 60 y 90 grados). Concluyendo que los valores de velocidad se redujeron en los 10 primeros grados al 80% del valor inicial en picea y al 85% en haya, los valores siguieron reduciéndose al aumentar el ángulo pero más lentamente (Niemz *et al.* 1999).

Diversas piezas de pequeña escuadría, al 12% de CH, de diferentes especies: 32 de pino radiata, 30 de pino silvestre, 42 de pino pinaster, 12 de haya y 8 de iroko (*Milicia excelsa* (Welw.) C. C. Berg), fueron estudiadas mediante el uso de Sylvatest. Situando los sensores en caras opuestas, partiendo de la posición en la que estaban totalmente enfrentados, el eje que une los sensores forma 90 grados con la dirección longitudinal (suponiendo que la dirección longitudinal de las fibras coincide con la de la pieza), dejando uno de los sensores fijo, se fue situando el otro cada vez a mayor distancia, de manera que el ángulo que formaban se fuera reduciendo, hasta aproximarse a 0 grados. Obteniendo una clara tendencia ascendente de la velocidad de la onda con la disminución del ángulo. Proponiendo una ecuación de 2° orden de corrección de la velocidad para cada especie estudiada en función del ángulo, estableciendo como ángulo de referencia 0 grados (Acuña *et al.* 2007).

Un estudio fue realizado sobre 80 piezas de pino radiata, de dimensiones 150x200x4000 mm, en las cuales se realizaron mediciones con Sylvatest Duo tanto en las testas, como entre caras opuestas, como en la misma cara. Concluyendo que la velocidad en el caso de caras opuestas decrecía un 1%, por cada grado que aumenta el ángulo que forman los sensores con la dirección longitudinal de la pieza. Se propuso una ecuación de corrección de la velocidad en función del ángulo. Asimismo, en el caso de la medición en la misma cara, se apreció un valor de velocidad un 3% menor que la obtenida en la dirección longitudinal (Arriaga *et al.* 2009).

Un estudio fue realizado sobre una única probeta seca de pino silvestre de dimensiones 90x140x4000 mm, midiendo con los equipos de ultrasonidos Sylvatest Duo de 22 kHz y USLab con sensores cónicos de 45 kHz. Concluyendo que las

diferencias observadas entre las velocidades medidas testa-testa y misma cara variaban entre el 1,5% y el 4% (Llana *et al.* 2013).

Un estudio se realizó sobre una única probeta, al 12% de CH, de incienso (*Myrocarpus frondosus* (L.) DC.) de dimensiones 153x500x6950 mm. Se realizaron mediciones con el equipo de ultrasonidos USLab y sensores planos de 3 frecuencias nominales (25, 45 y 80 kHz). Las mediciones se realizaron tanto testa-testa (onda de compresión), como en la misma cara a diferentes distancias (onda superficial). Concluyendo que la relación entre ambas velocidades dependía de la relación entre distancia de medida y longitud de onda (L/λ). Para relaciones entre 3 y 25 aproximadamente, la velocidad en la misma cara era un 10% menor que la testa-testa, por encima del 25 era un 30% menor. Este fenómeno debía estar ligado a la dispersión de onda (Gonçalves *et al.* 2014).

Figura 3.19 Medidas testa-testa e indirectas (fuente Gonçalves *et al.* 2014)

Diversas piezas de gran escuadría de pino silvestre y radiata se estudiaron mediante el uso de MST en dirección longitudinal y entre caras opuestas formando diferentes ángulos con respecto a la dirección longitudinal (desde 3° hasta 75°), proponiendo un modelo de conversión de velocidades entre caras opuestas a velocidades longitudinales en función del ángulo. Además, los ángulos que arrojaron mediciones más precisas estaban comprendidos entre 45° y 75° (Balmori *et al.* 2016).

3.3 HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS

Un ejemplo claro de la necesidad de homogeneización y normalización de las TND es la existencia de normas de clasificación visual que permiten asignar propiedades estructurales, a partir de características visuales, conforme a procedimientos consensuados y validados a nivel internacional. Algunos ejemplos de dichas normas son: las normas españolas UNE 56544 y UNE 56546, la norma alemana DIN 4074, la norma británica BS 4978, la norma francesa NFB 52001, la norma italiana UNI 11035, la norma nórdica INSTA 142, la eslovaca STN 49 1531, las canadienses editadas por NLGA o las estadounidenses editadas por NGRDL, entre otras.

En España la primera norma de clasificación visual de madera estructural apareció en diciembre de 1972 (UNE 56525:1972), en ella se definían 7 calidades visuales diferentes (Extra/100, I/80, II/70, III/60, IV/50, V/40 y VI).

En 1986 apareció como apéndice A de las normas de cálculo de estructuras de madera (Argüelles y Arriaga 1986), una clasificación visual (basada en la norma británica CP112 Part.2) que establecían 4 calidades visuales para madera aserrada (75, 65, 50 y 40) y 3 calidades visuales para la tabla de laminar (LA, LB y LC).

En el año 1997, apareció la norma UNE 56544 con aplicación sobre madera aserrada de las especies de procedencia española: pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), pino gallego y pino pinaster de la meseta (*Pinus pinaster* Ait.), pino insignis (*Pinus radiata* D. Don), chopo (*Populus sp.*) y eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus* Labill.), incluyéndose 2 años después la especie pino laricio (*Pinus nigra* Arn.). Dicha norma se dividió años más tarde en 2 normas diferentes, una aplicada a madera de coníferas (UNE 56544:2003) y otra a frondosas (UNE 56546:2007).

Ante el gran número de normas de clasificación visual de los diferentes países, se realizaron varios intentos por homogeneizar dicha clasificación a nivel europeo.

En los años 70, se propuso redactar una norma de clasificación visual para madera aserrada de coníferas aplicable a todos los países europeos. Cuyo resultado final fue la publicación en 1977 de unas recomendaciones para la madera de escuadrías iguales o superiores a 38x63 mm de sección, estableciendo las calidades visuales S10, S8 y S6. Además, se establecieron 3 calidades MS10, MS8 y MS6 para la clasificación mediante máquina (E.C.E. 1977).

En 1995, se publicaron las normas EN 518 y EN 519, que establecieron los requisitos mínimos que debían recoger las normas de clasificación visual y por máquina, respectivamente, de los distintos países. Si bien se permitía a cada país la libertad de elaborar su propia norma.

En el año 2005, se publicó la norma EN 14081, que derogaba las normas EN 518 y EN 519, y en sus 4 partes ahondó más en los requisitos de clasificación visual y mediante máquina. En 2016 se publicó una nueva versión de la norma EN 14081-1.

En cuanto a la clasificación de madera en rollo, además de la parte 2 de la norma alemana DIN 4074, existe un proyecto de norma europea prEN 14544 del año 2006.

Para homogeneizar e intercomparar las propiedades estructurales de las calidades visuales asignadas por las normas de cada país, la norma EN 1912 establece una relación entre dichas calidades visuales y las clases resistentes definidas en la norma EN 338. En las primeras versiones de la norma EN 1912 aparecían no solo calidades visuales de normas europeas, sino también de normas estadounidenses y

canadienses, ciñéndose únicamente a clasificaciones visuales europeas en las últimas versiones.

La necesidad de regular el uso de las TND, diferentes a la clasificación visual, fue sugerido tanto por usuarios finales como por investigadores sobre esta materia (Íñiguez 2007; Carballo *et al.* 2009a; De Visser y Galligan 2011).

En cuanto a la existencia de normas sobre TND, basadas en métodos acústicos o vibraciones inducidas, existe la norma estadounidense ASTM D 6874-03 que indica un procedimiento para el uso de técnicas basadas en vibraciones transversales.

Además, fue publicada una norma brasileña en el año 2007 que regula el uso de TND basada en la velocidad de ultrasonidos para la clasificación mecánica de madera aserrada de dicotiledóneas (NBR 15521).

Otros intentos de normalización son, por ejemplo, las normas para inspección de estructuras *in situ*, que establecen protocolos a seguir como, por ejemplo, la norma italiana UNI 11119.

Un estudio del año 2004, expuso una metodología a seguir en el uso de equipos no destructivos, basados en ondas acústicas, para la detección de pudrición (Wang *et al.* 2004b).

En el año 2009, se propuso una metodología para la inspección de estructuras existentes, haciendo uso de equipos no destructivos (Sylvatest Duo, Pilodyn 6J Forest y SWRM) (Arriaga *et al.* 2009).

Además, existe una norma europea de homogeneización de la terminología empleada en los ensayos no destructivos (EN 1330), compuesta por varias partes dedicadas a cada tipo de ensayos. La parte 4 está dedicada exclusivamente a términos utilizados en ensayos por ultrasonidos y la parte 10 a la inspección visual.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 EQUIPO HUMANO

En el presente trabajo de investigación participó personal del “Grupo de Investigación Construcción con Madera” perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid. Compuesto, entre otros, por los siguientes miembros: D. Francisco Arriaga Martitegui (C.U.), D. Miguel Esteban Herrero (P.T.U.), D. Guillermo Íñiguez González (P.C.D.), D. Ignacio Bobadilla Maldonado (P.T.E.U.), D.^a María José Montero García-Andrade (Estudiante de Doctorado), D. Roberto Diego Martínez López (Estudiante de Doctorado) y D.^a Beatriz Palancar Hermosilla (PAS).

Además, los siguientes alumnos de último curso de la titulación de Ingeniero de Montes de la ETSI de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, colaboraron de forma activa en parte de los ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de Madera del CIFOR-INIA: D.^a Henar Rabadán Perucha, D.^a Sara Teresa Izquierdo García y D. Víctor Maynou Gómez.

La parte experimental de la presente tesis doctoral fue realizada en el Laboratorio de Estructuras de Madera del CIFOR-INIA, con número de acreditación de ENAC 616/LE1383, según criterios recogidos en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025. Situado en el km 7,5 de la carretera de La Coruña, en Madrid. Durante el periodo de realización de los ensayos el equipo humano estuvo compuesto por: D.^a Eva Hermoso Prieto (Directora Técnica de Laboratorio), D. Juan Carlos Cabrero Rojo (Jefe de Calidad), D. Modesto Rafael Díez Barra (Investigador), D. José Luis García de Ceca (Investigador), D. Ramón García Lombardero (Técnico de Laboratorio), D. Emilio Camacho de la Torre (Carpintero) y D. Enrique Garriga García (Técnico Superior de Investigación y Laboratorio).

4.2 EQUIPO MATERIAL

4.2.1 Material auxiliar

El material auxiliar empleado tanto en la selección del material de ensayo en aserradero, como en fase de laboratorio, consistió en:

- Alargaderas eléctricas de varias longitudes y secciones.
- Atornillador de batería Bosch, modelo PSR 7,2 LI, para introducir el tornillo a extraer y para colocar tornillos para perchas en ensayo EN 408.
- Brochas, para el sellado de testas.
- Cámara fotográfica digital Casio EX-ZR 10.
- Cargador de pilas espacial Tecxus, modelo TC 6000 family, para recargar las pilas de los equipos.
- Carros de madera de diferentes tamaños, para transportar e introducir las piezas en la máquina universal de ensayo.
- Cepilladora de una cara FORMAT 4, modelo Dual 51, para el cepillado de piezas.
- Escuadras de carpintero de diversos tamaños, para realizar marcas en las piezas de ensayo.
- Flexómetros de 5 y 8 m de longitud con resolución 1,0 mm y clase II, para medir las dimensiones de la piezas.
- Galga de espesor 0,2 mm, sin escala, para medir la profundidad de fendas.
- Gatos de diferentes tamaños, para fijar el soporte de madera del arranque de tornillo.
- Martillo de goma y maza de madera, para introducir los sensores del equipo MicroSecond Timer.
- Pintura en aerosol de diferentes colores, para marcar piezas en aserradero.
- Pintura plástica de colores blanco y verde, para sellado de testas.
- Regla milimetrada de 200 mm con resolución 1,0 mm, para la medición de nudos y profundidad de fendas a partir de la galga.
- Sierra circular de mano Atlas Copco, modelo K 66 S, para cortar las piezas.
- Sierra circular de mesa FELDER, modelo K 700, para cortar piezas pequeñas y retestado.
- Taladros de alimentación a red: Casals VT 622 y Bosch GSB 22-2 RCE Professional y taladro/atornillador de batería Makita DF330D, para realizar los orificios para los sensores, para ello se dispone de 2 brocas especiales, una para testas y otras para orificios a 45°.
- Transpaleta eléctrica elevadora ORMIC, modelo V10-35N, utilizada para la descarga y manipulación de piezas.
- Transpaletas hidráulicas, para transporte de palés con piezas de ensayo.
- Trazador, para medir la desviación de la fibra de acuerdo con el método descrito en el sub-apartado 4.4.1 de la norma UNE-EN 1310:1997.

4.2.2 Equipos de medición del contenido de humedad

4.2.2.1 Equipos del método de secado en estufa

El objeto es determinar el contenido de humedad de la madera de acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 13183-1:2002.

El equipo utilizado fue una estufa de secado Dry Big 2002971 (JP Selecta, España) de 288 litros de capacidad, alimentación trifásica, circulación forzada y con rango de temperatura desde 5 °C hasta 250 °C. Calibrada por una entidad certificada por ENAC.

Y una balanza electrónica digital modelo SB 16001 DeltaRange (Mettler Toledo, Suiza), con rango de medida desde 5 g hasta 16100 g. Resolución 0,1 g en el rango 5 g hasta 3199 g, y resolución 1 g en el rango 3200 g hasta 16100 g. Calibrada por una entidad certificada por ENAC.

Ambos equipos pertenecen al CIFOR-INIA.

4.2.2.2 Xilohigrómetro de resistencia eléctrica

El objeto es estimar el contenido de humedad de la madera de acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 13183-2:2002.

El método consiste en introducir 2 electrodos (clavos aislados, clavos desnudos, tirafondos...) hasta una profundidad de 1/3 de la pieza y a una distancia entre ellos de 30 mm. Dicha operación puede realizarse con la maza del propio equipo que también permite retirarlos, o bien con un martillo si van a permanecer fijos en la pieza.

Se mide la resistencia de la madera al paso de una corriente eléctrica, lo cual es proporcional al CH. Por encima del 30% de CH las lecturas cada vez son menos exactas (Gann Hydromette HT 85 T 1993).

El equipo utilizado fue el Hydromette HT 85 T (Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH, Alemania), consistente en una consola alimentada por una pila de 9V, en la cual, antes de realizar la lectura, debe seleccionarse la temperatura ambiente (obtenida con el medidor del equipo) y el factor de especie. Con rango de temperatura ambiente admisible -10 a 60 °C.

Los electrodos utilizados fueron clavos aislados modelo M18-Teflon (Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH, Alemania) de 60 mm de longitud, los cuales fueron introducidos en la cara a 1/3 de profundidad del canto, en la sección central, evitando el contacto con la médula, permaneciendo en la pieza durante todo el tiempo que duró el ensayo y procediendo a su conexión a la consola mediante pinzas para la realización de la medida.

Dicho equipo pertenece al CIFOR-INIA, y los clavos aislados a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

4.2.2.3 Xilohigrómetro capacitivo

El objeto es estimar el contenido de humedad de la madera de acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 13183-3:2006.

Es un método más rápido que el de resistencia eléctrica, pero se alcanza menor profundidad de medida, dado que la medida es superficial. Su uso se restringió a aserradero, realizando un barrido rápido por las piezas recién aserradas, para observar si la distribución del contenido de humedad era homogénea a lo largo de las piezas y así, hacerse una idea preliminar de las diferencias en el contenido de humedad del lote.

El equipo utilizado fue el FMW moisture detector (Brookhuis, Países Bajos). Consistente en una consola alimentada por una pila de 9V, con una zona plana de lectura que debe estar en contacto con la madera y una pantalla donde muestra el CH. Debe introducirse previamente la densidad de la especie a medir y la profundidad a la cual se desea medir, permite una profundidad máxima de lectura de 30 mm.

Dicho equipo pertenece a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

Figura 4.1 Xilohigrómetros de resistencia eléctrica (izquierda) y capacitivo (derecha)

4.2.3 Equipos de ultrasonidos

4.2.3.1 Steinkamp BP-V

El equipo Steinkamp BP-V (BPV) es un equipo portátil de medición del tiempo de transmisión de onda ultrasónica. Diseñado por la empresa UltraTest de Alemania. El equipo está compuesto por dos sensores piezoeléctricos de frecuencia 50 kHz, de punta cónica, uno emisor y otro receptor, conectados mediante cables a una consola, alimentada por batería interna y posibilidad de alimentación a red eléctrica.

El dato obtenido con este equipo es el tiempo de transmisión (μs) de la onda ultrasónica que se propaga por el material. La resolución es de 0,1 μs . Para asegurar un correcto acople entre sensor y madera, es necesario realizar taladros para introducir la punta de los sensores.

El fabricante no recomienda su uso en piezas menores de 40 cm; en longitudes mayores de 5 metros puede que la señal se atenúe tanto que no llegue a recogerla.

Dicho equipo pertenece al CIFOR-INIA.

4.2.3.2 Sylvatest Duo

Es un equipo portátil de medición del tiempo de transmisión de onda ultrasónica. Diseñado por la empresa franco-suiza CBS-CBT. El equipo está compuesto por dos sensores piezoeléctricos de frecuencia 22 kHz, de punta cónica, uno emisor y otro receptor, conectados mediante cables a una consola, alimentada por cuatro pilas AA y posibilidad de alimentación a red eléctrica.

Los datos recogidos son: la media del tiempo de transmisión (μs) de 6 impulsos espaciados 1 s y la media del pico de energía de 5 impulsos (mV). La resolución es de 1 μs para el tiempo de transmisión y 1 mV para el pico de energía. Para asegurar un correcto acople entre sensor y madera es necesario realizar taladros para introducir la punta de los sensores.

El fabricante no recomienda su uso en piezas de longitud menor a 80 cm; en longitudes mayores de 6 metros puede que la señal se atenúe tanto que no llegue a recogerla; el terminal utilizado en el presente trabajo de investigación se ve altamente influenciado por ruidos y vibraciones ambientales (proximidad de máquinas de carpintería) dando lugar a la ausencia de medida mostrando el mensaje "error".

Dicho equipo pertenece a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

4.2.3.3 USLab

Es un equipo portátil de medición del tiempo de transmisión de onda ultrasónica que puede utilizar sensores de diferentes frecuencias. Diseñado por la empresa Agricef de Brasil. El equipo debe utilizarse con dos sensores piezoeléctricos, uno emisor y otro receptor, conectados mediante cables a una consola, alimentada por batería interna y posibilidad de alimentación a red eléctrica, además presenta salida para conexión de osciloscopio.

El dato recogido es el tiempo de transmisión de onda ultrasónica (μs). La resolución es de $0,1 \mu\text{s}$. Para asegurar un correcto acople entre sensor y madera cuando se utilicen sensores de punta cónica, es necesario realizar taladros para introducir la punta de los sensores, si bien también pueden utilizarse sensores planos con gel de acople. Cada cambio de sensores requiere de una calibración previa del equipo. Los sensores piezoeléctricos utilizados en esta investigación fueron de punta cónica de frecuencia 45 kHz de la empresa UltraTest de Alemania.

Presenta las siguientes limitaciones: la longitud mínima de uso vendrá dada por la frecuencia de los sensores utilizados, para el caso de sensores de 45 kHz podría establecerse aprox. en 30 cm según la norma brasileña NBR 15521; el terminal utilizado en el presente trabajo de investigación se ve ligeramente influenciado por ruidos y vibraciones ambientales (proximidad de máquinas de carpintería), dando lugar a que la medida no se estabilice hasta que cesan dicha interferencias.

Dicho equipo pertenece a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

Figura 4.2 Steinkamp BP-V (izquierda); Sylvatest Duo (centro); USLab (derecha)

4.2.4 Equipos de ondas de impacto

4.2.4.1 MicroSecond Timer

El equipo portátil MicroSecond Timer, conocido por su acrónimo MST, de la empresa Fakopp Enterprise de Hungría, es un equipo de medición del tiempo de transmisión de onda acústica (μs). Compuesto por dos sensores, uno emisor y otro receptor, la punta de los sensores tiene forma de pincho, conectados mediante cables a la consola, la cual se alimenta con una pila de 9V. Para la generación de la onda se requiere un impacto externo sobre el sensor emisor, accionado por el operador mediante un martillo de 100 g de masa, es necesario que el golpe sea limpio y preciso. La resolución es de 1 μs .

A diferencia de los equipos anteriormente citados, el alcance de este equipo es mucho mayor y no requiere ni gel, ni taladro para su acople a la madera.

Dicho equipo pertenece al CIFOR-INIA.

Figura 4.3 MST midiendo entre caras opuestas y detalle del sensor (inferior derecha)

4.2.5 Equipos de vibración

4.2.5.1 Portable Lumber Grader

El equipo portátil Portable Lumber Grader, conocido por su acrónimo PLG, fabricado por la empresa Fakopp Enterprise de Hungría, es un equipo de medición de la frecuencia natural de vibración longitudinal. Está compuesto de los siguientes elementos:

- Balanza de capacidad máxima 125 kg y resolución 10 g.

- Amplificador de señal para la balanza.
- Base de madera acolchada.
- Micrófono unidireccional con una sensibilidad de -56 dB. Con un rango de frecuencias entre 100 y 15000 Hz y temperatura de funcionamiento recomendada entre 5 y 40 °C.
- Martillo de 200 g de masa.
- Programa informático.

El procedimiento de utilización consiste en introducir en el programa informático los datos de dimensiones de la pieza, CH y CKDR. A continuación los extremos de la pieza se colocan sobre la balanza y la base de madera acolchada, esto permite recoger la masa de media pieza y con las dimensiones introducidas previamente obtener la densidad. Se coloca el micrófono cercano a una testa y se golpea con un martillo (de masa entre 0,5 y 3% del peso de la pieza) la misma testa o la opuesta, induciendo la vibración de la pieza. El programa informático mediante la presión sonora recogida en el micrófono y haciendo uso de la transformada rápida de Fourier, obtiene la frecuencia natural del primer modo de vibración longitudinal. El programa nos muestra tanto dicha frecuencia (con resolución 1 Hz) como el Edin y la clase resistente asignada. Si bien este equipo no se encuentra presente en la parte 4 de la norma EN 14081-4:2005 +A3:2008, se encuentra en fase de obtención de los ajustes iniciales de máquina (véase anexo G).

El método presenta la limitación de que la pieza debe estar libre de coacciones para que pueda vibrar libremente.

Dicho equipo pertenece al CIFOR-INIA.

Figura 4.4 PLG y detalle de golpeo (abajo izquierda)

4.2.5.2 Timber Grader MTG

El equipo portátil MTG fabricado por la empresa Brookhuis de los Países Bajos, es un equipo de medición de la frecuencia natural de vibración longitudinal.

Está compuesto de los siguientes elementos:

- Dos balanzas de capacidad máxima 200 kg y resolución 10 g. Temperatura de funcionamiento recomendada entre -10 y 40 °C.
- Amplificador de señal para las balanzas.
- Consola alimentada por batería interna, con percutor interno y acelerómetro de contacto.
- Programa informático.
- Dispositivo USB con antena que permite la conexión inalámbrica entre consola y ordenador.
- Dispositivo USB con licencia del programa.

El procedimiento de utilización consiste, como primer paso, en introducir en el programa informático los datos de especie, dimensiones de la pieza y CH. A continuación los extremos de la pieza se colocan sobre las balanzas, esto permite recoger la masa de la pieza, y con las dimensiones introducidas previamente obtener la densidad. Se coloca la consola en contacto con una de las testas, haciendo presión para asegurar el correcto acoplamiento del acelerómetro con la testa, y apretando el botón, se produce el golpeo con el percutor (cuando el percutor no llegue a inducir una vibración suficiente, se puede utilizar un martillo externo) induciendo la vibración en la pieza. El acelerómetro de contacto recoge la señal, obteniendo la frecuencia natural del primer modo de vibración longitudinal (con resolución 1 Hz). El programa también nos muestra otros datos como Edin y la clase resistente (CR) asignada.

Los ajustes para realizar la clasificación (asignando CR) de varias especies y procedencias, aparecen en la parte 4 de la norma EN 14081-4:2005 +A3:2008 de máquinas de clasificación automática, no apareciendo ajustes de clasificación para ninguna especie de procedencia española.

El método presenta la limitación de que la pieza debe estar libre de coacciones para que pueda vibrar libremente. Además, el equipo no se puede utilizar sin la conexión inalámbrica a ordenador con un radio de alcance máximo de unos 100 m; cuando se requieran balanzas estas deben estar conectadas por cables al ordenador; la consola no puede utilizarse alimentada por red en caso de que se agote la batería; el programa no permite su utilización en piezas de longitud menor a 1,5 m con el percutor interno, y cuando se usaba un activador externo (martillo) en piezas de menos de 1,5 m, los valores de frecuencia obtenidos en el presente trabajo fueron erróneos (el doble del valor esperado); el programa selecciona automáticamente el pico del primer modo de vibración longitudinal, cuando aparecen dos picos muy cercanos a veces selecciona uno y a veces el otro.

Dicho equipo pertenece a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

Figura 4.5 Consola del MTG

4.2.6 Equipos de penetración

4.2.6.1 Pilodyn 6J Forest

El equipo portátil Pilodyn 6J Forest de la casa Proceq de Suiza, permite medir la penetración en la madera de una varilla de diámetro 2,5 mm accionada por un resorte con una energía de 6 J. El rango de medida abarca de 0 a 40 mm con resolución de 1 mm.

El procedimiento de ensayo consiste en el cargado del equipo, empujando el muelle con una baqueta hasta que quede enganchado en el disparador, después se coloca el equipo en contacto con la pieza y se acciona el disparador, liberando el muelle, introduciéndose la varilla en la madera. Mediante la lectura en una escala reglada se obtiene la profundidad en mm.

El método presenta la limitación de cualquier equipo de medición puntual, es decir, dependiendo de la posición de lectura, ésta puede influir en la medida (radial, tangencial, albura, duramen).

Dicho equipo pertenece al CIFOR-INIA.

4.2.7 Equipos de arranque de tornillo

4.2.7.1 Screw Withdrawal Resistance Meter

El equipo portátil Screw Withdrawal Resistance Meter (SWRM) de la empresa Fakopp Enterprise de Hungría, es un equipo de medición de la fuerza necesaria para extraer un tornillo de unas características determinadas (en el presente trabajo el tornillo utilizado fue de métrica 4x70, roscado 20 mm en la madera). El equipo se compone de una célula de carga de 5 kN con resolución de 0,01 kN, la cual tiene una garra inferior que permite enganchar la cabeza del tornillo, todo ello va montado en un pórtico con un husillo que manualmente permite extraer el tornillo. La célula de carga se conecta mediante un cable a una consola alimentada por seis pilas AA, la cual muestra la lectura de la fuerza máxima necesaria para el arranque.

La velocidad de arranque para una buena lectura debe ser constante, al tratarse de un equipo manual es difícil asegurar dicha velocidad; requiere experiencia de uso; al ser un equipo de medición puntual tiene la limitación de la posición de lectura.

Dicho equipo pertenece a la Unidad Docente Cálculo de Estructuras de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural de la UPM.

Figura 4.6 SWRM (arriba) y Pilodyn 6J Forest (abajo)

4.2.8 Tabla resumen de técnicas y equipos no destructivos utilizados

Tabla 4.1 Resumen de técnicas y equipos ND utilizados

Técnica	Equipo comercial	Alguna característica
Medición humedad	Hydromette HT 85 T	Xilohigrómetro de resistencia eléctrica
	FMW moisture detector	Xilohigrómetro capacitivo
Ultrasonidos	Steinkamp BP-V	Sensores cónicos 50 kHz
	Sylvatest Duo	Sensores cónicos 22 kHz
	USLab	Sensores cónicos 45 kHz
Ondas sónicas de impacto	MicroSecond Timer (MST)	Sensores en pincho
Vibraciones inducidas	PLG	Receptor micrófono
	MTG	Receptor acelerómetro
Resistencia a la penetración	Pilodyn 6J Forest	Varilla de 2,5 mm
Arranque de tornillo	SWRM	Tornillo 4x70 a 20 mm

4.2.9 Máquina universal de ensayos mecánicos

En el presente estudio fueron utilizadas dos máquinas universales de ensayo mecánico diferentes (propiedad del CIFOR-INIA), ambas de la casa española IBERTEST, en función de la disponibilidad del laboratorio de estructuras de madera.

Ambas están diseñadas para ensayos mecánicos según la norma UNE-EN 408. Los extensómetros utilizados son del tipo LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) de la marca HBM y modelo WA, son de distintos recorridos y calibrados para ser intercambiables entre ambas máquinas. Se han utilizado extensómetros de 10, 20 y 50 mm, de resolución 0,001 mm y escala 1/1. Tanto las células de carga como los extensómetros son sometidos periódicamente a calibración según establece el sistema de calidad del laboratorio (acreditado según ISO 17025 por ENAC).

Como sistema de mando y control cada pórtico dispone de una mesa que incorpora todo el montaje eléctrico, el ordenador que incorpora el programa informático (WINTTEST) y el soporte informático específico (tarjetas específicas para la captación de las señales procedentes de los extensómetros, células de carga y control de maniobras de máquina).

Pórtico PFIB 600/300 W

Pórtico de ensayos polivalente (tipo hidráulico) capacitado para el ensayo a flexión de piezas de directriz recta de hasta 400 mm de anchura y 7500 mm de longitud, con una capacidad de carga máxima de 300 kN. El equipo posee también los elementos necesarios para llevar a cabo ensayos de compresión, cizalladura y/o tracción hasta una capacidad máxima de carga de 600 kN (MO-LM-01 2003).

Dispone de dos células de carga intercambiables de 100 y 600 kN, resolución de 0,01 kN y posibilidad de dos escalas de trabajo, 1/1 y 1/5.

Pórtico PELFIB-150-W

Pórtico de ensayos polivalente (tipo electromecánico) capacitado para el ensayo a flexión de piezas de directriz recta de hasta 400 mm de anchura y 7200 mm de longitud, con una capacidad de carga máxima de 150 kN. El equipo posee también los elementos necesarios para llevar a cabo ensayos de compresión, cizalladura y/o tracción (MO-LM-11 1995).

Dispone de dos células de carga intercambiables de 50 y 150 kN, resolución de 0,01 kN.

4.3 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA Y ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES

4.3.1 Planteamiento general

Para el estudio de la influencia del contenido de humedad en las TND se utilizaron un total de 100 piezas, 25 de cada especie: pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco) y pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait. ssp. *mesogeensis* Fieschi & Gaussen). Se pueden distinguir dos líneas de ensayos realizados en paralelo:

- TND globales (ultrasonidos, ondas de impacto y vibraciones inducidas).
- TND puntuales (resistencia a la penetración y al arranque de tornillo).

Siendo el mismo material para ambas líneas de ensayos. Para ello se adquirieron piezas de 4 m de longitud, cortando dos trozos de 0,5 m por cada extremo, de esta manera se obtuvieron las piezas de 3 m para la línea 1 (TND globales) y, además, uno de los trozos de 0,5 m fue utilizado para realizar la línea 2 (TND puntuales). El trozo restante se almacenó para futuros trabajos.

Para estos ensayos se optó por una escuadría bastante común en uso estructural, como es la 100x150 mm (además, 150 mm es el canto establecido como medida de referencia en los ensayos de resistencia a la flexión de acuerdo con el sub-apartado 5.3.3.2 de la norma UNE-EN 384:2010), y una longitud de 3 m (20 veces la cara nominal de la pieza, superando el valor mínimo de 19 veces la altura nominal de la sección establecida en los sub-apartados 9.1 y 10.1 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, para la determinación del E en flexión).

Las piezas se adquirieron en húmedo a principios de año, realizando medidas con TND globales durante su secado natural al aire hasta finales de verano. Una vez secas, se procedió a su ensayo en máquina universal hasta rotura. El proceso de secado natural desde el aserrado hasta un CH del 12% o inferior, tuvo una duración aproximada de 9 meses.

En la segunda línea de ensayos se estudió la influencia del CH sobre las TND puntuales en piezas de la misma escuadría que el estudio anterior pero longitud menor. El tiempo de secado al aire fue el mismo que las piezas de 3 m.

4.3.2 Material de ensayo

Las especies objeto de estudio (tabla 4.2) fueron 100 piezas de dimensiones 100x150x4000 mm, 25 de pino radiata procedentes de la Serrería Larrañaga S.L. situada en la localidad de Azpeitia, en la provincia de Guipúzcoa; 25 de pino silvestre y 25 de pino pinaster procedentes de Forestal Maderera Luis Cuesta S.L. situada en la localidad de Veganzones, en la provincia de Segovia; 25 de pino

laricio procedentes de la empresa Ayuntamiento de Cuenca Maderas S.A., situada en la localidad de Mohorte, en la provincia de Cuenca.

Tabla 4.2 Especies objeto de estudio

Especie	Código	Procedencia	Dimensiones (mm)	Nº de piezas
Pino radiata	PNRD	País Vasco	100x150x4000	25
Pino silvestre	PNSY	Segovia	100x150x4000	25
Pino laricio	PNNL	Cuenca	100x150x4000	25
Pino pinaster	PNPN	Meseta	100x150x4000	25
TOTAL				100

Las piezas fueron seleccionadas en aserradero de manera que fueran representativas de la calidad comercializada para madera estructural. Sobre una muestra, de entre 35 y 40 piezas recién aserradas, se procedió a seleccionar aquellas que no fueran ni de calidad visual muy alta, ni muy baja, sin gemas, sin daños de aserrado y sin alteraciones biológicas importantes, procediendo a sellar las testas para evitar una rápida pérdida de humedad hasta su recepción en laboratorio. Las piezas fueron cepilladas antes de su envío.

Figura 4.7 Muestra de piezas de pino pinaster en aserradero para seleccionar

A su recepción en laboratorio se procedió a la codificación de las piezas, según los códigos por especie (tabla 4.2) establecidos en la norma UNE-EN 13556:2004. La codificación consistió en el código de especie más el número de pieza del 1 al 25. En las piezas de 0,5 m además, se registraron con el número I o II en números romanos. También se realizó el marcado de las líneas de: corte, sección central, 18 h y 6 h para el ensayo en máquina universal.

A continuación se procedió al corte de dos trozos de 0,5 m de longitud en cada extremo, resultando una pieza de 3 m de longitud y dos piezas de 0,5 m. Una de 0,5 m fue seleccionada para su uso en el estudio con técnicas puntuales.

Inmediatamente se procedió a sellar todas las testas, dando una capa de pintura diaria durante 3 días, hasta que el sellado de las testas fue satisfactorio. Una vez seca la pintura de las testas, se procedió a realizar los taladros necesarios para los sensores de ultrasonidos.

4.3.3 Contenido de humedad y densidad

Con objeto de estimar el CH se colocaron en cada pieza (tanto en las de 3 m como en las de 0,5 m) dos clavos aislados en la sección central de la cara, evitando cualquier tipo de singularidad, separados 30 mm y a una profundidad de 1/3 de la superficie canto. Dichos clavos permanecieron fijos en las piezas durante todo el proceso de secado al aire.

Se realizaron estimaciones del CH con el xilohigrómetro de resistencia eléctrica, conectado mediante pinzas a los clavos aislados, de acuerdo con la norma UNE-EN 13183-2:2002. Se realizaron estimaciones diferentes en las siguientes fases: clasificación visual en húmedo, determinación del módulo de elasticidad en flexión, cada vez que se realizaron mediciones con TND, clasificación visual en seco y ensayo de rotura.

Tras la rotura de las piezas de 3 m, se determinó el contenido de humedad de una rebanada (según apartado 6 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012) por el método de secado en estufa de acuerdo a la norma UNE-EN 13183-1:2002. En el caso de las piezas de 0,5 m, para la determinación CH por el método de secado en estufa se introdujeron las piezas enteras en estufa.

Cada vez que se realizaron mediciones con TND, se registró también la masa y las dimensiones, obteniendo no solo la densidad global como masa/volumen en cada fase, sino permitiendo además determinar el CH en cada fase, a partir de la comparación de la masa seca obtenida en estufa, con la masa en húmedo de la pieza completa en cada fase de medición, proceso que se nombró en el presente estudio como método de estufa retroactiva.

Además, de la rebanada extraída de las piezas de 3 metros tras la rotura, previamente a su entrada en estufa, se registró la masa y dimensiones de acuerdo al apartado 7 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, obteniendo la densidad local como masa/volumen.

4.3.4 Clasificación visual y CKDR

Se realizó la clasificación visual de cada pieza de 3 m de longitud haciendo uso, tanto de la norma española UNE 56544:2011, como de la norma alemana DIN

4074-1:2012-06. La decisión de utilizar la norma alemana de coníferas se debe a que además de ser una de las pioneras en el mundo, su uso está muy extendido en el centro de Europa, y se consideró interesante establecer una comparativa entre los resultados obtenidos con ambas normas. Las principales diferencias entre ambas normas proceden de la manera de medir los nudos, los anillos, las limitaciones en deformaciones de las piezas y en las alteraciones biológicas admisibles (véase anexo D).

Se realizó la clasificación visual tanto en húmedo como en seco, entendiéndose como madera clasificada en seco aquella que pertenece a un lote y que ha sido clasificada intencionadamente a un contenido medio de humedad inferior o igual al 20%, sin que ninguna medida exceda del 24%, y considerándose en húmedo cuando no cumpla con los criterios anteriores (UNE 56544:2011).

Una de las más relevantes singularidades en la clasificación visual es la nudosidad de las piezas, la cual puede ser evaluada de una manera simple mediante el uso del parámetro: Concentrated Knot Diameter Ratio (CKDR) (Divos y Tanaka 1997). El Knot Diameter Ratio (KDR), definido en la norma japonesa de madera estructural de coníferas (SIS-19 1991), es la suma de los diámetros de los nudos dividido por la dimensión de la cara o canto donde se encuentren. Los diámetros de los nudos deben ser medidos entre dos líneas tangenciales al nudo y paralelas que siguen la dirección longitudinal de la pieza, además si dicha medida supera en 2,5 veces el menor diámetro del nudo, se dividirá dicha medida entre 2. El CKDR es la suma de los KDRs contenidos en las 4 caras de una sección de 15 cm de longitud (15 cm coincide con la distancia para considerar nudos agrupados según UNE-EN 844-9:1997). El máximo de dichos CKDRs dará una indicación de la calidad de la pieza (figura 4.8).

Figura 4.8 CKDR (reeditada de Íñiguez 2007 con permiso)

Dicho máximo CKDR, que fue medido en cada una de las piezas, es obtenido de la zona de 15 cm de longitud con mayor nudosidad de toda la pieza, y su valor podrá oscilar entre 0 y 1.

Se midieron dos tipos de CKDRs máximos: CKDR central, siendo este el de la zona central de la pieza, entendiendo por sección central una longitud de 8 veces la cara (4h a cada lado de la sección central) según Arriaga *et al.* (2014), y el CKDR global, siendo este el máximo de toda la pieza, el cual puede ser coincidente o no con el CKDR central.

4.3.5 Determinación del módulo de elasticidad local y global en flexión

Se procedió a la determinación del módulo de elasticidad local (Eloc) y global (Eglo) en flexión conforme a la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, realizando el ensayo de 4 puntos en máquina universal. La velocidad utilizada fue de 0,1 kN/s y las piezas se ensayaron hasta una carga de 8 kN, la cual se estimó como un tercio de la carga total de rotura.

Para obtener el módulo de elasticidad local, de acuerdo al apartado 9 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, se colocaron dos extensómetros de 20 mm en la fibra neutra de cada cara, apoyados en una chapa metálica clavada en la fibra neutra y colgados de unas estructuras metálicas (perchas) apoyadas dentro del tercio central, a una distancia de 5 veces la cara. En la sección central el valor del momento flector es máximo y constante, siendo por tanto el cortante nulo. Para el cálculo se realizó la media de las medidas de ambas caras.

Para obtener el módulo de elasticidad global de acuerdo al apartado 10 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, se colocó un extensómetro de 50 mm de recorrido centrado en el canto inferior de la pieza y en la sección central.

El mismo valor de CH fue registrado, tanto en la clasificación visual en húmedo, como durante este ensayo, pues fueron realizados en días consecutivos.

Figura 4.9 Detalle de extensómetros en ensayo en máquina universal

4.3.6 Técnicas no destructivas globales

4.3.6.1 Técnicas de ultrasonidos y ondas de impacto

Se realizaron medidas longitudinales en dirección paralela a la fibra con: Sylvatest Duo, USLab, MST, y solo en la especie pino silvestre, también con Steinkamp BP-V.

Las lecturas se realizaron colocando los sensores en testas opuestas, tomando dos medidas: una con los sensores colocados en la testa a $1/3$, y otra a $2/3$ de la altura de la sección, centrados respecto al canto (figura 4.10). El número de veces que se repitieron las medidas en cada especie a lo largo de su secado al aire oscilaron entre 7 y 12, dependiendo del CH inicial de partida de cada especie.

Figura 4.10 Dispositivo de ensayo para medición ultrasónica testa-testa

4.3.6.2 Técnica de vibraciones inducidas

Se realizaron medidas de vibración longitudinal con los equipos: PLG y MTG. Para ello, los extremos de la pieza se colocaron sobre las balanzas del equipo MTG, que permiten mayor libertad de movimiento. Además, se registraron las dimensiones de cada pieza. El número de veces que se repitieron las medidas en cada especie a lo largo de su secado al aire oscilaron entre 7 y 12, dependiendo del CH inicial de partida de cada especie. Figuras 4.11 y 4.12.

Figura 4.11 Imagen de pantalla de ordenador de medición con MTG

Figura 4.12 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con PLG

4.3.7 Técnicas no destructivas puntuales

Se realizaron medidas a diferentes CH con los equipos: Pilodyn 6J Forest y SWRM, sobre las piezas de 0,5 m de longitud. El número de veces que se repitieron las medidas en cada especie a lo largo de su secado al aire oscilaron entre 7 y 14, dependiendo del CH inicial de partida de cada especie.

No se tuvo en cuenta la dirección radial o tangencial de las piezas, ya que no se encontró influencia estadísticamente significativa de la orientación de los anillos de crecimiento (Íñiguez 2007), realizando las medidas en la cara evitando las singularidades. Para obtener resultados comparables se realizaron las medidas siguiendo siempre la misma fibra, dejando una distancia mínima de 30 mm entre cada medida para evitar la influencia del agujero dejado en la medida anterior.

Además, se registraron las dimensiones y la masa de cada pieza en cada medida.

Al finalizar los ensayos, se determinó el CH de las piezas mediante el método de secado en estufa según norma UNE-EN 13183-1:2002, introduciendo las piezas enteras en la estufa.

Los parámetros obtenidos en cada medición fueron la profundidad de penetración, la fuerza de arranque, la densidad puntual y el CH.

Figura 4.13 Dispositivo de ensayo para arranque de tornillo sobre pieza de pino silvestre y detalle (abajo izquierda)

4.3.8 Ensayos físico-mecánicos

Una vez considerado que las piezas han alcanzado su CH de equilibrio, 12% o inferior, se procedió a realizar los ensayos físico-mecánicos de acuerdo con la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012.

4.3.8.1 Módulo de elasticidad local y global en flexión

Este ensayo se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012 (véase sub-apartado 4.3.5).

4.3.8.2 Resistencia a la flexión axial

El ensayo utilizado fue idéntico al descrito para la determinación del módulo de elasticidad en flexión, con el añadido de que al alcanzar el valor de carga de 8 kN se procedió a retirar los extensómetros y se continuó el ensayo a una velocidad de 0,2 kN/s hasta alcanzar la rotura de la pieza. Se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012.

Se presentaron dos posibilidades de rotura: rotura dentro del tercio central (esto sucedió la mayoría de las veces), o bien rotura fuera del tercio central, en cuyo caso, al estar fuera de la zona de momento flector máximo, existe un efecto del cortante, cuando sucedió esto se realizó una corrección de los valores obtenidos para esas piezas.

También se registraron: la zona de rotura, los nudos presentes en dicha sección y la presencia de médula.

Ajustándose al apartado 19 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012, el tiempo total de ensayo estuvo comprendido en el intervalo 300 ± 120 s.

4.3.8.3 Densidad local y contenido de humedad de rebanada

Tras el ensayo de flexión se extrajo una rebanada de 150 mm de longitud lo más próxima posible a la zona de rotura, libre de nudos y bolsas de resina, como se indica en los apartados 6 y 7 de la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012.

De dicha rebanada se obtuvo la densidad local, mediante masa/volumen, y se determinó el contenido de humedad mediante el método de secado en estufa de acuerdo a la norma UNE-EN 13183-1:2002.

4.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA Y DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES

4.4.1 Planteamiento general

Para el estudio de la influencia de la distancia entre sensores y la posición de los sensores en las medidas no destructivas, se utilizaron un total de 120 piezas, 30 de cada especie: pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco) y pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait. ssp. *mesogeensis* Fieschi & Gaussen).

Se optó por una escuadría común en uso estructural, como es la 90x140 mm, derivada de la 100x150 mm comercial, pues una vez seca y cepillada las dimensiones suelen ser menores a la 100x150 mm.

Además, aunque las piezas teóricamente se iban a adquirir en seco, no siempre la disponibilidad en aserradero permitió disponer de las piezas al CH deseado, 12% o menor, debiendo acondicionar algunas piezas en laboratorio. La longitud fue de 4 m.

Sobre las piezas acondicionadas de 4 m de longitud, se realizaron mediciones con TND, tanto de testa-testa, como entre las mismas caras y los mismos cantos, como entre las caras opuestas y los cantos opuestos. Procediendo seguidamente a cortar 0,5 m de pieza por cada lado, conservando siempre la misma zona central, obteniendo piezas de 3 m, repitiendo las medidas ND y repitiendo el proceso para 2 m y 1 m.

Debido a que las piezas se cortaron hasta 1 m de longitud final, no fue posible realizar ensayo de rotura, pero sí ensayo de determinación del módulo de elasticidad en flexión cuando las piezas tenían una longitud de 3 m (21,4h).

4.4.2 Material de ensayo

Las piezas objeto de estudio (tabla 4.3) de dimensiones 90x140x4000 mm fueron: 30 de pino radiata procedentes de la Serrería Larrañaga S.L. situada en la localidad de Azpeitia, en la provincia de Guipúzcoa; 30 de pino silvestre procedentes del Aserradero de Valsain, situado en la localidad de Valsain, en la provincia de Segovia; 30 de pino laricio procedentes de Ayuntamiento de Cuenca Maderas S.A., situado en la localidad de Mohorte, en la provincia de Cuenca y 30 de pino pinaster procedentes de Maderas y resinas Criado, situada en la localidad de Lastras de Cuellar, en la provincia de Segovia.

Tabla 4.3 Especies objeto de estudio

Especie	Código	Procedencia	Dimensiones (mm)	Nº de piezas
Pino radiata	PNRD	País Vasco	90x140x4000	30
Pino silvestre	PNSY	Segovia	90x140x4000	30
Pino laricio	PNNL	Cuenca	90x140x4000	30
Pino pinaster	PNPN	Meseta	90x140x4000	30
TOTAL				120

Las piezas fueron seleccionadas en aserradero de manera que fueran representativas de la calidad comercializada para madera estructural. Sobre una muestra de entre 35 y 40 piezas, se procedió a seleccionar aquellas que no fueran ni de calidad visual muy alta, ni muy baja, sin gemas, sin daños de aserrado y sin alteraciones biológicas importantes. Las piezas fueron cepilladas antes de su envío.

Figura 4.14 Selección de piezas de pino laricio en aserradero

A su recepción en laboratorio se procedió a la codificación de las piezas, según los códigos por especie (tabla 4.3) establecidos en la norma UNE-EN 13556:2004. Siendo su codificación el código de especie más el número de viga del 1 al 30, más 4, 3, 2 o 1 según la longitud de esa zona de la pieza, más I o D según fuera la parte izquierda o derecha. Por ejemplo: PNPN 01-4I significa que la pieza número 1 de pino pinaster, la zona de la pieza de 4 m de la izquierda.

También se realizó el marcado de las líneas de corte, la sección central de la piezas, las líneas de 18 h y 6 h para el ensayo con máquina universal cuando la viga se encontrara a 3 m de longitud, las cuales indican los apoyos y el tercio central.

Se realizaron los taladros necesarios para las lecturas de ultrasonidos, tanto los de testa a 4 m, como los de cara y canto para todas las longitudes de ensayo, haciendo un total de 36 más los de testa. Para realizar los agujeros para las lecturas en cara y canto, se eligió una distancia entre ellos de manera que en las piezas de 3 m fuera igual a 18 veces la cara nominal (2520 mm), lo cual implicaba que los agujeros en las piezas de 3 m estaban a 0,24 m de la testa, esta distancia de 0,24 m a la testa se aplicó para el resto de longitudes (figura 4.15).

Figura 4.15 Marcado de piezas y taladros

4.4.3 Contenido de humedad y densidad

Se procedió a estimar el CH con el xilohigrómetro de resistencia eléctrica de acuerdo con la norma UNE-EN 13183-2:2002, usando clavos normales, e introduciendo y retirando nuevamente los clavos cada vez que se midió con ayuda de la propia maza del xilohigrómetro. Se realizó en la sección central de la cara evitando cualquier tipo de singularidad y hasta una profundidad de 1/3 del canto.

Se realizaron estimaciones del CH con el xilohigrómetro de resistencia eléctrica en cada fase de ensayo: clasificación visual, ensayo de determinación del módulo de elasticidad a flexión (3 m) y en cada una de las 4 mediciones realizadas con TND (4, 3, 2 y 1 m).

Asimismo, en cada una de las mediciones con TND se registró la masa y las dimensiones de la pieza para obtener la densidad global como masa/volumen.

4.4.4 Clasificación visual y CKDR

Se realizó la clasificación visual de cada pieza a dos longitudes (4 y 3 m), tanto con la norma española UNE 56544:2011, como con la norma DIN 4074-1:2012-06. Asimismo, fue medido el CKDR global (véase el apartado 4.3.4)

4.4.5 Determinación del módulo de elasticidad local y global en flexión

Se procedió a la determinación del módulo de elasticidad local y global en flexión conforme a la norma UNE-EN 408:2011+A1:2012 (descrito en 4.3.5).

Figura 4.16 Ensayo de elasticidad en pino radiata

Se realizó el ensayo cuando las piezas tenían una longitud de 3 m, dado que su longitud era 21,4 veces la cara nominal, lo cual permitió que el vuelo de las piezas respecto a la longitud de ensayo, 18 veces la altura nominal, no fuera excesivo y no afectara al resultado de ensayo.

4.4.6 Técnicas de ultrasonidos y ondas de impacto

Se realizaron medidas de tiempo de transmisión de onda para cada una de las 4 longitudes estudiadas (4, 3, 2 y 1 m) con: Sylvatest Duo, USLab, MST, y solo en la especie pino silvestre también con Steinkamp BP-V, colocando los sensores:

En testas opuestas, realizando 2 medidas, una con los sensores colocados a $1/3$ y otra a $2/3$ de la cara, centradas en la testa.

En caras opuestas (directa), 2 medidas, con los sensores a $1/3$ y a $2/3$ (figura 4.17)

En la misma cara (indirecta), 2 medidas, con los sensores a $1/3$ y a $2/3$ (figura 4.18)

En cantos opuestos (directa), solo 1 medida con los sensores centrados en el canto

En el mismo canto (indirecta), solo 1 medida con los sensores centrados en el canto

Figura 4.17 Dispositivo de ensayo para medición ultrasónica entre caras opuestas

Figura 4.18 Medición ultrasónica con USLab en la misma cara

4.4.7 Técnica de vibraciones inducidas

Se realizaron medidas de vibración longitudinal con los equipos: PLG y MTG para cada una de las longitudes, excepto en el caso de las piezas de 1 m de longitud que solo se realizaron con el equipo PLG, pues el equipo MTG no permite ser utilizado con garantías en piezas menores de 1,5 m de longitud. Para ello los extremos de la pieza se colocaron sobre las balanzas del equipo MTG, que permiten mayor libertad de movimientos, figura 4.19.

Figura 4.19 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con MTG

4.5 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS

Las TND aplicadas a madera resultaron ser sistemas de estimación de sus propiedades físico mecánicas altamente eficientes. Teniendo en cuenta la escasa tradición de su uso en España (aunque las primeras citas son de los años 90, no comenzó su uso generalizado hasta 2005), y que a pesar de que los equipos ND portátiles utilizados son en general los mismos, los resultados existentes no son comparables debido a las diferentes metodologías aplicadas. Parece por tanto, un momento muy propicio para la homogeneización y normalización de estos sistemas portátiles de clasificación.

Entre otros aspectos se muestra necesario disponer de unos modelos de ajuste por diversos factores que afectan a las mediciones con TND (contenido de humedad, longitud, posición de los sensores), para el tratamiento de los datos recogidos con los equipos ND. Para ello se ha descrito la metodología incluida en los apartados 4.3 y 4.4.

4.5.1 Recopilación de resultados

Como punto de partida para la consecución de la homogeneización a nivel español, se decidió entrar en contacto con los diferentes grupos de investigación que utilizaron las TND en España sobre madera aserrada estructural, al objeto de solicitar datos de mediciones ND, y poder consensuar una metodología de ensayos ND y elaborar una base de datos de medidas ND a nivel nacional.

Los grupos de investigación con los que se entró en contacto fueron los siguientes:

- AIDIMA (Valencia/València)
- AITIM (Madrid)
- CESEFOR (Soria)
- CETEMAS (Asturias/Asturies)
- CIFOR-INIA (Madrid)
- CIS-Madeira (Orense/Ourense)
- INCAFUST (Lérida/Lleida)
- TECNALIA (Guipúzcoa/Gipuzkoa)
- TKNKA (Guipúzcoa/Gipuzkoa)
- Universidad Politécnica de Cataluña (UPC - Barcelona)
- Universidad de Santiago de Compostela (USC - Lugo)
- Universidad de Sevilla (US - Sevilla)
- Universidad de Valladolid (UVA - Palencia)

4.5.2 Homogeneización de datos

Debido a que las metodologías de aplicación de los equipos ND no fueron siempre las mismas, la primera necesidad a la recepción de datos fue homogeneizarlos para

hacerlos intercomparables. Como primera conclusión se observó que los equipos portátiles utilizados fueron: Sylvatest, MST, PLG, Pilodyn 6J y SWRM.

Para ello, se diseñó una hoja marco de recogida de resultados con el programa informático Microsoft Office Excel, la cual incluía los siguientes apartados:

- Información general
 - Número de probeta
 - Código de probeta
 - Especie
 - Procedencia
 - Laboratorio y persona que realizó los ensayos
 - Proyecto de investigación al cual pertenecen los ensayos
 - Año de finalización de los ensayos
- Geometría
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Canto nominal
 - Cara nominal
 - Canto real
 - Cara real
 - Longitud
- Clasificación visual
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Clasificación visual con norma 1
 - Clasificación visual con norma 2
 - Clasificación visual con norma 3
- Medidas con Sylvatest
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Medidas testa-testa
 - Longitud entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
 - Medidas entre caras opuestas
 - Longitud entre sensores
 - Ángulo entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
 - Velocidad al 12% corregida por ángulo
 - Medidas entre la misma cara
 - Longitud entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
- Medidas con MST

- CH con xilohigrómetro de resistencia
- Medidas testa-testa
 - Longitud entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Tiempo corregido por ajuste de sensor
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
- Medidas entre caras opuestas
 - Longitud entre sensores
 - Ángulo entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Tiempo corregido por ajuste de sensor
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
 - Velocidad al 12% corregida por ángulo
- Medidas entre la misma cara
 - Longitud entre sensores
 - Tiempo de transmisión de onda
 - Tiempo corregido por ajuste de sensor
 - Velocidad derivada de longitud/tiempo
 - Velocidad corregida al 12% de CH
- Medida con PLG y FFT transversal
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Frecuencia natural del primer modo de vibración longitudinal
 - Velocidad longitudinal
 - Velocidad longitudinal corregida al 12% de CH
 - Frecuencia del primer modo de vibración transversal de canto
 - Edin transversal de canto
 - Edin transversal de canto corregido al 12% de CH
 - Frecuencia del primer modo de vibración transversal de tabla
 - Edin transversal de tabla
 - Edin transversal de tabla corregido al 12% de CH
 - Media masa
 - CKDR
 - Densidad global
 - Densidad global corregida al 12% de CH
- Ensayo físico mecánicos (UNE-EN 408)
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Carga máxima de rotura
 - Pendiente del tramo elástico global
 - Distancia entre apoyos en relación a la cara nominal
 - E global
 - E global corregido al 12% de CH
 - Pendiente del tramo elástico local
 - E local
 - E local corregido al 12% de CH

- Factor de altura
- Trot
- Posición de rotura
- Rotura en tercio central o fuera
- Trot corregido cuando está fuera del tercio central
- Datos de rebanada (UNE-EN 408)
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - CH medido en estufa
 - Densidad local
 - Densidad local corregida al 12% de CH
- Pilodyn 6J Forest
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Profundidad de penetración en dirección radial
 - Profundidad de penetración en dirección tangencial
 - Profundidad radial corregida al 12% de CH
 - Profundidad tangencial corregida al 12% de CH
 - Profundidad de penetración cuando se desconoce la dirección
 - Profundidad sin dirección corregida al 12% de CH
- Arranque de tornillo (SWRM)
 - CH con xilohigrómetro de resistencia
 - Fuerza de arranque en dirección radial
 - Fuerza de arranque en dirección tangencial
 - Fuerza radial corregida al 12% de CH
 - Fuerza tangencial corregida al 12% de CH
 - Fuerza de arranque cuando se desconoce la dirección
 - Fuerza sin dirección corregida al 12% de CH

4.5.3 Protocolo de ensayos no destructivos

Ante la disparidad encontrada en la forma de ensayo de los distintos grupos consultados, uno de los objetivos de esta tesis doctoral se concretó en un protocolo de ensayos ND con el objeto de establecer una metodología de ensayos consensuada a nivel nacional, para que los datos obtenidos de aquí en adelante y por los distintos usuarios e investigadores se puedan comparar entre sí.

Una primera versión de dicho protocolo fue enviado en el año 2012 a las siguientes entidades: AITIM, CESEFOR, CETEMAS, CIFOR-INIA, CIS-Madeira, INCAFUST, TKNKA, UPC, USC y UVA. Algunos de ellos lo aplicaron en los ensayos que estaban realizando en ese momento, de los cuales posteriormente se incorporaron a esta base. Dicho protocolo en su versión 2012.07 se encuentra en el anexo E.1.

Además, en el año 2015, ante la también falta de consenso encontrada en el uso de la nomenclatura de técnicas y equipos ND, se elaboró un glosario de TND y equipos en inglés y castellano en formato tabla, incluyendo además los equipos comerciales portátiles más representativos de dichas técnicas, que se envió a personas relevantes en este ámbito. Dicho glosario se encuentra en el anexo E.2.

4.6 ESQUEMA RESUMEN DE MATERIAL DE ENSAYO UTILIZADO

4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos procedentes de ensayos del presente trabajo de investigación fueron procesados y tratados estadísticamente con dos herramientas informáticas:

Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EEUU).

Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, EEUU).

El estudio de la normalidad de las variables se realizó mediante el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov, si bien existen varios test para el análisis de la normalidad, este resultó ser el más extensamente utilizado en los trabajos de investigación consultados sobre este tema. En dicho test se plantea como hipótesis nula que una muestra proviene de una población normal (distribución de Gauss). Si el p-valor resultante es menor que alfa, siendo alfa 1 menos el nivel de confianza, se rechaza la hipótesis nula, si p-valor es mayor no se puede rechazar dicha hipótesis nula y por lo tanto la distribución se considera normal.

Sobre todas las variables básicas procedentes de los ensayos fue realizado el test de Kolmogorov-Smirnov para un nivel de confianza del 95%, obteniendo en todos los casos valores de p-valor superiores a 0,05, por lo tanto se consideró que las muestras de dichas variables se ajustaron a distribuciones normales y fueron tratadas como tal. Dichos valores de p-valor y la representación gráfica de histogramas de frecuencia se muestran en el anexo C.

Para el estudio de las diferencias entre variables se realizaron análisis de la varianza (*ANOVA*) con intervalos LSD de Fisher y un nivel de confianza del 95%.

Para el análisis de la relación entre variables y la generación de dichos modelos se realizaron modelos de regresión lineal simple y múltiple. Los cuales son procedimientos estadísticos que permiten describir el impacto de uno o más factores (X) en una variable dependiente (Y). Para evaluar la bondad de ajuste se ha utilizado el coeficiente de determinación (R^2), el cual representa el porcentaje de variabilidad en la variable dependiente (Y) explicado por la variable independiente (X) o variables independientes (X, Z ...).

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

5.1.1 Técnicas no destructivas globales

La tabla 5.1 resume el número de probetas y sus dimensiones por especie, utilizadas para la realización del estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las técnicas no destructivas globales.

Tabla 5.1 TND globales resumen de especies y dimensiones

Especie	Dimensiones nominales (mm)	Dimensiones iniciales (mm)	Dimensiones finales (mm)	Nº de piezas
Pino radiata	100x150x3000	95x148x3001	91x142x2996	25
Pino silvestre	100x150x3000	99x149x2995	95x145x2993	25
Pino laricio	100x150x3000	99x150x2996	95x145x2991	25
Pino pinaster	100x150x3000	98x149x2997	95x144x2991	25
TOTAL				100

La tabla 5.2 recoge la media, el valor mínimo y máximo, del CH de cada medida y cada especie, estimado mediante xilohigrómetro y determinado a partir del secado en estufa realizado sobre las rebanadas. Así como, los días transcurridos desde el inicio del proceso de secado.

Tabla 5.2 TND globales resumen de contenidos de humedad

Especie	NM	Días	CH xilohigrómetro				CH estufa			
			M (%)	CV (%)	Min (%)	Max (%)	M (%)	CV (%)	Min (%)	Max (%)
Pino radiata	1	0	27,6	17,84	22,5	39,1	52,7	51,77	27,8	117,3
	2	12	22,7	14,15	19,2	33,1	29,2	11,54	20,5	63,1
	3	24	20,1	18,38	17,2	33,1	21,3	15,30	18,0	30,7
	4	38	17,3	8,33	15,5	21,1	17,7	8,91	15,5	21,9
	5	52	15,3	9,32	13,4	18,1	14,8	7,37	13,1	17,0
	6	66	13,7	9,96	11,3	16,0	13,6	5,82	11,9	15,2
	7	87	12,1	10,79	9,6	14,2	11,6	5,23	10,4	12,7
	8	109	10,5	12,24	7,8	12,9	10,1	5,54	9,0	11,0
	9	136	8,6	14,08	6,3	11,1	9,1	4,56	8,4	9,9
	10	150	7,9	13,14	6,1	10,3	8,9	4,11	8,4	9,7
Pino silvestre	1	0	24,8	8,97	21,0	30,0	32,6	36,80	23,4	69,3
	2	10	21,2	6,30	19,5	25,8	23,5	19,29	20,3	37,9
	3	31	18,5	7,00	16,2	21,6	18,3	7,63	16,6	22,1
	4	46	16,0	5,91	14,1	18,2	15,2	5,26	13,7	16,9
	5	65	13,3	6,70	11,5	15,5	13,4	4,87	12,2	15,3
	6	79	12,0	7,71	9,8	14,1	12,2	5,77	10,7	14,1
	7	116	9,5	10,44	6,6	11,5	10,6	4,89	9,7	12,4
Pino laricio	1	0	28,9	7,40	26,1	33,8	62,6	40,32	26,8	110,5
	2	7	28,1	7,61	23,8	32,1	57,1	40,27	25,4	101,9
	3	14	26,6	8,10	22,9	30,5	45,2	40,82	22,9	84,2
	4	23	25,2	10,55	20,6	29,9	36,6	40,43	20,4	68,0
	5	35	23,9	15,42	18,6	31,7	26,8	32,53	17,8	45,9
	6	49	21,9	19,48	16,5	32,7	21,3	25,97	15,3	36,5
	7	70	18,5	23,27	15,1	34,8	16,4	18,37	13,6	24,9
	8	93	16,3	18,04	13,5	26,6	13,9	12,19	11,9	18,2
	9	108	14,5	11,93	12,2	18,5	12,6	9,04	10,8	15,0
	10	129	12,2	9,51	10,0	14,9	10,7	8,17	9,0	12,6
	11	142	11,3	9,47	9,1	13,4	10,5	6,86	9,4	12,8
	12	171	9,4	10,65	7,1	11,2	9,7	6,88	8,5	11,7
Pino pinaster	1	0	29,9	13,34	24,8	42,1	40,3	31,00	29,3	73,3
	2	22	22,8	7,25	20,4	28,3	24,8	17,89	21,4	43,8
	3	35	21,5	8,77	18,4	26,6	21,2	14,62	18,4	34,6
	4	47	19,6	7,98	16,8	23,8	18,4	11,31	16,3	26,9
	5	61	18,0	7,24	15,7	21,6	16,4	8,16	14,7	21,1
	6	75	16,5	7,02	14,2	18,9	14,3	5,57	13,1	16,2
	7	89	15,2	6,94	12,9	17,1	12,9	5,29	11,7	14,4
	8	110	13,8	7,55	11,2	15,2	11,5	4,51	10,7	12,7
	9	132	12,5	9,13	9,8	13,9	10,7	5,13	9,8	11,9
	10	159	10,8	11,20	8,0	12,3	9,3	4,93	8,6	10,3
	11	180	9,9	12,46	7,5	11,6	9,2	4,38	8,6	10,5

A la vista de los datos de la tabla 5.2, se observaron diferencias en el número de mediciones (NM) no destructivas globales realizadas sobre las piezas; variaron entre las 7 de pino silvestre y las 12 de pino laricio, esto se debió fundamentalmente al CH de recepción de la madera. El segundo dato relevante fueron las diferencias entre los CH estimados con xilohigrómetro y los determinados

por estufa (cuando se encontraban por encima del PSF), es de sobra conocido que el xilohigrómetro no aporta lecturas precisas por encima del PSF (Gann Hydromette RTU 600 1993), sin embargo, estas diferencias se redujeron cuando se encontraba por debajo del PSF, es decir, cuando el CH determinado por estufa se encontraba por debajo del 28-30%.

Por lo anteriormente expuesto, se consideró oportuno trabajar con el CH determinado por estufa, si bien en las inspecciones se utilizará el xilohigrómetro. El CH de las piezas de las estructuras en servicio suele estar por debajo del PSF, donde ambas lecturas son similares.

Las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 muestran la evolución del CH estimado por xilohigrómetro y determinado por estufa para cada especie.

Figura 5.1 Evolución del CH (pino radiata)

Figura 5.2 Evolución del CH (pino silvestre)

Figura 5.3 Evolución del CH (pino laricio)

Figura 5.4 Evolución del CH (pino pinaster)

Como se aprecia en las figuras, al principio los valores de CH medidos eran dispersos y variables, a medida que el CH en las piezas era menor disminuyó la variabilidad. Para el presente estudio se decidió utilizar en los análisis y correcciones los valores medios, al igual que realizaron otros autores (Gonçalves y Leme 2008; Montero *et al.* 2015).

5.1.1.1 Transmisión de onda

La tabla 5.3 resume la media de las velocidades de transmisión de onda para cada equipo y especie durante el proceso de secado de la madera.

Tabla 5.3 Resumen de velocidades de transmisión de onda

Especie	NM	CH (%)	Vel Syl		Vel USL		Vel BPV		Vel MST	
			M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	1	52,7	4588	7,81	4856	8,95	-	-	4639	6,92
	2	29,2	4882	6,22	5326	6,31	-	-	5059	5,60
	3	21,3	5090	5,66	5571	5,91	-	-	5151	5,55
	4	17,7	5192	5,76	5648	5,85	-	-	5271	5,37
	5	14,8	5276	5,75	5789	5,64	-	-	5407	5,95
	6	13,6	5333	5,93	5813	5,74	-	-	5461	5,78
	7	11,6	5377	5,81	5880	5,88	-	-	5470	5,59
	8	10,1	5418	5,79	5868	7,02	-	-	5545	5,65
	9	9,1	5470	5,85	5972	5,73	-	-	5664	5,90
	10	8,9	5478	5,91	5990	5,78	-	-	5677	5,82
Pino silvestre	1	32,6	4689	5,98	5137	5,85	4749	6,18	4875	5,79
	2	23,5	4912	5,39	5418	5,58	4990	5,46	5031	5,12
	3	18,3	5072	5,65	5570	5,64	5138	5,67	5251	5,55
	4	15,2	5212	5,52	5684	5,63	5262	5,64	5342	5,37
	5	13,4	5272	5,68	5771	5,55	5328	5,60	5447	5,46
	6	12,2	5319	5,59	5829	5,54	5385	5,40	5481	5,33
	7	10,6	5358	5,62	5862	5,49	5434	5,33	5538	5,43
Pino laricio	1	62,6	3761	11,11	4043	11,89	-	-	3888	10,64
	2	57,1	3786	11,17	4116	12,05	-	-	3940	10,64
	3	45,2	3938	10,33	4277	10,99	-	-	4120	10,26
	4	36,6	4025	10,27	4387	10,76	-	-	4242	9,77
	5	26,8	4197	9,83	4574	10,20	-	-	4374	9,69
	6	21,3	4315	9,27	4740	9,68	-	-	4520	8,85
	7	16,4	4490	8,51	4878	8,89	-	-	4653	8,21
	8	13,9	4568	8,13	4963	8,58	-	-	4719	8,12
	9	12,6	4641	8,07	5051	8,47	-	-	4794	9,30
	10	10,7	4673	8,04	5113	8,45	-	-	4865	7,44
	11	10,5	4706	8,01	5134	8,40	-	-	4903	7,60
	12	9,7	4734	7,98	5169	8,36	-	-	4933	7,59
Pino pinaster	1	40,3	3733	8,44	4045	8,83	-	-	3856	7,78
	2	24,8	4034	9,38	4361	8,52	-	-	4148	8,88
	3	21,2	4112	8,93	4477	9,14	-	-	4254	8,41
	4	18,4	4217	8,83	4589	8,99	-	-	4319	8,48
	5	16,4	4265	8,61	4623	8,77	-	-	4371	8,58
	6	14,3	4339	8,45	4733	8,58	-	-	4439	8,23
	7	12,9	4382	8,39	4740	8,62	-	-	4489	8,13
	8	11,5	4422	8,33	4825	8,42	-	-	4553	8,25
	9	10,7	4462	8,26	4861	8,26	-	-	4614	8,27
	10	9,3	4501	8,20	4903	8,19	-	-	4695	8,20
	11	9,2	4520	8,16	4942	8,14	-	-	-*	-

* No fue posible realizar la medición número 11 en la especie pino pinaster debido a fallos en el equipo MST.

Las figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 muestran por especie, la línea de tendencia de la media de velocidades de transmisión de onda medidas (tabla 5.3) con los diferentes equipos a diferente CH.

Figura 5.5 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino radiata)

Figura 5.6 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino silvestre)

Figura 5.7 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino laricio)

Figura 5.8 Velocidad de transmisión de onda en función del CH (pino pinaster)

A la vista de las figuras, para los cuatro equipos estudiados y todas las especies, se observó una clara influencia del CH en la velocidad de transmisión de onda. En el caso de pino laricio se observó además, que la tendencia era diferente por debajo y encima del PSF (aprox. 30%), siendo la pendiente bastante más acentuada por debajo del PSF, al igual que fue descrito por varios autores (Sakai *et al.* 1990; Sandoz 1993; Rodríguez-Liñán y Rubio 2000; Kang y Booker 2002; Oliveira *et al.* 2005; Bucur 2006; Gonçalves y Leme 2008). Se observaron además, las diferencias de velocidad obtenidas mediante el uso de diferentes equipos de transmisión de onda.

Se realizaron regresiones lineales para cuantificar la influencia del CH usando únicamente los datos de CH por debajo del 30%. Se hicieron estas regresiones lineales para cada equipo por especie, a modo de ejemplo se muestra para el equipo Sylvatest Duo la figura 5.9.

Figura 5.9 Regresiones lineales entre velocidad de Sylvatest Duo y CH (CH<30%)

Las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies son similares, sin embargo, existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de velocidad de las distintas especies. Se realizó una regresión múltiple siendo las variables independientes CH y especie, obteniendo una única ecuación válida para todas las especies (ecuación 5.1 y tabla 5.4).

$$\text{Vel} = a \cdot \text{CH} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.1)$$

Donde: Vel es la velocidad (m/s); CH es el contenido de humedad (%); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.4 Coeficientes de la ecuación 5.1 (I)

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Vel Syl	-32,96	953,87	868,44	217,21	4810,52	63,20
Vel USL	-36,28	1054,04	986,98	250,16	5239,09	63,01
Vel BPV	-41,69	0	0	0	5885,58	34,67
Vel MST	-34,85	955,46	906,74	273,06	4965,72	63,65

5.1.1.2 Vibración

La tabla 5.5 resume la media de las velocidades, obtenidas a partir de la frecuencia del primer modo natural de vibración longitudinal, para cada equipo y especie durante el proceso de secado de la madera.

Tabla 5.5 Resumen de velocidades, obtenidas con la frecuencia de vibración

Especie	NM	CH (%)	Vel PLG		Vel MTG	
			M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	1	52,7	3978	9,83	4011	9,66
	2	29,2	4336	8,03	4367	8,13
	3	21,3	4490	7,90	4522	7,91
	4	17,7	4590	7,90	4625	7,88
	5	14,8	4676	7,94	4702	7,97
	6	13,6	4733	7,89	4755	7,94
	7	11,6	4775	7,97	4808	7,93
	8	10,1	4815	7,96	4850	7,87
	9	9,1	4855	7,98	4894	7,88
	10	8,9	4870	7,97	4910	7,86
Pino silvestre	1	32,6	4158	6,19	4198	6,12
	2	23,5	4376	6,10	4411	6,01
	3	18,3	4517	6,40	4547	6,20
	4	15,2	4621	6,52	4658	6,34
	5	13,4	4682	6,54	4716	6,55
	6	12,2	4734	6,54	4770	6,45
	7	10,6	4788	6,47	4824	6,47
Pino laricio	1	62,6	3187	12,40	3211	12,32
	2	57,1	3242	12,58	3284	12,27
	3	45,2	3412	12,07	3439	12,03
	4	36,6	3506	11,72	3534	11,61
	5	26,8	3665	10,89	3711	10,78
	6	21,3	3772	10,33	3808	10,28
	7	16,4	3909	9,65	3952	9,51
	8	13,9	3975	6,47	4023	9,50
	9	12,6	4027	9,40	4072	9,53
	10	10,7	4061	9,33	4099	9,37
	11	10,5	4091	9,28	4130	9,32
	12	9,7	4121	9,22	4168	9,02
Pino pinaster	1	40,3	3309	8,99	3377	8,91
	2	24,8	3559	9,81	3593	9,97
	3	21,2	3625	9,66	3666	9,80
	4	18,4	3695	9,45	3738	9,70
	5	16,4	3748	9,39	3796	9,68
	6	14,3	3817	9,25	3859	9,52
	7	12,9	3872	9,13	3920	9,37
	8	11,5	3914	8,99	3952	9,45
	9	10,7	3947	9,00	3998	9,35
	10	9,3	4006	8,99	4044	9,34
	11	9,2	4009	8,93	4049	8,96

Las figuras 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 muestran por especie la línea de tendencia de la media de velocidades (tabla 5.5), obtenidas a partir de la frecuencia del primer modo natural de vibración longitudinal, medido con los equipos PLG y MTG a diferente CH.

Figura 5.10 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino radiata)

Figura 5.11 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino silvestre)

Figura 5.12 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino laricio)

Figura 5.13 Velocidad obtenida por vibración en función del CH (pino pinaster)

A la vista de las figuras, para los dos equipos estudiados y todas las especies, se observó una clara influencia del CH en la velocidad, obtenida por vibración. En el caso de pino laricio se observó además, que la tendencia es diferente por debajo y encima del PSF (aprox. 30%), siendo la pendiente bastante más acentuada por debajo del PSF. Se observaron además, las diferencias de velocidad obtenidas mediante el uso de diferentes equipos de vibración.

Ante la falta de bibliografía sobre la influencia del CH en la velocidad obtenida por vibración por encima del PSF y la escasez de datos de los que se dispone en este estudio por encima del 30% de CH, se utilizaron en este estudio únicamente los datos de CH por debajo del 30%.

Figura 5.14 Regresiones lineales entre velocidad de PLG y CH (CH<30%)

Al igual que sucedió en el caso de los equipos de transmisión de onda, las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies fueron similares (figura 5.14), sin embargo existían diferencias estadísticamente significativas entre

los valores de velocidad de las distintas especies. Por tanto se optó de nuevo por realizar una regresión múltiple siendo las variables independientes CH y especie, con objeto de obtener una única ecuación válida para todas las especies (ecuación 5.1 y tabla 5.6).

Tabla 5.6 Coeficientes de la ecuación 5.1 (II)

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Vel PLG	-29,57	861,49	802,12	133,68	4252,41	57,87
Vel MTG	-29,86	851,18	795,33	132,46	4299,14	56,81

La variación de velocidad obtenida por variación del 1% en el CH, aprox. 30 m/s (coeficiente "a" de la tabla 5.6), fue similar a los 32 m/s obtenidos en la especie pino radiata con el equipo WoodSpec por Moreno-Chan *et al.* (2010).

5.1.1.3 Propuesta de corrección

Una vez constatada la influencia del CH en la velocidad, se procedió a realizar una propuesta de corrección de las velocidades obtenidas por contenido de humedad, a partir de las regresiones lineales múltiples realizadas por equipo, válida para un rango entre el 10 y 30 % de CH. Para ello se partió de la ecuación 5.2.

$$V_{12} = V_H / [1 - k_H \cdot (H - 12)] \quad (5.2)$$

Donde: V_{12} es la velocidad al 12% de CH (m/s); V_H es la velocidad a un CH igual a H (m/s); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Los coeficientes de corrección (k_H) se obtuvieron para cada equipo y especie de la siguiente forma:

A partir de la ecuación general de regresión lineal, se hizo un desarrollo genérico válido para cualquier variable, en función del CH.

$$y = a \cdot x + b$$

Donde: "y" es la variable dependiente (V_H) a un determinado CH; "a" una constante que representa la pendiente (positiva o negativa); "x" la variable independiente CH y "b" una constante (V_0) que representa donde la recta de regresión corta al eje de ordenadas.

$$y = V_H \quad a = \text{cte} \quad x = (H - 0) \quad b = V_0$$

Sustituyendo en la ecuación general de regresión lineal, se obtuvo:

$$V_H = a \cdot (H - 0) + V_0$$

Dividiendo ambos términos entre V_0 y operando sucesivamente, resultó:

$$V_0 = V_H / [1 + (a/V_0) \cdot (H - 0)]$$

En la ecuación obtenida, se sustituye la variable al 0% de CH por cualquier otra, en este caso, como interesaba la variable expresada al CH de referencia (12%), se sustituyó en la ecuación por el valor al 12.

$$V_{12}=V_H/[1+(a/V_{12})\cdot(H-12)]$$

Por lo tanto, el coeficiente de corrección (k_H), fue igual a la constante "a" dividida por la variable al 12% de CH.

$$V_{12}=V_H/[1+k_H\cdot(H-12)] \qquad k_H=a/V_{12}$$

Si la pendiente de la recta fuera negativa, la constante "a" sería negativa, y por tanto la ecuación se expresaría como:

$$V_{12}=V_H/[1-k_H\cdot(H-12)] \qquad k_H=-a/V_{12}$$

A modo de ejemplo, para el caso de la variable velocidad obtenida con el equipo Sylvatest Duo y la especie pino radiata, sabiendo que la pendiente era negativa, se sustituyó en la ecuación 5.1 los valores correspondientes de la tabla 5.4:

$$V_H=-32,96\cdot CH+5764,39$$

La velocidad al 12% de CH fue por tanto:

$$V_{12}=-32,96\cdot 12+5764,39=5368,87 \text{ m/s}$$

El coeficiente, por lo tanto, fue igual a:

$$k_H=(-32,96)/5368,87=0,0061$$

Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron el resto de coeficientes que se exponen en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Coeficientes de corrección por especie, de la velocidad medida mediante diferentes equipos (ecuación 5.2)

Equipo	Especie	k_H
Sylvatest	radiata	0,0061
	silvestre	0,0062
	laricio	0,0071
	pinaster	0,0075
USLab	radiata	0,0062
	silvestre	0,0058
	laricio	0,0072
	pinaster	0,0076
Steinkamp BPV	silvestre	0,0077
MST	radiata	0,0063
	silvestre	0,0064
	laricio	0,0072
	pinaster	0,0077
PLG	radiata	0,0062
	silvestre	0,0063
	laricio	0,0073
	pinaster	0,0076
MTG	radiata	0,0062
	silvestre	0,0063
	laricio	0,0073
	pinaster	0,0076

Comparando los resultados con otros autores se observó:

Para el equipo Sylvatest los valores obtenidos (0,0061 a 0,0075) fueron ligeramente diferentes al valor 0,0053 propuesto por Steiger (1996) y al valor 0,0060 propuesto por Unterwieser y Schickhofer (2010), ambos para picea, y al valor 0,0048 propuesto por Montero *et al.* (2015) para pino silvestre.

Para el equipo Steinkamp BPV, el valor 0,0077 obtenido, fue similar al valor 0,0080 obtenido para picea y el mismo equipo por Sandoz (1989), y al valor 0,0070 obtenido para pino silvestre y el mismo equipo, por Rodríguez-Liñán y Rubio (2000).

En el caso del equipo MST, el valor 0,0064 obtenido para pino silvestre, fue superior al valor 0,0050 obtenido por Montero *et al.* (2015).

En cuanto a las técnicas de vibración, los valores obtenidos (0,0062 a 0,0076) fueron similares al valor 0,0062 obtenido con el equipo Viscan en picea por Unterwieser y Schickhofer (2010), y al valor 0,0065 obtenido con PLG en pino silvestre por Montero *et al.* (2015), e inferiores al valor 0,0120 utilizado en mediciones en castaño con PLG y Hitman Director HM200 por Vega (2013).

5.1.2 Técnicas no destructivas puntuales

La tabla 5.8 resume el número de probetas y sus dimensiones por especie, utilizadas para el estudio de la influencia del CH de la madera en las TND puntuales.

Tabla 5.8 TND puntuales resumen de especies y dimensiones

Especie	Dimensiones nominales (mm)	Dimensiones iniciales (mm)	Dimensiones finales (mm)	Nº de piezas
Pino radiata	100x150x500	95x148x499	92x143x498	25
Pino silvestre	100x150x500	99x149x497	96x144x496	25
Pino laricio	100x150x500	99x150x498	95x145x497	25
Pino pinaster	100x150x500	99x150x502	95x144x500	25
TOTAL				100

La tabla 5.9 recoge la media, el valor mínimo y máximo, del CH de cada medida y cada especie, estimado mediante xilohigrómetro y determinado por el método de secado en estufa realizado sobre las piezas completas. Así como, los días transcurridos desde el inicio del proceso de secado.

Tabla 5.9 TND puntuales resumen de contenidos de humedad

Especie	NM	Días	CH xilohigrómetro				CH estufa			
			M (%)	CV (%)	Min (%)	Max (%)	M (%)	CV (%)	Min (%)	Max (%)
Pino radiata	1	0	36,3	27,65	23,1	56,5	57,8	50,77	26,0	130,9
	2	14	24,2	18,03	18,1	34,4	31,6	48,21	19,9	77,3
	3	31	19,2	14,90	14,5	24,5	20,2	21,08	15,9	30,5
	4	45	17,1	14,93	12,8	22,1	16,4	11,82	14,0	20,3
	5	73	13,1	12,77	9,9	16,6	12,4	7,98	11,1	14,8
	6	94	11,6	12,95	8,6	15,0	10,9	6,09	10,0	12,5
	7	135	8,5	15,12	6,3	11,6	8,9	5,46	8,3	10,4
Pino silvestre	1	0	28,0	12,66	22,1	40,5	46,5	40,20	22,3	81,6
	2	6	23,6	10,72	18,1	27,4	30,9	36,22	18,8	58,2
	3	22	19,9	10,21	16,1	26,4	22,1	21,03	16,8	35,9
	4	48	16,3	9,03	14,2	19,3	16,0	7,51	14,1	18,8
	5	58	14,7	7,92	12,9	16,6	14,4	5,48	13,0	16,1
	6	76	12,1	8,75	10,4	14,1	12,3	4,74	11,3	13,3
	7	92	10,5	8,82	8,8	12,8	11,1	4,46	10,3	12,0
	8	131	8,4	10,73	6,5	10,4	10,0	5,02	9,2	10,7
Pino laricio	1	0	36,3	14,16	29,7	47,2	65,1	41,55	26,4	123,5
	2	6	28,4	12,71	18,9	34,3	57,4	44,33	24,6	116,3
	3	14	26,6	12,05	18,6	33,8	45,0	46,61	22,3	96,9
	4	20	26,2	14,15	21,4	36,3	37,8	46,06	19,8	81,6
	5	34	25,3	18,08	19,2	34,5	26,0	40,49	16,9	50,1
	6	49	21,3	17,66	17,2	29,7	19,7	31,07	14,3	34,8
	7	56	20,1	19,85	15,0	29,2	17,7	26,14	13,3	29,3
	8	62	18,9	16,49	15,6	27,9	15,7	24,16	9,8	25,5
	9	72	17,0	17,52	14,0	28,2	14,5	18,27	11,7	22,0
	10	87	15,3	12,57	12,9	22,1	13,3	25,68	10,7	27,7
	11	105	13,0	9,22	11,1	16,0	10,9	9,20	9,6	13,6
	12	126	10,6	8,73	8,9	12,7	9,7	7,34	8,7	11,4
	13	142	9,5	8,72	8,0	11,3	9,0	6,33	8,1	10,3
	14	181	7,6	8,71	6,3	8,8	8,3	5,84	7,5	9,6
Pino pinaster	1	0	32,5	13,13	27,0	44,3	47,1	34,61	25,9	76,8
	2	28	24,3	10,16	21,0	31,3	22,5	14,41	18,0	33,2
	3	41	21,5	9,59	18,7	27,0	18,9	10,33	15,8	24,4
	4	58	18,8	7,53	16,6	23,4	16,4	7,91	14,3	19,6
	5	72	17,5	6,49	15,6	21,1	14,7	6,95	13,2	17,0
	6	100	14,9	6,80	13,1	17,5	11,8	5,32	10,9	13,1
	7	121	13,5	7,31	11,7	15,8	10,5	5,54	9,4	11,4
	8	162	10,8	9,74	9,0	12,8	8,6	4,75	7,7	9,2
	9	178	10,2	9,73	8,4	12,0	8,5	5,09	7,5	9,1

A la vista de los datos de la tabla 5.9, se observaron diferencias en el número de mediciones (NM) no destructivas puntuales realizadas sobre las piezas, variando entre las 7 de pino radiata y las 14 de pino laricio, esto se debió fundamentalmente al CH de recepción de la madera. El segundo dato relevante son las diferencias entre los CH estimados con xilohigrómetro y los determinados por estufa, especialmente cuando se encontraban por encima del PSF, es de sobra conocido que el xilohigrómetro no da lecturas correctas por encima del PSF (Gann

Hydromette RTU 600 1993), sin embargo, estas diferencias se redujeron cuando se encontraban por debajo del PSF, es decir, cuando el CH determinado por estufa se encontraba por debajo del 28-30%.

Por lo anteriormente expuesto, se consideró oportuno trabajar con el CH determinado por estufa, si bien en las inspecciones se utilizará el xilohigrómetro. El CH de las piezas de las estructuras en servicio suele estar por debajo del PSF, donde ambas lecturas son similares.

Las figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 muestran la evolución del CH estimado con xilohigrómetro y determinado por estufa para cada especie.

Figura 5.15 Evolución del CH (pino radiata)

Figura 5.16 Evolución del CH (pino silvestre)

Figura 5.17 Evolución del CH (pino laricio)

Figura 5.18 Evolución del CH (pino pinaster)

Como se aprecia en las figuras, al principio los valores de CH medidos eran dispersos y variables, a medida que el CH en las piezas era menor disminuyó la variabilidad. Para el presente estudio se decidió utilizar los valores medios.

5.1.2.1 Comparativa de velocidad de secado entre probetas de 3 m y 0,5 m

Se comparó la velocidad de secado de las probetas de 3 m utilizadas para TND globales (tabla 5.2), con las probetas de 0,5 m utilizadas para TND puntuales (tabla 5.9), con objeto de analizar si el CH determinado por estufa en las probetas utilizadas para TND globales es correcto. Para ello, se realizaron regresiones lineales entre CH y tiempo, por debajo del 30% de CH, según ecuación 5.3 y tabla 5.10.

$$CH = a \cdot \text{días} + b \quad (5.3)$$

Donde: CH es el contenido de humedad (%); días es el número de días transcurridos desde el inicio del proceso de secado (día).

Tabla 5.10 Coeficientes de la ecuación 5.3

Especie	CH estufa					
	TND globales (3 m)			TND puntuales (0,5 m)		
	a	b	R ²	a	b	R ²
radiata	-0,11	22,46	81,14	-0,12	22,80	78,25
silvestre	-0,13	23,01	83,41	-0,12	22,64	81,36
laricio	-0,10	25,02	79,62	-0,10	23,00	68,88
pinaster	-0,09	22,97	82,95	-0,09	22,06	84,80

A la vista de los resultados de la tabla 5.10, se observó que las pendientes “a” de las rectas de las regresiones lineales son similares, por tanto la velocidad de secado es similar tanto en las probetas globales como en las puntuales. Como en las probetas de 0,5 m el CH por estufa se calculó metiendo la probeta entera en estufa y en las globales solo una rebanada, se consideró que el procedimiento de extrapolar los resultados obtenidos para una rebanada a toda la pieza, denominada en la metodología estufa retroactiva, fue correcto.

5.1.2.2 Penetración

La tabla 5.11 resume la media de las profundidades de penetración por especie, obtenidas con Pilodyn 6J Forest en las probetas utilizadas con TND puntuales, durante el proceso de secado de la madera.

Tabla 5.11 Resumen de profundidades de penetración

Especie	NM	CH (%)	Prof. penetración	
			M (mm)	CV (%)
Pino radiata	1	57,8	16,44	16,85
	2	31,6	13,80	14,19
	3	20,2	12,24	16,89
	4	16,4	11,36	18,99
	5	12,4	10,48	16,09
	6	10,9	10,08	16,18
	7	8,9	9,76	14,57
Pino silvestre	1	46,5	22,20	14,42
	2	30,9	19,24	15,90
	3	22,1	16,64	19,15
	4	16,0	15,40	15,79
	5	14,4	15,08	15,78
	6	12,3	14,44	14,15
	7	11,1	13,72	17,79
	8	10,0	13,28	14,83
Pino laricio	1	65,1	18,08	16,82
	2	57,4	16,56	17,53
	3	45,0	16,56	19,65
	4	37,8	16,84	20,55
	5	26,0	16,40	18,21
	6	19,7	15,12	20,86
	7	17,7	14,84	21,98
	8	15,7	14,16	18,87
	9	14,5	14,36	19,27
	10	13,3	13,80	18,24
	11	10,9	13,56	17,04
	12	9,7	12,96	17,47
	13	9,0	13,00	15,54
	14	8,3	12,60	15,87
Pino pinaster	1	47,1	18,32	18,29
	2	22,5	14,24	16,25
	3	18,9	13,36	17,00
	4	16,4	12,76	18,14
	5	14,7	11,72	17,68
	6	11,8	11,56	17,13
	7	10,5	11,52	18,77
	8	8,6	11,44	18,73
	9	8,5	11,28	17,64

Las figuras 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22 muestran por especie la línea de tendencia de la media de profundidades de penetración, medidas con el equipo Pilodyn 6J Forest, a diferente CH.

Figura 5.19 Profundidad de penetración en función del CH (pino radiata)

Figura 5.20 Profundidad de penetración en función del CH (pino silvestre)

Figura 5.21 Profundidad de penetración en función del CH (pino laricio)

Figura 5.22 Profundidad de penetración en función del CH (pino pinaster)

A la vista de las figuras, se observó una clara influencia del CH en la profundidad de penetración, obtenida con el equipo Pilodyn 6J Forest. En el caso de pino laricio se observó además, que la tendencia era diferente por debajo y encima del PSF (aprox. 30%), siendo la pendiente bastante más acentuada por debajo del PSF, considerándose que la influencia era insignificante por encima del PSF, al igual que fue expuesto por otros autores (Smith y Morrell 1986). Por lo tanto, se cuantificó la influencia únicamente con los datos de CH por debajo del 30%.

Figura 5.23 Regresiones lineales entre profundidad de penetración y CH (CH <30%)

La figura 5.23 muestra regresiones lineales entre la profundidad de penetración y el CH (menor del 30%) para las cuatro especies. Las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies fueron similares, sin embargo existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de profundidad de penetración. Por tanto, se optó por realizar una regresión lineal múltiple siendo las variables independientes CH y especie, con objeto de obtener una única ecuación válida para todas las especies (ecuación 5.4 y tabla 5.12).

$$\text{Prof.} = a \cdot \text{CH} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.4)$$

Donde: Prof. es la profundidad de penetración (mm); CH es el contenido de humedad (%); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.12 Coeficientes de la ecuación 5.4

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Prof. penetración	0,23	-1,28	2,68	1,85	9,00	40,26

El valor de variación obtenido en la profundidad de penetración de 0,23 mm (coeficiente "a" de la tabla 5.12) por cada variación del 1% de CH, es ligeramente superior al valor 0,19 mm obtenido para la especie pino Oregón por Smith y Morrell (1986).

5.1.2.3 Arranque de tornillo

La tabla 5.13 resume la media de las fuerzas de arranque de tornillo para cada especie, obtenidas con el equipo SWRM, durante el proceso de secado de la madera.

Tabla 5.13 Resumen de fuerzas de arranque de tornillo

Especie	NM	CH (%)	Fuerza arranque	
			M (kN)	CV (%)
Pino radiata	1	57,8	1,65	14,99
	2	31,6	1,78	18,17
	3	20,2	1,85	15,98
	4	16,4	1,92	16,48
	5	12,4	2,14	18,61
	6	10,9	2,21	17,08
	7	8,9	2,41	19,14
Pino silvestre	1	46,5	1,04	13,31
	2	30,9	1,15	13,38
	3	22,1	1,32	12,23
	4	16,0	1,51	11,39
	5	14,4	1,64	14,38
	6	12,3	1,67	15,02
	7	11,1	1,75	16,92
	8	10,0	1,79	15,28
Pino laricio	1	65,1	0,77	26,49
	2	57,4	0,69	23,84
	3	45,0	0,76	25,19
	4	37,8	0,81	32,39
	5	26,0	1,32	23,38
	6	19,7	1,42	24,02
	7	17,7	1,52	20,68
	8	15,7	1,70	19,89
	9	14,5	1,86	19,84
	10	13,3	1,93	18,71
	11	10,9	2,04	20,19
	12	9,7	2,15	19,75
	13	9,0	2,20	19,31
	14	8,3	2,35	19,00
Pino pinaster	1	47,1	1,65	16,12
	2	22,5	1,82	17,30
	3	18,9	1,95	17,25
	4	16,4	2,06	17,06
	5	14,7	2,11	17,53
	6	11,8	2,27	18,94
	7	10,5	2,39	16,88
	8	8,6	2,56	17,39
	9	8,5	2,65	18,61

Las figuras 5.24, 5.25, 5.26 y 5.27 muestran por especie, la línea de tendencia de la media de las fuerzas de arranque de tornillo medidas, con el equipo SWRM, a diferente CH.

Figura 5.24 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino radiata)

Figura 5.25 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino silvestre)

Figura 5.26 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino laricio)

Figura 5.27 Fuerza de arranque de tornillo en función del CH (pino pinaster)

A la vista de las figuras, se observó una clara influencia del CH en la fuerza de arranque de tornillo, obtenida con el equipo SWRM. En el caso de pino laricio se observó además, que la tendencia era diferente por debajo y encima del PSF (aprox. 30%), siendo la pendiente bastante más acentuada por debajo del PSF, considerándose que la influencia era insignificante por encima del PSF. Por lo tanto, se cuantificó la influencia únicamente con los datos de CH por debajo del 30%.

Figura 5.28 Regresiones lineales entre fuerza de arranque de tornillo y CH (CH<30%)

Al igual que ocurría en el estudio de profundidad de penetración, las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies fueron similares (figura 5.28), sin embargo existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de fuerza de arranque de tornillo. Por tanto, se optó por realizar una regresión lineal múltiple siendo las variables independientes CH y especie, con objeto de obtener una única ecuación válida para todas las especies (ecuación 5.5 y tabla 5.14).

$$\text{Fuerza} = a \cdot \text{CH} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.5)$$

Donde: Fuerza es la fuerza de arranque de tornillo (kN); CH es el contenido de humedad (%); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.14 Coeficientes de la ecuación 5.5

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Fuerza arranque	-0,05	-0,11	-0,59	-0,42	2,99	51,29

5.1.2.4 Propuesta de corrección

A partir de las regresiones lineales anteriores, se realizó una propuesta de corrección de la profundidad de penetración y fuerza de arranque de tornillo por contenido de humedad, válida para un rango entre el 10 y 30 % de CH. Para ello se utilizó la ecuación 5.6 y la tabla 5.15.

$$\text{VA}_{12} = \text{VA}_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (5.6)$$

Donde: VA_{12} es la variable al 12% de CH (mm o kN); VA_H es la variable a un CH igual a H (mm o kN); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Tabla 5.15 Coeficientes de corrección por especie, de la profundidad de penetración y la fuerza de arranque de tornillo (ecuación 5.6)

Variable VA	Especie	k_H
Profundidad penetración	radiata	0,022
	silvestre	0,016
	laricio	0,017
	pinaster	0,020
Fuerza arranque tornillo	radiata	-0,022
	silvestre	-0,028
	laricio	-0,025
	pinaster	-0,021

Comparando los resultados con otros autores se observó:

Los valores obtenidos para profundidad de penetración (0,016 a 0,022) se encuentran próximos al rango entre 0,010 y 0,020 propuesto para las especies: picea, pino silvestre y haya, por Hoffmeyer (1978), y son superiores al 0,0073 propuesto para picea por Görlacher (1987).

5.1.3 Densidad global y puntual

La tabla 5.16 muestra los valores medios de densidad global (Den glo) en las probetas utilizadas con TND globales (3 m), y la densidad puntual (Den pun) obtenida en las probetas utilizadas con TND puntuales (0,5 m), durante la fase de secado.

Tabla 5.16 Resumen de densidad global y puntual

Especie	Globales (3 m)				Puntuales (0,5 m)			
	NM	CH (%)	Den glo		NM	CH (%)	Den pun	
			M (kg/m ³)	CV (%)			M (kg/m ³)	CV (%)
Pino radiata	1	52,7	649	22,36	1	57,8	662	23,86
	2	29,2	549	13,90	2	31,6	559	16,84
	3	21,3	518	10,28	3	20,2	517	11,39
	4	17,7	507	9,97	4	16,4	508	10,35
	5	14,8	500	10,12	5	12,4	497	10,04
	6	13,6	497	9,94	6	10,9	492	9,75
	7	11,6	492	9,72	7	8,9	485	9,77
	8	10,1	487	9,93	-	-	-	-
	9	9,1	487	9,92	-	-	-	-
	10	8,9	494	10,13	-	-	-	-
Pino silvestre	1	32,6	566	9,31	1	46,5	629	10,53
	2	23,5	537	6,52	2	30,9	572	6,85
	3	18,3	525	6,10	3	22,1	537	4,26
	4	15,2	508	6,48	4	16,0	524	4,31
	5	13,4	514	5,69	5	14,4	522	4,35
	6	12,2	511	6,02	6	12,3	514	4,67
	7	10,6	507	5,91	7	11,1	515	4,40
	-	-	-	-	8	10,0	510	4,66
Pino laricio	1	62,6	785	16,92	1	65,1	816	17,40
	2	57,1	759	16,21	2	57,4	775	17,17
	3	45,2	705	13,15	3	45,0	714	15,17
	4	36,6	662	11,07	4	37,8	695	13,50
	5	26,8	624	8,34	5	26,0	644	11,00
	6	21,3	608	7,12	6	19,7	616	10,40
	7	16,4	585	6,41	7	17,7	609	10,51
	8	13,9	580	6,44	8	15,7	603	10,02
	9	12,6	576	9,46	9	14,5	595	10,17
	10	10,7	569	6,88	10	13,3	596	10,23
	11	10,5	574	6,90	11	10,9	587	10,66
	12	9,7	571	6,72	12	9,7	581	10,85
	-	-	-	-	13	9,0	580	10,99
	-	-	-	-	14	8,3	580	10,74
Pino pinaster	1	40,3	680	10,40	1	47,1	699	9,53
	2	24,8	604	6,76	2	22,5	596	7,36
	3	21,2	590	6,26	3	18,9	586	6,82
	4	18,4	579	6,03	4	16,4	579	6,99
	5	16,4	578	5,63	5	14,7	577	7,04
	6	14,3	569	5,49	6	11,8	569	7,04
	7	12,9	566	5,56	7	10,5	565	7,09
	8	11,5	561	5,69	8	8,6	559	7,01
	9	10,7	560	5,82	9	8,5	564	7,09
	10	9,3	555	5,96	-	-	-	-
	11	9,2	561	5,72	-	-	-	-

Las figuras 5.29 y 5.30 muestran por especie, la línea de tendencia de la media de densidad global y puntual (tabla 5.16) a diferente CH.

Figura 5.29 Densidad global en función del CH

Figura 5.30 Densidad puntual en función del CH

A la vista de las figuras, se observó una clara tendencia de variación de la densidad según el CH, tanto en las probetas globales como en las puntuales. No se observó cambio de tendencia por encima y debajo del PSF en ninguno de los casos. Dado que la densidad que interesaba estudiar en este caso era la que se encuentra por debajo del PSF (se supone que la madera en estructuras existentes se encuentra por debajo del 30% de CH), se analizó la influencia del CH por debajo del 30%.

Figura 5.31 Regresiones lineales entre densidad global y CH (CH <30%)

Figura 5.32 Regresiones lineales entre densidad puntual y CH (CH <30%)

Las figuras 5.31 y 5.32 muestran la variación de la densidad global y puntual para las cuatro especies y con CH menores del 30%. Las pendientes de las rectas de regresión lineal para las diferentes especies eran similares, sin embargo, existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de densidad. Por tanto, se optó por realizar una regresión lineal múltiple siendo las variables independientes: CH y especie, con objeto de obtener una única ecuación válida para todas las especies (ecuación 5.7 y tabla 5.17).

$$\text{Den} = a \cdot \text{CH} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.7)$$

Donde: Den es la densidad (kg/m^3); CH es el contenido de humedad (%); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.17 Coeficientes de la ecuación 5.7

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Densidad global	3,01	-70,99	-57,99	10,15	527,30	51,21
Densidad puntual	2,84	-77,19	-53,82	20,97	534,38	43,30

A partir de las regresiones lineales múltiples realizadas, se presentó una propuesta de corrección de la densidad por CH, válida para un rango entre el 10 y 30 % de CH (ecuación 5.8 y la tabla 5.18).

$$\text{Den}_{12} = \text{Den}_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (5.8)$$

Donde: Den_{12} es la densidad al 12% de CH (kg/m^3); Den_H es la densidad a un CH igual a H (kg/m^3); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Tabla 5.18 Coeficientes de corrección por especie, de la densidad (ecuación 5.8)

Variable	Especie	Den glo	Den pun	Media
		k_H	k_H	k_H
Densidad	radiata	0,0061	0,0058	0,0059
	silvestre	0,0060	0,0055	0,0057
	laricio	0,0052	0,0048	0,0050
	pinaster	0,0053	0,0050	0,0052

Dado que tanto las probetas utilizadas para obtener la densidad global, como las utilizadas para la densidad puntual procedían de las mismas piezas (piezas de 4 m a las cuales se les recortaron 0,5 m por cada lado), se decidió realizar la media entre ambos coeficientes.

Los coeficientes de corrección propuestos (0,0050 a 0,0059) son valores ligeramente superiores al valor 0,0050 propuesto en la norma UNE-EN 384:2010, para el intervalo 8 a 18% de CH, también son superiores al valor 0,0042 propuesto para picea para el intervalo 8 a 30% de CH (Unterwieser y Schickhofer 2010), y del orden del valor 0,0053 propuesto para castaño en el intervalo 12 a 34% (Nocetti *et al.* 2015).

5.2 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

El material de ensayo utilizado para la estimación de las propiedades físico-mecánicas fue el mismo que se utilizó para el estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera, por lo tanto, el resumen del número de probetas utilizadas y sus dimensiones puede consultarse en la tablas 5.1 y 5.8.

En este apartado se aplicaron ajustes por CH a las variables utilizadas, para obtener modelos corregidos al CH de referencia. Dichos factores de ajuste provinieron de los resultados presentados en el apartado 5.1, y en el caso del módulo de elasticidad estático, se aplicó la corrección indicada en la norma UNE-EN 384:2010.

5.2.1 Resultados de las técnicas no destructivas

Para la estimación de las propiedades debían utilizarse datos obtenidos en mediciones con TND globales, que se hayan realizado a la vez que el ensayo en máquina universal, lo cual se realizó en dos fases de ensayo:

1ª - En la primera medición (NM=1) con TND globales, ya que al mismo CH se disponía del E estático. En este caso el CH se encontraba por encima del PSF, y no se disponía de un modelo de ajuste de dichos valores para CH por encima del PSF. Además, se observó que los CH de las cuatro especies eran muy dispares entre ellos: 52,7; 32,6; 62,6 y 40,3%, imposibilitando juntar las especies en una regresión lineal múltiple sin haber realizado un ajuste previo por CH. Por lo tanto, se consideró que los modelos de estimación resultantes serían de escasa utilidad, dado que cada modelo únicamente sería válido para un equipo, una especie y un CH determinado. Por tanto se descartó estimar las propiedades con estos datos.

2ª - En la última medición (NM depende de la especie) con TND globales, ya que al mismo CH se disponía del E estático y tensión de rotura.

Para la estimación de la densidad, las posibilidades de uso de datos eran múltiples, dado que en cada medición con TND puntuales existían también mediciones de densidad, era posible realizar la estimación de propiedades en cualquier medición cuyo CH estuviera por debajo del PSF. Por ello, se decidió utilizar en cada especie la medición realizada al CH más próximo al 12%, pues se asumió que en toda corrección se comete un error y se pretendía minimizar la corrección a realizar.

5.2.1.1 Técnicas no destructivas globales

La tabla 5.19 muestra la media y el CV de las velocidades de transmisión de onda por especie, obtenidas con los diversos equipos en la última medición (datos extraídos de la tabla 5.3). Además, se muestran dichos datos corregidos al 12 % de CH, haciendo uso de los modelos de ajuste propuestos en el apartado 5.1.

Tabla 5.19 Resumen de velocidades medias de transmisión de onda

Especie	NM	CH (%)	Vel Syl		Vel USL		Vel BPV		Vel MST	
			M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	10	8,9	5478	5,91	5990	5,78	-	-	5677	5,82
	-	12,0	5369	5,95	5880	5,82	-	-	5570	5,85
Pino silvestre	7	10,6	5358	5,62	5862	5,49	5434	5,33	5538	5,43
	-	12,0	5311	5,59	5813	5,46	5375	5,29	5487	5,40
Pino laricio	12	9,7	4734	7,98	5169	8,36	-	-	4933	7,59
	-	12,0	4658	8,21	5085	8,60	-	-	4853	7,84
Pino pinaster	11	9,2	4520	8,16	4942	8,14	-	-	4695*	8,20
	-	12,0	4427	8,17	4839	8,15	-	-	4597	8,21

* No fue posible realizar la medición número 11 en la especie pino pinaster debido a fallos en el equipo MST. Dado que el CH en la medición número 10 fue casi igual al de la 11 (9,3 frente a 9,2%), para este apartado se utilizaron los datos de MST provenientes de la medición número 10.

La tabla 5.20 presenta la media y el CV de las velocidades por especie, obtenidas a partir de la frecuencia del primer modo natural de vibración longitudinal con diversos equipos en la última medición (datos extraídos de la tabla 5.5). Además, se muestran dichos valores corregidos al 12% de CH, haciendo uso de los modelos de ajuste propuestos en el apartado 5.1.

Tabla 5.20 Resumen de velocidades medias de vibración

Especie	NM	CH (%)	Vel PLG		Vel MTG	
			M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	10	8,9	4870	7,97	4910	7,86
	-	12,0	4780	8,04	4819	7,92
Pino silvestre	7	10,6	4788	6,47	4824	6,47
	-	12,0	4745	6,46	4781	6,46
Pino laricio	12	9,7	4121	9,22	4168	9,02
	-	12,0	4054	9,45	4100	9,24
Pino pinaster	11	9,2	4009	8,93	4049	8,96
	-	12,0	3926	8,94	3965	8,96

5.2.1.2 Técnicas no destructivas puntuales

La tabla 5.21 muestra la media y el CV de la profundidad de penetración y la fuerza de arranque de tornillo por especie, obtenidas en la medición más próxima al 12% de CH (datos extraídos de las tablas 5.11 y 5.13). Además, se muestran dichos valores corregidos al 12% de CH, haciendo uso de los modelos de ajuste propuestos en el apartado 5.1.

Tabla 5.21 Resumen de mediciones con TND puntuales

Especie	NM	CH (%)	Prof. penetración		Fuerza arranque	
			M (mm)	CV (%)	M (kN)	CV (%)
Pino radiata	5	12,4	10,48	16,09	2,14	18,61
	-	12,0	10,41	17,11	2,16	19,97
Pino silvestre	6	12,3	14,44	14,15	1,67	15,02
	-	12,0	14,36	13,89	1,69	15,77
Pino laricio	11	10,9	13,56	17,04	2,04	20,19
	-	12,0	13,82	17,44	1,99	20,82
Pino pinaster	6	11,8	11,56	17,13	2,27	18,94
	-	12,0	11,62	17,34	2,25	18,98

5.2.2 Resultados de las propiedades físicas y mecánicas

5.2.2.1 Densidad local, global y puntual

La tabla 5.22 muestra los resultados de densidad local (obtenida de una rebanada) y densidad global (datos extraídos de la tabla 5.16 correspondientes a las piezas de 3 m). Además, se muestran dichos valores corregidos al 12% de CH.

Tabla 5.22 Resumen de densidades local y global

Especie	NM	CH (%)	Den loc		Den glo	
			M (kg/m ³)	CV (%)	M (kg/m ³)	CV (%)
Pino radiata	10	8,9	489	11,01	494	10,13
	-	12,0	498	10,84	503	9,97
Pino silvestre	7	10,6	495	8,55	507	5,91
	-	12,0	499	8,29	511	5,67
Pino laricio	12	9,7	553	9,79	571	6,72
	-	12,0	559	9,75	578	6,67
Pino pinaster	11	9,2	538	6,76	561	5,72
	-	12,0	546	4,67	569	5,64

Comparativa entre la densidad local y global

Se compararon los datos (tabla 5.22), al 12% de CH, de densidad local (Den loc) obtenidos de una rebanada, según norma UNE-EN 408:2011+A1:2012 y densidad global (Den glo) obtenidos de la pieza completa. Se realizó una regresión lineal entre ambas densidades por especie (ecuación 5.9 y tabla 5.23).

$$\text{Den glo}_{12} = a \cdot \text{Den loc}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.9)$$

Donde: Den glo₁₂ es la densidad global al 12% de CH (kg/m³); Den loc₁₂ es la densidad local al 12% de CH (kg/m³); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.23 Coeficientes de la ecuación 5.9

Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Den glo	0,71	-31,13	-24,30	-0,31	181,81	86,77

A la vista de los resultados, con un coeficiente de determinación del 87%, el uso de la densidad global obtenida de la pieza completa se considera un método equivalente al uso de la densidad local obtenida de una rebanada.

Nota: El borrador definitivo de la norma prEN 384:2015, que fue aprobado por el comité correspondiente en enero de 2016, indica que para piezas que no hayan sido ensayadas hasta rotura está permitido determinar la densidad como masa/volumen de la pieza completa, ajustando dicha densidad a la que se obtendría de una rebanada, y dividiendo el valor obtenido por 1,05 para el caso de coníferas. En el presente estudio, dividiendo las densidades globales entre las locales (tabla 5.22), se encontraron valores en el rango entre 1,01 y 1,04 según la especie. Por tanto, si se determinara la densidad como indica la norma, para este caso se obtendría una densidad local menor que la local real de la tabla 5.22, estando del lado de la seguridad a la hora de asignar clase resistente por el criterio de densidad. Como la finalidad directa en este caso no es asignar una clase resistente en base al valor de densidad, no se ha aplicado dicho coeficiente de corrección.

La densidad es una variable cuyo uso no solo es importante en la caracterización del material, sino que además, junto con los valores de los ensayos no destructivos con técnicas globales se usa para calcular el Edin, el cual se utiliza para la predicción de las propiedades mecánicas. Dado que dichos valores no destructivos son globales, se consideró más oportuno utilizar la densidad global, debido a que ambas variables fueron medidas en la pieza completa, en la cual influyen todas las singularidades y no, exclusivamente, en una rebanada libre de nudos y bolsas de resina.

La tabla 5.24 muestra los resultados de densidad puntual (datos extraídos de la tabla 5.16 y correspondientes a las piezas de 0,5 m), obtenida en la medición más próxima al 12% de CH. Además, se muestran dichos valores corregidos al 12% de CH, haciendo uso de los modelos de ajuste propuestos en el apartado 5.1.

Tabla 5.24 Resumen de densidad puntual

Especie	NM	CH (%)	Den pun	
			M (kg/m ³)	CV (%)
Pino radiata	5	12,4	497	10,04
	-	12,0	496	9,53
Pino silvestre	6	12,3	514	4,67
	-	12,0	513	4,54
Pino laricio	11	10,9	587	10,66
	-	12,0	590	10,64
Pino pinaster	6	11,8	569	7,04
	-	12,0	570	6,94

Nota: Al comparar los datos de profundidad de penetración y fuerza de arranque de tornillo de la tabla 5.21, con los de densidades puntuales de la tabla 5.24, se observó que era el pino radiata la especie con menor densidad puntual (figura 5.32), siendo por tanto esperable una

profundidad de penetración mayor y una fuerza de arranque menor que en el resto de especies. Sin embargo se observó exactamente lo contrario (figuras 5.23 y 5.28). La causa se pudiera deber a la proporción entre madera juvenil y madera adulta. La mayoría de ensayos puntuales fueron realizados sobre madera adulta, la cual tiene una densidad mayor que la madera juvenil, siendo especialmente acusada dicha diferencia en la especie pino radiata.

5.2.2.2 Módulo de elasticidad local y global en flexión

La tabla 5.25 muestra los resultados de módulo de elasticidad local y global en flexión obtenidos en ensayo en máquina universal. Además, se muestran dichos valores corregidos al 12% de CH, haciendo uso de lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010.

En la norma UNE-EN 384:2010 se establecen las correcciones a realizar en el valor del E cuando el CH es diferente al 12%, y si se encuentra entre 8% y el 18%. Si el CH es superior al 18% se asimilará su valor como el 18% para realizar la corrección (UNE-EN 384:2010 Erratum:2011). Se realizará una corrección del 1% por cada variación del 1% en el CH, de forma que cuanto más bajo sea el CH, más alto será el valor de E.

Tabla 5.25 Resumen de los módulos de elasticidad local y global en flexión

Especie	NM	CH (%)	Eloc		Eglo	
			M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)
Pino radiata	10	8,9	11407	25,89	10568	21,87
	-	12,0	10957	26,74	10150	22,76
Pino silvestre	7	10,6	12862	17,35	11594	17,04
	-	12,0	12548	17,56	11312	17,32
Pino laricio	12	9,7	10478	26,64	9487	23,67
	-	12,0	10223	27,11	9254	24,20
Pino pinaster	11	9,2	9397	23,43	7937	21,51
	-	12,0	9204	23,55	7773	21,55

5.2.2.3 Resistencia a la flexión axial (tensión de rotura)

La tabla 5.26 muestra los resultados de tensión de rotura obtenidos en el ensayo de flexión. Dichos datos, según lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010, no precisan corrección por CH cuando éste sea diferente al 12%.

Tabla 5.26 Resumen de tensiones de rotura

Especie	NM	CH (%)	Trot	
			M (N/mm ²)	CV (%)
Pino radiata	10	8,9	67,35	43,99
Pino silvestre	7	10,6	74,41	25,86
Pino laricio	12	9,7	52,18	46,16
Pino pinaster	11	9,2	52,37	37,39

5.2.3 Estimación de la densidad

Para la estimación de la densidad puntual (tabla 5.24) se utilizaron las técnicas no destructivas puntuales de: resistencia a la penetración y arranque de tornillo (tabla 5.21).

Para la estimación de la densidad se realizaron regresiones lineales múltiples entre la densidad puntual y la profundidad de penetración, así como entre la densidad puntual y la fuerza de arranque de tornillo, ajustadas al 12% de CH, dando lugar a una ecuación de estimación (ecuación 5.10 y tabla 5.27).

$$\text{Den pun}_{12} = a \cdot \text{VA}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.10)$$

Donde: Den pun_{12} es la densidad puntual al 12% de CH (kg/m^3); VA_{12} es la variable estimadora al 12% de CH (mm o kN); Zrad : es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil : es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar : es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad , Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.27 Coeficientes de la ecuación 5.10

Estimada	Variable VA	a	b	c	d	e	R ² (%)
Densidad	Prof. penetración	-10,32	-86,42	-28,69	43,02	689,73	55,71
	Fuerza arranque	77,39	-66,63	-13,21	41,09	395,28	68,34

Los valores de coeficiente de determinación (56% y 68%) son del orden de los valores (59 % y 64%) presentados por Íñiguez (2007) y más altos que los valores (32% y 33%) presentados por Montero (2013).

5.2.4 Estimación del módulo de elasticidad

Dentro de este apartado se realizó la estimación del módulo de elasticidad local y global en flexión, haciendo uso tanto de la velocidad corregida al 12% de CH, como del módulo de elasticidad dinámico.

5.2.4.1 Utilizando la velocidad

Tras comprobar que las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies eran similares, existiendo sin embargo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de E (figuras 5.33 y 5.34), se realizaron regresiones lineales múltiples entre el módulo de elasticidad estático y la velocidad obtenida con diferentes equipos.

Figura 5.33 Regresiones lineales entre Eloc y velocidad de MST

Figura 5.34 Regresiones lineales entre Eglo y velocidad de MTG

Dando lugar a una ecuación de estimación (ecuación 5.11 y tabla 5.28).

$$E_{12} = a \cdot Vel_{12} + b \cdot Zrad + c \cdot Zsil + d \cdot Zlar + e \quad (5.11)$$

Donde: E_{12} es el módulo de elasticidad al 12% de CH (N/mm²); Vel_{12} es la velocidad al 12% de CH (m/s); $Zrad$: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; $Zsil$: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; $Zlar$: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las $Zrad$, $Zsil$ y $Zlar$ son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.28 Coeficientes de la ecuación 5.11

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Eloc	Vel Syl	6,06	-4007,72	-2005,93	-378,45	-17604,10	72,94
	Vel USL	5,40	-3868,19	-1918,01	-310,70	-16943,00	70,85
	Vel BPV	6,91	0	0	0	-24580,7	79,54
	Vel MST	5,95	-4042,37	-1958,06	-507,51	-18159,50	72,65
	Vel PLG	6,19	-3534,53	-1729,80	230,18	-15114,00	80,65
	Vel MTG	6,17	-3515,86	-1690,89	187,40	-15246,40	80,08
Eglo	Vel Syl	5,07	-2448,74	-941,79	310,47	-14682,70	79,31
	Vel USL	4,55	-2361,25	-895,65	360,27	-14265,60	77,96
	Vel BPV	5,64	0	0	0	-19022,80	67,19
	Vel MST	5,00	-2486,65	-909,82	200,02	-15189,90	79,22
	Vel PLG	5,10	-1978,78	-639,87	831,28	-12258,40	84,64
	Vel MTG	5,09	-1972,06	-616,10	794,67	-12407,60	84,35

A la vista de los resultados, la estimación del módulo de elasticidad global presentó coeficientes de determinación sensiblemente más elevados que el local.

Todos los equipos de ultrasonidos utilizados presentaron un coeficiente de determinación similar, obteniéndose en general coeficientes más altos con los equipos de vibración, al igual que otros autores (Montero 2013; Vega 2013).

5.2.4.1 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico

Se realizó la misma estimación del apartado anterior, es decir el Eloc y el Eglo, pero utilizando como variable predictora el Edin, obtenido a partir la ecuación 5.12, donde fue utilizada la velocidad (Vel) de cada equipo y la densidad global (Den glo), ambas corregidas al 12% de CH.

$$\text{Edin} = \text{Den glo} \cdot \text{Vel}^2 \quad (5.12)$$

Al igual que en el caso anterior las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies eran similares, existiendo sin embargo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de E (figuras 5.35 y 5.36).

Figura 5.35 Regresiones lineales entre Eloc y Edin PLG

Figura 5.36 Regresiones lineales entre Eglo y Edin USLab

Se realizaron regresiones lineales múltiples entre el E local y global y el Edin obtenido con diferentes equipos, dando lugar a una ecuación de estimación (ecuación 5.13 y tabla 5.29).

$$E_{12} = a \cdot Edin_{12} + b \cdot Z_{rad} + c \cdot Z_{sil} + d \cdot Z_{lar} + e \quad (5.13)$$

Donde: E_{12} es el módulo de elasticidad al 12% de CH (N/mm^2); $Edin_{12}$ es el módulo de elasticidad dinámico al 12% de CH (N/mm^2); Z_{rad} : es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Z_{sil} : es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Z_{lar} : es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Z_{rad} , Z_{sil} y Z_{lar} son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.29 Coeficientes de la ecuación 5.13

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Eloc	Edin Syl	1,00	-1658,79	137,23	-376,33	-1997,19	86,58
	Edin USL	0,84	-1658,29	91,51	-357,67	-2022,98	85,94
	Edin BPV	1,09	0	0	0	-3530,39	84,80
	Edin MST	0,94	-1643,51	218,55	-492,94	-2218,94	86,67
	Edin PLG	1,11	-1337,81	359,43	202,21	-603,56	89,65
	Edin MTG	1,10	-1328,14	380,56	164,12	-715,62	89,63
Eglo	Edin Syl	0,82	-438,89	893,17	329,53	-1470,74	90,24
	Edin USL	0,69	-451,50	843,01	339,68	-1534,90	90,22
	Edin BPV	0,93	0	0	0	-2520,88	79,43
	Edin MST	0,78	-428,70	958,05	232,23	-1661,89	90,43
	Edin PLG	0,90	-144,26	1105,25	814,85	-226,27	91,55
	Edin MTG	0,90	-139,37	1119,60	782,94	-327,34	91,68

Los resultados obtenidos tanto con los equipos de ultrasonidos, como con los de vibración, presentaron un coeficiente de determinación similar tanto en la estimación del módulo de elasticidad local como global.

La estimación realizada con el Edin presentó coeficientes de determinación mayores que la realizada con la velocidad, al igual que les sucedía a otros autores (Íñiguez 2007; Montero 2013; Vega 2013).

5.2.5 Estimación de la tensión de rotura

Se realizó la estimación de la tensión de rotura (Trot) haciendo uso, tanto de la velocidad, como el módulo de elasticidad dinámico.

5.2.5.1 Utilizando la velocidad

Al igual que en los casos anteriores las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies eran similares, existiendo sin embargo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de Trot (figura 5.37).

Figura 5.37 Regresiones lineales entre Trot y velocidad de Sylvest Duo

Se realizaron regresiones lineales múltiples entre la tensión de rotura y la velocidad obtenida con diferentes equipos, dando lugar a una ecuación de estimación (ecuación 5.14 y tabla 5.30).

$$\text{Trot} = a \cdot \text{Vel}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.14)$$

Donde: Trot es la tensión de rotura (N/mm^2); Vel_{12} es la velocidad al 12% de CH (m/s); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.30 Coeficientes de la ecuación 5.14

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Trot	Vel Syl	0,0476	-30,33	-20,03	-11,18	-158,43	55,70
	Vel USL	0,0422	-28,92	-19,04	-10,58	-151,79	53,57
	Vel BPV	0,0442	0	0	0	-162,97	42,65
	Vel MST	0,0458	-29,62	-18,75	-11,94	-158,18	53,76
	Vel PLG	0,0487	-26,64	-17,89	-6,40	-139,03	61,67
	Vel MTG	0,0486	-26,53	-17,62	-6,74	-140,23	61,31

A la vista de los resultados, los equipos de transmisión de onda presentaron un coeficiente de determinación similar en la estimación de la tensión de rotura, siendo

ligeramente superior cuando se utilizaron equipos de vibración, al igual que le sucedía a Montero (2013).

5.2.5.2 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico

Al igual que en los casos anteriores las pendientes de las rectas de regresión para las diferentes especies eran similares, existiendo sin embargo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de Trot (figura 5.38).

Figura 5.38 Regresiones lineales entre Trot y Edin de PLG

Se realizaron regresiones lineales múltiples entre la Trot y el Edin obtenido con diferentes equipos, dando lugar a una ecuación de estimación (ecuación 5.15 y tabla 5.31).

$$\text{Trot} = a \cdot \text{Edin}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (5.15)$$

Donde: Trot es la tensión de rotura (N/mm^2); Edin_{12} es el módulo de elasticidad dinámico al 12% de CH (N/mm^2); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.31 Coeficientes de la ecuación 5.15

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Trot	Edin Syl	0,0080	-12,47	-3,75	-11,42	-37,72	68,46
	Edin USL	0,0067	-12,34	-4,00	-11,21	-37,51	67,47
	Edin BPV	0,0075	0	0	0	-37,06	53,47
	Edin MST	0,0075	-11,92	-2,71	-12,17	-38,09	66,90
	Edin PLG	0,0087	-9,72	-1,80	-6,72	-25,99	70,18
	Edin MTG	0,0088	-9,66	-1,65	-7,03	-26,92	70,21

A la vista de los resultados, la estimación de la tensión de rotura haciendo uso del módulo de elasticidad dinámico mejoró el modelo respecto al uso de la velocidad, al igual que sucedió en otros estudios científicos (Hermoso 2001; Esteban 2003;

Íñiguez 2007; Montero 2013; Vega 2013). Asimismo, se redujo la diferencia existente entre el uso de equipos de transmisión de onda y vibración, cuando fue utilizado el Edin en lugar de la velocidad solamente.

5.2.5.3 Utilizando el módulo de elasticidad dinámico y el CKDR

La resistencia depende en mayor medida de la presencia de singularidades locales de la pieza que el módulo de elasticidad, lo cual provoca que su estimación mediante un parámetro global, como la velocidad de onda o el módulo de elasticidad dinámico, presente coeficientes de determinación menores que cuando la variable estimada es el módulo de elasticidad estático.

Una de las singularidades más influyentes en la resistencia son los nudos, por ello, se planteó una corrección por nudosidad en los modelos de estimación de la tensión de rotura haciendo uso del parámetro CKDR. En la tabla 5.32 se presentaron los valores medios y los CV del CKDR obtenidos para cada especie.

Como se puede observar, fue registrado el mayor CKDR global de toda la pieza (CKDRg), y el CKDR de la zona central (CKDRc), donde el momento flector es máximo. En este caso, se consideró como zona central una distancia de 8h, igual al tercio central más 1h a cada lado, pues la zona exterior al tercio central cercana a los puntos de carga presenta también un momento muy próximo al máximo (Arriaga *et al.* 2014).

Tabla 5.32 Valores de CKDR

Especie	CKDR global	CV (%)	CKDR central	CV (%)
Pino radiata	0,20	27,97	0,17	47,93
Pino silvestre	0,14	43,15	0,12	46,59
Pino laricio	0,21	44,38	0,18	56,60
Pino pinaster	0,26	26,18	0,24	37,95

Se incluyó el parámetro CKDR en la regresión lineal múltiple de estimación de la Trot a partir del Edin, con intención de obtener mayores coeficientes de determinación, obteniendo la ecuación 5.16 y tabla 5.33.

$$\text{Trot} = a \cdot \text{Edin}_{12} + b \cdot \text{CKDR} + c \cdot \text{Zrad} + d \cdot \text{Zsil} + e \cdot \text{Zlar} + f \quad (5.16)$$

Donde: Trot es la tensión de rotura (N/mm²); Edin₁₂ es el módulo de elasticidad dinámico al 12% de CH (N/mm²); CKDR es el parámetro de nudosidad; Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.33 Coeficientes de la ecuación 5.16

Variable	Variable	a	b	c	d	e	f	R ² (%)
Edin Syl	CKDRg	0,0076	-34,26	-13,19	-6,48	-12,58	-23,89	69,21
Edin USL		0,0063	-33,37	-13,01	-6,61	-12,34	-23,93	68,17
Edin BPV		0,0064	-45,61	0	0	0	-14,69	54,45
Edin MST		0,0070	-42,09	-12,92	-6,19	-13,57	-21,31	68,05
Edin PLG		0,0085	-26,93	-10,38	-4,01	-7,82	-15,54	70,63
Edin MTG		0,0084	-25,27	-10,26	-3,71	-8,05	-17,04	70,61
Edin Syl	CKDRc	0,0074	-33,75	-12,82	-6,07	-12,65	-23,36	69,42
Edin USL		0,0062	-33,87	-12,67	-6,27	-12,46	-23,00	68,43
Edin BPV		0,0072	-14,76	0	0	0	-31,17	53,56
Edin MST		0,0069	-37,99	-12,38	-5,42	-13,51	-21,95	68,13
Edin PLG		0,0083	-26,74	-10,12	-3,72	-7,95	-15,16	70,76
Edin MTG		0,0083	-25,64	-10,03	-3,48	-8,19	-16,46	70,75

A la vista de los resultados obtenidos, se observó que la mejora obtenida en el coeficiente de determinación con el CKDR global fue similar a la obtenida con el CKDR local, si bien, ambas mejorías del coeficiente de determinación fueron insignificantes (1 %). Sin embargo, en estudios anteriores, la inclusión de criterios de nudosidad en la ecuación de estimación de la tensión de rotura produjeron incrementos del coeficiente de determinación del 11% (Hermoso 2001) y del 15% (Íñiguez 2007).

El nivel de significancia del CKDR en el modelo estudiado se encontró comprendido en p-valores entre 0,06 y 0,26, al ser dichos valores superiores a 0,05 no se pudo asegurar, con un nivel de confianza del 95%, que existiera relación estadísticamente significativa entre las variables.

5.3 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA

La tabla 5.34 resume el número de probetas utilizadas, sus dimensiones y la media de su CH por especie.

Tabla 5.34 Resumen de especies, CH y dimensiones iniciales

Especie	CH medio (%)	Dimensiones nominales (mm)	Dimensiones reales (mm)	Nº de piezas
Pino radiata	11,4	90x140x4000	103x144x3997	30
Pino silvestre	10,0	90x140x4000	89x138x4000	30
Pino laricio	12,7	90x140x4000	88x139x4025	30
Pino pinaster	9,5	90x140x4000	87x138x3996	30
TOTAL				120

En el presente estudio no se realizó corrección por CH, debido a que para cada especie, todas las mediciones (4, 3, 2 y 1 m) se realizaron a un CH constante. Como se compararon las mediciones a diferentes longitudes (distancia entre sensores para los equipos de transmisión de onda) dentro de una misma especie y un mismo CH, no se consideró necesario corregir las mediciones a un CH de referencia del 12%.

5.3.1 Transmisión de onda

La tabla 5.35 presenta los valores de las variables estudiadas por especie.

Tabla 5.35 Resumen de tiempos de transmisión de onda

Especie	L (m)	T Syl		T USL		T BPV		T MST	
		M (µs)	CV (%)	M (µs)	CV (%)	M (µs)	CV (%)	M (µs)	CV (%)
Pino radiata	4	768	6,59	704	6,57	-	-	744	6,25
	3	564	6,38	514	6,12	-	-	554	6,05
	2	366	5,79	336	5,50	-	-	359	5,67
	1	177	6,02	164	5,85	-	-	176	5,82
Pino silvestre	4	761	6,45	700	6,62	753	6,79	762	6,01
	3	562	6,35	512	6,13	554	6,03	563	5,48
	2	368	5,89	336	5,67	366	5,34	369	5,34
	1	180	6,39	165	5,69	182	5,17	183	5,75
Pino laricio	4	796	6,15	723	6,09	-	-	772	5,26
	3	581	6,17	524	5,87	-	-	558	5,33
	2	374	5,44	341	5,07	-	-	364	5,04
	1	185	5,63	168	5,49	-	-	175	6,30
Pino pinaster	4	909	9,52	837	9,77	-	-	881	9,03
	3	656	9,15	602	9,52	-	-	644	8,65
	2	425	9,19	387	9,09	-	-	421	8,36
	1	208	8,49	191	8,15	-	-	202	7,66

La tabla 5.36 resume las medias de las velocidades de transmisión de onda obtenidas a partir de los tiempos (tabla 5.35) con los diferentes equipos y para las cuatro especies estudiadas.

Tabla 5.36 Resumen de velocidades de transmisión de onda

Especie	L (m)	Vel Syl		Vel USL		Vel BPV		Vel MST	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	4	5227	6,41	5704	6,37	-	-	5410	6,09
	3	5328	6,17	5839	5,87	-	-	5446	5,85
	2	5434	5,56	5921	5,29	-	-	5578	5,53
	1	5642	5,75	6116	5,58	-	-	5781	5,77
Pino silvestre	4	5275	6,00	5734	6,19	5331	6,31	5287	5,60
	3	5340	5,88	5867	5,62	5420	5,52	5356	5,07
	2	5434	5,35	5946	5,22	5464	4,93	5447	4,96
	1	5568	5,76	6088	5,23	5507	4,83	5562	5,45
Pino laricio	4	5072	5,88	5586	5,81	-	-	5246	5,08
	3	5176	5,87	5735	5,55	-	-	5407	5,18
	2	5348	5,21	5871	4,87	-	-	5534	4,88
	1	5434	5,40	5980	5,29	-	-	5832	6,11
Pino pinaster	4	4435	9,58	4820	9,86	-	-	4584	9,15
	3	4596	9,11	5014	9,49	-	-	4699	8,61
	2	4721	8,89	5188	8,79	-	-	4794	8,21
	1	4839	8,26	5283	7,97	-	-	5038	7,56

Las figuras 5.39, 5.40, 5.41 y 5.42 muestran por especie, la línea de tendencia de la media de velocidades de transmisión de onda (tabla 5.36) con los diferentes equipos en función de la longitud (distancia entre sensores).

Figura 5.39 Velocidad de transmisión de onda (pino radiata)

Figura 5.40 Velocidad de transmisión de onda (pino silvestre)

Figura 5.41 Velocidad de transmisión de onda (pino laricio)

Figura 5.42 Velocidad de transmisión de onda (pino pinaster)

A la vista de las figuras, para los cuatro equipos estudiados, y todas las especies se observó influencia de la longitud (distancia entre sensores) en la velocidad de transmisión de onda, al igual que enunciaron otros autores haciendo uso del equipo Sylvatest (Arriaga *et al.* 2006; Acuña *et al.* 2007; Íñiguez *et al.* 2007). La velocidad presentó una variación que oscila entre 1,8 y 2,8% por cada metro de variación en la longitud, según equipo y especie.

Se observó, además, las diferencias de velocidad obtenidas mediante el uso de diferentes equipos de transmisión de onda.

5.3.2 Vibración

La tabla 5.37 presenta los valores medios de las velocidades y CV, obtenidos mediante equipos de vibración longitudinal: PLG y MTG.

Tabla 5.37 Resumen de velocidades de vibración

Especie	L (m)	Vel PLG		Vel MTG	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	4	4728	7,75	4771	7,66
	3	4748	8,13	4783	8,03
	2	4758	8,00	4781	7,91
	1	4767	8,34	-	-
Pino silvestre	4	4754	7,40	4866	7,18
	3	4826	7,02	4866	7,00
	2	4864	6,70	4889	6,60
	1	4902	6,54	-	-
Pino laricio	4	4644	6,14	4691	6,20
	3	4654	6,25	4693	6,21
	2	4676	6,06	4696	5,98
	1	4671	6,46	-	-
Pino pinaster	4	3972	9,88	4018	9,81
	3	3980	9,43	4017	9,33
	2	4019	9,41	4046	9,32
	1	4014	9,65	-	-

Las figuras 5.43, 5.44, 5.45 y 5.46 muestran por especie, la línea de tendencia de la media de velocidades (tabla 5.37) obtenidas con equipos de vibración en función de la longitud (distancia entre sensores). Se mantuvo el mismo orden de magnitud en los ejes que en las gráficas 5.39, 5.40, 5.41 y 5.42 con objeto de hacer comparables las velocidades entre diferentes equipos.

Figura 5.43 Velocidad de vibración (pino radiata)

Figura 5.44 Velocidad de vibración (pino silvestre)

Figura 5.45 Velocidad de vibración (pino laricio)

Figura 5.46 Velocidad de vibración (pino pinaster)

A la vista de las gráficas, para los dos equipos estudiados y todas las especies, no se observó influencia de la longitud de medida en la velocidad obtenida a partir de la frecuencia del primer modo natural de vibración longitudinal.

Además, se observó que la velocidad de transmisión de onda presenta valores más elevados (8 a 33%) que la obtenida mediante vibración.

5.3.3 Procedimiento de corrección

Debido a la variación de velocidad de transmisión de onda con la longitud (distancia entre sensores) que se encontró en este estudio, resultaba difícil consensuar qué velocidad debe utilizarse para el cálculo del Edin según la ecuación 5.12, donde se observó que el uso de una velocidad errónea podría magnificar el error de cálculo al elevar dicho valor al cuadrado.

Teniendo en cuenta que la influencia de la longitud de medida solo se encontró en velocidad obtenida mediante equipos de transmisión de onda, cuya variable básica es el tiempo, no así, en la velocidad obtenida mediante equipos de vibración, cuya variable básica es la frecuencia, se realizó este estudio para los primeros únicamente, centrándose en la variable básica de medida, el tiempo.

Para ello, se realizaron regresiones lineales simples entre el tiempo de propagación de onda y la longitud de medida (distancia entre sensores) para cada equipo y especie, dando lugar a la ecuación 5.17, tabla 5.38 y figuras 5.47, 5.48, 5.49 y 5.50.

$$T = a \cdot L + b \quad (5.17)$$

Donde: T es el tiempo de transmisión de onda (μ s); L es la longitud de medida (m).

Tabla 5.38 Coeficientes de la ecuación 5.17

Estimada	Variable	Especie	a	b	R ² (%)
Tiempo Sylvatest	Longitud (distancia entre sensores)	radiata	196,74	-21,60	97,83
		silvestre	193,73	-15,71	97,83
		laricio	202,69	-23,57	98,04
		pinaster	233,66	-33,30	95,50
Tiempo USLab		radiata	179,69	-18,54	97,89
		silvestre	178,29	-16,81	98,91
		laricio	183,57	-20,83	98,13
		pinaster	215,67	-34,03	95,30
Tiempo BPV		silvestre	190,26	-11,20	97,78
Tiempo MST		radiata	189,87	-15,06	98,00
		silvestre	192,94	-12,54	98,18
		laricio	197,08	-26,43	98,51
	pinaster	226,34	-27,68	95,99

Figura 5.47 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino radiata)

Figura 5.48 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino silvestre)

Figura 5.49 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino laricio)

Figura 5.50 Regresión lineal, tiempo de transmisión de onda y longitud (pino pinaster)

Las regresiones lineales realizadas entre 1 y 4 m de longitud mostraron para una longitud igual a cero, un valor negativo de tiempo, lo cual no es posible pues para longitud cero el tiempo debería ser cero. A esta diferencia de tiempo respecto a cero, se denominó como tiempo de retardo (TR), y corresponde al término independiente de la ecuación de regresión, punto donde la recta corta al eje de ordenadas (coeficiente "b" de la tabla 5.38).

Se desplazó dicha recta de regresión hasta conseguir que para una longitud igual a cero, el tiempo fuese cero. Los nuevos tiempos de transmisión de onda corregidos fueron la resta de los tiempos de transmisión de onda menos el tiempo de retardo en cada caso. Las nuevas velocidades obtenidas a partir de dichos tiempos de transmisión de onda corregidos (tabla 5.39), se mostraron independientes de la

longitud de medida (distancia entre sensores), como mostraron las nuevas regresiones realizadas (figuras 5.51, 5.52, 5.53 y 5.54).

Tabla 5.39 Resumen de velocidades de transmisión de onda corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl		Vel USL		Vel BPV		Vel MST	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	4	5083	6,24	5557	6,21	-	-	5284	5,96
	3	5130	5,95	5634	5,68	-	-	5277	5,68
	2	5129	5,26	5609	5,02	-	-	5315	5,28
	1	5026	5,14	5490	5,02	-	-	5245	5,24
Pino silvestre	4	5168	5,88	5598	6,05	5252	6,22	5184	5,50
	3	5194	5,73	5679	5,46	5312	5,42	5215	4,95
	2	5211	5,14	5661	4,99	5301	4,79	5231	4,78
	1	5119	5,33	5522	4,78	5186	4,56	5131	5,05
Pino laricio	4	4926	5,72	5429	5,65	-	-	5055	4,90
	3	4972	5,65	5514	5,35	-	-	5138	4,93
	2	5030	4,91	5532	4,60	-	-	5123	4,53
	1	4815	4,81	5316	4,72	-	-	4988	5,26
Pino pinaster	4	4276	9,24	4628	9,47	-	-	4429	8,84
	3	4371	8,67	4742	8,98	-	-	4485	8,23
	2	4373	8,26	4763	8,10	-	-	4467	7,67
	1	4164	7,15	4475	6,79	-	-	4371	6,59

Figura 5.51 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino radiata)

Figura 5.52 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino silvestre)

Figura 5.53 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino laricio)

Figura 5.54 Velocidad de transmisión de onda corregida (pino pinaster)

A la vista de las gráficas anteriores se observó que la influencia de la longitud (distancia entre sensores) en la velocidad de transmisión onda fue corregida con éxito.

Además, los valores de las velocidades obtenidas a partir del tiempo de transmisión de onda corregido, fueron menores que las velocidades obtenidas originalmente, lo cual redujo la distancia que existía respecto a los valores de velocidad obtenidos mediante equipos de vibración, hasta situarse entre un 4 y un 20%.

El tiempo de retardo podría estar influenciado no solo por el equipo y la especie, sino también por otros factores como la nudosidad, como ya enunciaran otros autores (Íñiguez *et al.* 2007). En la tabla 5.40 se exponen los TR en valor absoluto junto al criterio de nudosidad CKDR máximo.

Tabla 5.40 Tiempo de retardo y CKDR máximo

Equipo	Especie	TR (μs)	CKDR global
Tiempo Sylvatest	radiata	21,60	0,17
	silvestre	15,71	0,13
	laricio	23,57	0,18
	pinaster	33,30	0,28
Tiempo USLab	radiata	18,54	0,17
	silvestre	16,81	0,13
	laricio	20,83	0,18
	pinaster	34,03	0,28
Tiempo BPV	silvestre	11,20	0,13
Tiempo MST	radiata	15,06	0,17
	silvestre	12,54	0,13
	laricio	26,43	0,18
	pinaster	27,68	0,28

Se realizó una regresión lineal entre el TR en valor absoluto y CKDR para cada especie, obteniendo la ecuación 5.18 y la figura 5.55.

$$TR = 110,25 \cdot CKDR + 1,23 \quad R^2 = 94,05 \% \quad (5.18)$$

Donde: TR es el tiempo de retardo (μs); CKDR es el parámetro de nudosidad.

Figura 5.55 Regresión lineal entre tiempo de retardo medio (todos los equipos juntos) y CKDR máximo

A la vista de estos resultados, se puede afirmar que el CKDR es un factor que influye en el tiempo de retardo. Sin embargo, en el presente análisis se encontró mezclado con la especie, dado que cada CKDR diferente correspondía a una especie diferente, y por tanto, podría deberse a un efecto combinado CKDR + especie.

5.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES

Las piezas utilizadas para el estudio de la posición de los sensores fueron las mismas que se utilizaron para el estudio de la influencia de la longitud de medida. Por lo tanto, el resumen del número de probetas utilizadas, y sus dimensiones por especie puede consultarse en la tabla 5.34.

Dado que las piezas se encontraban a un CH de equilibrio próximo al 12% y que todos los ensayos se realizaron al mismo CH, no se aplicó corrección por CH en el presente estudio. Sin embargo, sí se aplicó corrección por la longitud de medida en cada caso.

5.4.1 Posición testa-testa

Los datos fueron los mismos que se utilizaron para el estudio de la influencia de la longitud de medida, las velocidades de transmisión de onda corregidas por la longitud de medida se mostraron en la tabla 5.39. Para que dichas velocidades testa-testa (que fueron medidas a 4, 3, 2 y 1 m de longitud) pudieran ser comparadas con las velocidades cara-cara y canto-canto (que fueron medidas a 3,52, 2,52, 1,52 y 0,52 m de longitud), se procedió a realizar la media entre las velocidades testa-testa consecutivas, obteniendo velocidades testa-testa (Vel Te) a 3,50, 2,50 y 1,50 m de longitud (tabla 5.41). A pesar de que una vez corregido el efecto de la longitud de medida la velocidad es constante, se decidió disponer de las velocidades a las 3 longitudes para disponer de más datos de análisis.

Tabla 5.41 Resumen de medias de velocidades de transmisión de onda testa-testa

Especie	L (m)	Vel Syl Te		Vel USL Te		Vel BPV Te		Vel MST Te	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3,50	5107	6,06	5595	5,92	-	-	5280	5,79
	2,50	5130	5,57	5622	5,33	-	-	5296	5,45
	1,50	5078	5,16	5550	4,98	-	-	5280	5,19
Pino silvestre	3,50	5181	5,78	5639	5,71	5282	5,76	5200	5,19
	2,50	5202	5,40	5670	5,18	5307	5,08	5223	4,83
	1,50	5165	5,17	5591	4,82	5244	4,61	5181	4,83
Pino laricio	3,50	4949	5,63	5472	5,47	-	-	5096	4,87
	2,50	5001	5,23	5523	4,95	-	-	5130	4,66
	1,50	4922	4,81	5424	4,61	-	-	5055	4,65
Pino pinaster	3,50	4323	8,89	4685	9,17	-	-	4457	8,47
	2,50	4372	8,38	4752	8,44	-	-	4476	7,87
	1,50	4269	7,63	4619	7,32	-	-	4419	7,08

5.4.2 Posición cara-cara directa y canto-canto directo

Se recuerda que las medidas directas son aquellas que se realizan entre caras o cantos opuestos. En el caso de las lecturas cara-cara, se realizaron dos medidas paralelas entre ambas caras, tomándose como valor la media de ambas.

Para las lecturas de ultrasonidos, existen unas limitaciones de longitud mínima de medida, motivadas por la longitud de onda (la cual depende de la frecuencia de los sensores del equipo). Se expresa dicha limitación en función de la relación entre longitud de la pieza medida y longitud de onda (L/λ). Algunos autores consideraron que para medidas en sentido paralelo a la fibra dicha relación debe ser mayor de 3 (Oliveira *et al.* 2006) y otros autores fijaron dicho valor en 5 (Bartholomeu *et al.* 2003). Además, en la norma brasileña de clasificación mediante ultrasonidos (NBR 15521), se fijaron las longitudes mínimas que permiten utilizar los equipos de ultrasonidos en función de la frecuencia utilizada. Asimismo, algunos fabricantes expresaron sus propias limitaciones mínimas, por ejemplo en el caso del equipo Sylvatest Duo se fijó en 80 cm (Sylvatest 2016).

A pesar de dichas limitaciones, en el presente estudio se realizaron medidas a una distancia mínima de 0,52 m, la cual se encuentra en el límite admisible para el caso de los equipos USLab y Steinkamp BPV, y fuera del rango admisible en el caso de Sylvatest Duo.

Antes de realizar la corrección por efecto de longitud de medida, para los cuatro equipos utilizados fueron observados valores anómalos en las velocidades obtenidas de las mediciones realizadas a 0,52 m de longitud, siendo aparentemente normales los valores obtenidos al resto de longitudes, como ejemplo se muestra la figura 5.56.

Figura 5.56 Gráfico de medias de la velocidad canto-canto directo Sylvatest Duo y longitud (pino laricio)

Por todo lo anteriormente expuesto, se decidió descartar las mediciones realizadas a una longitud igual a 0,52 m, ya que dichos valores anómalos podrían deberse a un conjunto de factores entre los que podrían figurar la escasa longitud de la medida y el ángulo de inclinación de la medida con respecto a la fibra.

Tras comprobar que en las mediciones cara-cara directa y canto-canto directo restantes también se apreció un efecto de la longitud de medida (en la figura 5.56 se aprecia para las tres longitudes mayores), se procedió a aplicar el procedimiento de corrección basado en el tiempo de retardo explicado en el apartado 5.3.3 (para las tres longitudes mayores), obteniendo las velocidades medias a partir del tiempo

corregido. Dichas velocidades se muestran en las tablas 5.42 y 5.43. Las longitudes aquí mostradas son longitudes en planta, sin tener en cuenta el ángulo, si bien en el cálculo de las velocidades se tuvieron en cuenta las longitudes reales.

Tabla 5.42 Velocidades de transmisión de onda cara-cara directa corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl CrD		Vel USL CrD		Vel BPV CrD		Vel MST CrD	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3,52	4849	6,68	5355	7,52	-	-	5245	6,51
	2,52	4929	6,50	5468	6,29	-	-	5252	6,20
	1,52	4813	5,09	5298	5,07	-	-	5235	5,40
Pino silvestre	3,52	5002	6,18	5387	6,91	5026	8,17	5128	5,47
	2,52	5052	6,41	5490	5,75	5145	5,51	5137	5,01
	1,52	4982	5,45	5337	4,78	4961	5,30	5120	4,61
Pino laricio	3,52	4660	5,43	5068	6,19	-	-	4897	5,34
	2,52	4677	6,13	5161	6,24	-	-	4970	5,66
	1,52	4655	5,18	5029	4,88	-	-	4871	5,04
Pino pinaster	3,52	4108	9,28	4347	9,24	-	-	4363	8,82
	2,52	4155	8,67	4403	9,42	-	-	4408	8,45
	1,52	4083	8,01	4320	7,81	-	-	4343	8,03

Tabla 5.43 Velocidades de transmisión de onda canto-canto directo corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl CtD		Vel USL CtD		Vel BPV CtD		Vel MST CrtD	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3,52	4892	7,30	5296	7,79	-	-	5254	6,75
	2,52	4972	6,67	5429	6,59	-	-	5264	6,40
	1,52	4852	5,33	5231	5,03	-	-	5243	5,71
Pino silvestre	3,52	5021	6,39	5415	6,98	5030	8,57	5285	5,89
	2,52	5085	5,83	5525	5,96	5179	5,75	5236	4,94
	1,52	4992	5,39	5362	5,78	4945	4,68	5159	4,74
Pino laricio	3,52	4749	5,86	5113	6,93	-	-	5029	5,56
	2,52	4765	6,66	5208	6,63	-	-	5111	5,35
	1,52	4740	4,90	5066	4,50	-	-	5001	5,71
Pino pinaster	3,52	4056	9,31	4315	9,40	-	-	4408	9,21
	2,52	4135	8,85	4417	10,10	-	-	4462	8,72
	1,52	4023	8,34	4276	8,28	-	-	4385	8,45

5.4.3 Posición cara-cara indirecta y canto-canto indirecto

Se recuerda que las medidas indirectas son aquellas que se realizan en la misma cara o mismo canto. En el caso de las lecturas cara-cara, se realizaron dos medidas paralelas en ambas caras, tomándose como valor la media de ambas.

En las medidas indirectas también se registraron valores anómalos en las velocidades obtenidas con la longitud más corta (a modo de ejemplo se muestra la figura 5.57), las causas, si bien en este caso, no pudieron ser debidas a un efecto del ángulo de inclinación de la medida, pudieron deberse además de a la escasa

longitud de la pieza a la recepción de ondas superficiales además de las volumétricas. Por tanto se decidió descartar las mediciones realizadas a una longitud igual a 0,52 m.

Al igual que en las lecturas directas, se observó influencia de la longitud de medida en las medidas realizadas en las tres longitudes mayores, como puede observarse en la figura 5.57.

Figura 5.57 Gráfico de medias de la velocidad cara-cara indirecta MST y longitud (pino radiata)

Las tablas 5.44 y 5.45 presentan los valores medios de las velocidades obtenidas con tiempos corregidos por efecto de longitud de medida.

Tabla 5.44 Velocidades de transmisión de onda cara-cara indirecta corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl CrI		Vel USL CrI		Vel BPV CrI		Vel MST CrI	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3,52	4843	6,46	5340	7,48	-	-	5210	6,52
	2,52	4921	6,34	5445	6,38	-	-	5227	6,07
	1,52	4813	5,76	5289	5,63	-	-	5199	5,90
Pino silvestre	3,52	5041	6,16	5413	6,73	4979	8,28	5106	5,47
	2,52	5095	6,13	5498	5,60	5091	5,22	5128	4,79
	1,52	5022	6,16	5372	5,14	4913	5,25	5095	5,10
Pino laricio	3,52	4708	5,70	5106	5,96	-	-	4889	5,12
	2,52	4723	5,79	5175	5,68	-	-	4966	5,15
	1,52	4700	5,19	5075	4,65	-	-	4862	5,08
Pino pinaster	3,52	4065	9,52	4312	9,48	-	-	4365	9,09
	2,52	4126	8,54	4382	9,49	-	-	4412	8,56
	1,52	4037	8,49	4280	8,09	-	-	4345	8,45

Tabla 5.45 Velocidades de transmisión de onda canto-canto indirecto corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl Ctl		Vel USL Ctl		Vel BPV Ctl		Vel MST Ctl	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3,52	4864	7,26	5217	7,79	-	-	5172	6,59
	2,52	4896	7,44	5308	7,06	-	-	5175	6,61
	1,52	4845	5,96	5169	5,45	-	-	5169	6,35
Pino silvestre	3,52	4953	6,27	5308	6,78	4964	8,60	5060	5,53
	2,52	5002	6,06	5394	6,26	5082	6,11	5094	5,34
	1,52	4940	6,70	5269	5,39	4897	5,79	5046	5,30
Pino laricio	3,52	4618	6,11	5047	6,53	-	-	4921	5,56
	2,52	4627	6,52	5104	6,35	-	-	5007	5,62
	1,52	4610	5,22	5014	4,30	-	-	4887	4,70
Pino pinaster	3,52	4134	9,21	4362	9,36	-	-	4419	9,10
	2,52	4179	8,64	4412	9,27	-	-	4448	8,52
	1,52	4112	8,14	4339	8,22	-	-	4406	8,53

5.4.4 Comparativa entre lecturas con diferente posición de los sensores

Se procedió a comparar las velocidades corregidas por la longitud de medida, testa-testa, cara-cara y canto-canto directas e indirectas. A pesar de que una vez corregido el efecto de la longitud de medida, la velocidad era constante, se decidió comparar entre las tres longitudes (3,50 y 3,52 m, 2,50 y 2,52 m y 1,50 y 1,52 m).

Para ésta comparación entre medidas, se realizó un análisis de la varianza para cada especie y equipo, entre velocidades testa-testa (Te) y cara-cara directa (CrD), canto-canto directo (CtD), cara-cara indirecta (CrI), canto-canto indirecto (CtI). A continuación se muestran a modo de ejemplo las gráficas 5.58, 5.59, 5.60 y 5.61, una para cada equipo y cada especie.

Figura 5.58 Gráfica de medias de velocidad de Sylvestest Duo (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino radiata)

Figura 5.59 Gráfica de medias de velocidad de USLab (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino laricio)

Figura 5.60 Gráfica de medias de velocidad de Steinkamp BPV (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino silvestre)

Figura 5.61 Gráfica de medias de velocidad de MST (testa-testa, cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto) y longitud (pino pinaster)

A la vista de las gráficas anteriores, se observó que la influencia de la longitud de medida que había sido observada en las gráficas 5.56 y 5.57 fue corregida aplicando el procedimiento de tiempo de retardo descrito en apartado 5.3.3.

Además, en general, las medidas de velocidad directa e indirecta, ya fueran cara-cara o canto-canto no presentaron diferencias significativas entre ellas, sin embargo, sí presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la velocidad de la medición testa-testa para los equipos de ultrasonidos (Sylvatest, USLab y Steinkamp BPV), y sin embargo, no presentaron diferencias estadísticamente significativas para el equipo de ondas de impacto MST.

5.4.5 Corrección de mediciones directas e indirectas a testa-testa para equipos de ultrasonidos

La finalidad de dicha corrección consistió en unificar todas las velocidades de ultrasonidos como si fueran testa-testa, para que fueran comparables. Para ello se propusieron regresiones lineales múltiples entre la velocidad testa-testa y el resto de velocidades juntas (cara-cara directa, canto-canto directo, cara-cara indirecta y canto-canto indirecto), a las cuales se dio el nombre de velocidades no testa-testa.

Como las velocidades no testa-testa no presentaron diferencias significativas entre ellas, se realizó la media entre los cuatro valores de velocidad para cada longitud (1,52; 2,52 y 3,52) y cada pieza (30 piezas), obteniendo un grupo de 90 datos para cada equipo y especie. Dando lugar a la ecuación 5.19 y la tabla 5.46.

$$V_{\text{testa-testa}} = a \cdot V_{\text{no testa-testa}} + b \cdot Z_{\text{rad}} + c \cdot Z_{\text{sil}} + d \cdot Z_{\text{lar}} + e \quad (5.19)$$

Donde: $V_{\text{testa-testa}}$ es la velocidad testa-testa (m/s); $V_{\text{no testa-testa}}$ es la velocidad no testa-testa (m/s); Z_{rad} : es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Z_{sil} : es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Z_{lar} : es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Z_{rad} , Z_{sil} y Z_{lar} son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.46 Coeficientes de la ecuación 5.19

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Velocidad Sylvatest testa-testa	Velocidad no testa-testa	0,945	52,45	-3,41	83,07	443,96	96,22
Velocidad USLab testa-testa		0,922	6,44	-20,26	96,12	677,51	96,91
Velocidad Steinkamp BPV testa-testa		0,769	0	0	0	1419,99	85,55

A la vista de los resultados, los coeficientes de determinación encontrados son valores altos y similares para todos los equipos estudiados.

5.5 CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS MUESTRAS

5.5.1 Rendimientos de clasificación visual según la norma UNE 56544:2011

Se realizó la clasificación visual de la madera haciendo uso de la norma española UNE 56544:2011, y sobre las dos muestras de madera objeto de estudio en los apartados anteriores. El número de piezas y sus dimensiones por especie pueden consultarse en las tablas 5.1 y 5.34. En concreto, cada muestra se analizó por separado:

Muestra 1: 100 piezas de 3 m clasificadas en húmedo y seco.

Muestra 2: 120 piezas secas clasificadas a 4 y 3 m de longitud.

5.5.1.1 Muestra 1

Los resultados obtenidos en la clasificación visual realizada a las piezas de escuadría nominal 100x150x3000 mm, tanto en húmedo como en seco, figuran en la tabla 5.47, y en la figura 5.62.

Tabla 5.47 Calidad visual en húmedo y seco (UNE 56544)

Especie	Húmedo					Seco				
	CH	MEG		Rechazo		CH	MEG		Rechazo	
	%	nº	%	nº	%	%	nº	%	nº	%
Pino radiata	52,7	25	100	0	0	9,0	16	64	9	36
Pino silvestre	32,6	24	96	1	4	10,6	13	52	12	48
Pino laricio	62,6	19	76	6	24	9,7	4	16	21	84
Pino pinaster	40,3	23	92	2	8	9,2	4	16	21	84

Figura 5.62 Clasificación visual en húmedo y seco (UNE 56544)

Dado que durante la clasificación visual en seco se produjo un porcentaje de rechazos elevado en todas las especies, se profundizó en los parámetros de clasificación que dieron lugar a estos. A su vez, observando la clasificación en húmedo, se encontraron buenos rendimientos clasificatorios, por tanto, esta diferencia entre clasificación visual en húmedo y seco, tenía que deberse a que los parámetros limitantes serían aquellos que solo se tuvieron en cuenta en la clasificación en seco, como fendas o deformaciones.

En la norma española de clasificación se establecen para la calidad visual MEG dos opciones posibles de deformaciones máximas admitidas (impuestas por la norma EN 14081-1:2005+A1:2011), dependiendo de que dicha calidad visual de lugar a una clase resistente:

- C18 o inferior
- superior a C18

Esta última, es de aplicación a las especies de pino silvestre y laricio, ya que según la norma EN 1912:2012, la calidad visual MEG corresponde a una clase resistente C22. En un futuro próximo será de aplicación a la especie de pino radiata una clase C20 correspondiente a MEG, según el informe (Hermoso *et al.* 2014) remitido al comité europeo de normalización.

Por el contrario, como no está establecida la clase resistente a la cual corresponde la calidad visual MEG en la especie pino pinaster, para esta especie se analizaron ambos posibles valores (tabla 5.49), exponiendo el resto de especies en la tabla 5.48.

Tabla 5.48 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (UNE 56544)

Parámetro de clasificación	Pino radiata				Pino silvestre				Pino laricio			
	MEG		Rechazo		MEG		Rechazo		MEG		Rechazo	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	25	100	0	0	24	96	1	4	20	80	5	20
Fendas	25	100	0	0	25	100	0	0	25	100	0	0
Desviación de la fibra	25	100	0	0	25	100	0	0	25	100	0	0
Deformaciones	16	64	9	36	14	56	11	44	5	20	20	80
Alteraciones biológicas	25	100	0	0	25	100	0	0	25	100	0	0

Tabla 5.49 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (pino pinaster)

Parámetro de clasificación	Pino pinaster							
	MEG >C18				MEG ≤C18			
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	21	84	4	16	21	84	4	16
Fendas	25	100	0	0	25	100	0	0
Desviación de la fibra	24	96	1	4	24	96	1	4
Deformaciones	5	20	20	80	7	28	18	72
Alteraciones biológicas	25	100	0	0	25	100	0	0

A la vista de los resultados, el parámetro de clasificación más limitante en madera seca para todas las especies fueron las deformaciones.

En el caso del pino pinaster, la aplicación de los valores menos restrictivos de las deformaciones máximas admitidas (CR C18 o inferior), frente a la aplicación de los más restrictivos (CR mayor de C18), supuso un incremento en los rendimientos clasificatorios del 8%.

No obstante, haciendo una interpretación literal de la norma, las deformaciones máximas admitidas deben estar referidas a un 20% de CH de la muestra, por consiguiente, teniendo en cuenta que las piezas clasificadas en este estudio como secas se encontraban a un CH medio inferior al 20%, es de suponer que el porcentaje de rechazo debido a las deformaciones sería menor.

5.5.1.2 Muestra 2

Los resultados obtenidos en la clasificación visual realizada a 4 y 3 m de longitud, figuran en la tabla 5.50 y en la figura 5.63.

Tabla 5.50 Calidad visual a 4 y 3 m (UNE 56544)

Especie	CH (%)	L (m)	MEG		Rechazo	
			nº	%	nº	%
Pino radiata	10,1	4	13	43	17	57
		3	19	63	11	37
Pino silvestre	9,1	4	27	90	3	10
		3	27	90	3	10
Pino laricio	11,9	4	18	60	12	40
		3	19	63	11	37
Pino pinaster	10,3	4	3	10	27	90
		3	7	23	23	77

Figura 5.63 Clasificación visual a 4 y 3 m (UNE 56544)

Dado que durante la clasificación visual se produjo un porcentaje de rechazos elevado, excepto en la especie pino silvestre y anormalmente elevado en la especie pino pinaster (hasta un 90%), se profundizó en los parámetros de clasificación que dieron lugar a estos (tablas 5.51 y 5.52).

Tabla 5.51 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (UNE 56544)

Parámetro de clasificación	L (m)	Pino radiata				Pino silvestre				Pino laricio			
		MEG		Rechazo		MEG		Rechazo		MEG		Rechazo	
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	4	28	93	2	7	30	100	0	0	28	93	2	7
	3	30	100	0	0	30	100	0	0	29	97	1	3
Fendas	4	30	100	0	0	29	97	1	3	30	100	0	0
	3	30	100	0	0	29	97	1	3	30	100	0	0
Desviación de la fibra	4	30	100	0	0	30	100	0	0	30	100	0	0
	3	30	100	0	0	30	100	0	0	30	100	0	0
Deformación	4	17	57	13	43	28	93	2	7	18	60	12	40
	3	23	77	7	23	28	93	2	7	19	63	11	37
Alteraciones biológicas	4	30	100	0	0	30	100	0	0	30	100	0	0
	3	30	100	0	0	30	100	0	0	30	100	0	0

Tabla 5.52 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (pino pinaster)

Parámetro de clasificación	L (m)	Pino pinaster							
		MEG > C18				MEG ≤ C18			
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	4	17	57	13	43	17	57	13	43
	3	21	70	9	30	21	70	9	30
Fendas	4	29	97	1	3	29	97	1	3
	3	29	97	1	3	29	97	1	3
Desviación de la fibra	4	29	97	1	3	29	97	1	3
	3	29	97	1	3	29	97	1	3
Deformaciones	4	10	33	20	67	20	67	10	33
	3	14	47	16	53	22	73	8	27
Alteraciones biológicas	4	20	67	10	33	20	67	10	33
	3	23	77	7	23	23	77	7	23

A la vista de los resultados, el parámetro de clasificación más limitante para todas las especies fueron las deformaciones.

En el caso del pino pinaster, la aplicación de los valores menos restrictivos de las deformaciones máximas admitidas (CR C18 o inferior), frente a la aplicación de los más restrictivos (CR mayor de C18), supuso un incremento en los rendimientos clasificatorios del 34%. Además, los valores anormalmente altos de rechazo observados en la tabla 5.50 (hasta un 90%), se debieron además de a los nudos y las deformaciones, a las alteraciones biológicas (33%).

El alto rechazo por deformaciones podría ser explicado por la presencia de médula en la cara y por lo tanto de madera juvenil, dado que fue esta deformación de cara la que produjo mayor número de rechazos.

5.5.2 Propiedades físicas y mecánicas por calidad visual

5.5.2.1 Muestra 1

A continuación se muestra la relación entre las calidades visuales (aplicando el criterio más restrictivo de deformaciones máximas) y las propiedades físico-mecánicas obtenidas mediante ensayo en máquina universal en húmedo y seco.

Tabla 5.53 Calidad visual en húmedo vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M (N/mm ²)	M (N/mm ²)	Vc	M	Vc	M
						(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	52,7	MEG	100	8968	8187	-	-	456	648
		Rechazo	0	-	-	-	-	-	-
Pino silvestre	32,6	MEG	96	10391	9143	-	-	493	565
		Rechazo	4	14174	12093	-	-	587	587
Pino laricio	62,6	MEG	76	8393	7296	-	-	572	790
		Rechazo	24	6147	5354	-	-	599	772
Pino pinaster	40,3	MEG	92	7299	6533	-	-	581	684
		Rechazo	8	6503	5595	-	-	621	629

Tabla 5.54 Calidad visual en seco vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M (N/mm ²)	M (N/mm ²)	Vc	M	Vc	M
						(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	9,0	MEG	64	12504	11487	30,63	76,89	421	501
		Rechazo	36	9457	8934	28,91	50,38	416	483
Pino silvestre	10,6	MEG	52	13232	12358	51,47	77,49	475	506
		Rechazo	48	12461	10767	35,86	71,09	463	508
Pino laricio	9,7	MEG	16	12209	11145	45,69	77,58	535	568
		Rechazo	84	10149	9171	18,59	47,34	519	572
Pino pinaster	9,2	MEG	16	11373	9873	65,10	76,18	532	562
		Rechazo	84	9021	7568	20,98	47,84	504	560

Se realizaron análisis de la varianza por propiedades físico-mecánicas con objeto de estudiar si las diferencias entre calidades visuales por cada propiedad son estadísticamente significativas. A modo de ejemplo se muestran a continuación las figuras 5.64, 5.65, 5.66, 5.67 y 5.68, para pino laricio en húmedo y seco.

Figura 5.64 Gráfica de medias de E glo y calidad visual, en húmedo (pino laricio)

Figura 5.65 Gráfica de medias de E glo y calidad visual, en seco (pino laricio)

Figura 5.66 Gráfica de medias de T rot y calidad visual, en seco (pino laricio)

Figura 5.67 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en húmedo (pino laricio)

Figura 5.68 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en seco (pino laricio)

A la vista de los resultados, para el caso del módulo de elasticidad y la tensión de rotura, pudo afirmarse que las diferencias entre la calidad visual MEG y el rechazo unas veces mostraron diferencias estadísticamente significativas y otras no. Sin embargo, sí que se apreció una posible discriminación entre la calidad visual MEG y el rechazo, es decir, en todos los casos los valores medios y característicos de las propiedades para la calidad visual MEG fueron superiores que para el rechazo, indistintamente de que la clasificación visual se realizara en húmedo o seco. Este concepto se definió como eficacia de la clasificación en una tesis doctoral (Broto 2016).

Sin embargo, en el caso de la densidad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna especie ni en húmedo ni en seco, y el valor medio no permitió discriminar entre la calidad visual MEG y el rechazo.

5.5.2.2 Muestra 2

A continuación se muestra la relación entre las calidades visuales y las propiedades físico-mecánicas obtenidas mediante ensayo en máquina universal en las piezas de 3 m de longitud al CH al que fueron obtenidas.

Tabla 5.55 Calidad visual en 3 m vs. propiedades físico-mecánicas (UNE 56544)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M (N/mm ²)	M (N/mm ²)	Vc	M	Vc	M
						(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	10,1	MEG	63	12107	10784	-	-	456	506
		Rechazo	37	11415	10680	-	-	451	526
Pino silvestre	9,1	MEG	90	12883	11806	-	-	434	518
		Rechazo	10	12621	11506	-	-	443	525
Pino laricio	11,9	MEG	63	13787	12683	-	-	511	560
		Rechazo	37	12130	10464	-	-	443	538
Pino pinaster	10,3	MEG	23	9234	8509	-	-	477	526
		Rechazo	77	9352	8541	-	-	525	586

Se realizaron análisis de la varianza por propiedades físico-mecánicas con objeto de estudiar si las diferencias entre calidades visuales por cada propiedad son estadísticamente significativas. A modo de ejemplo se muestran a continuación las figuras 5.69, 5.70, 5.71 y 5.72.

Figura 5.69 Gráfica de medias de E glo y calidad visual (pino radiata)

Figura 5.70 Gráfica de medias de E glo y calidad visual (pino laricio)

Figura 5.71 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino radiata)

Figura 5.72 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino laricio)

A la vista de los resultados, para el caso del módulo de elasticidad, pudo afirmarse que las diferencias entre la calidad visual MEG y el rechazo unas veces mostraron diferencias estadísticamente significativas y otras no. Sin embargo, sí que se apreció una discriminación entre la calidad visual MEG y el rechazo, es decir, excepto en el caso del pino pinaster el valor medio de E fue superior para la calidad visual MEG que para el rechazo.

Sin embargo, en el caso de la densidad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna especie, y el valor medio no permitió discriminar entre la calidad visual MEG y el rechazo.

5.6 COMPARATIVA ENTRE EQUIPOS DE ENSAYO

El material utilizado en este apartado fueron las mismas piezas empleadas en el estudio de la influencia de la longitud de medida (tabla 5.34).

5.6.1 Equivalencia entre velocidades de diferentes equipos

Para este apartado fueron utilizadas las velocidades registradas a 3 m de longitud, que fue la longitud a la cual se realizó el ensayo en máquina universal. Las tablas 5.56 y 5.57 muestran los valores medios y CV de las velocidades corregidas por la influencia de la longitud de medida.

Tabla 5.56 Resumen de velocidades de transmisión de onda corregidas

Especie	L (m)	Vel Syl		Vel USL		Vel BPV		Vel MST	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3	5130	5,95	5634	5,68	-	-	5277	5,68
Pino silvestre	3	5194	5,73	5679	5,46	5312	5,42	5215	4,95
Pino laricio	3	4972	5,65	5514	5,35	-	-	5138	4,93
Pino pinaster	3	4371	8,67	4742	8,98	-	-	4485	8,23

Tabla 5.57 Resumen de velocidades obtenidas con equipos de vibración

Especie	L (m)	Vel PLG		Vel MTG	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Pino radiata	3	4748	8,13	4783	8,03
Pino silvestre	3	4826	7,02	4866	7,00
Pino laricio	3	4654	6,25	4693	6,21
Pino pinaster	3	3980	9,43	4017	9,33

Con objeto de posibilitar la conversión de la velocidad obtenida con un equipo en la obtenida con otro diferente, se realizaron regresiones lineales múltiples entre las velocidades testa-testa de transmisión de onda de los diferentes equipos. Dando lugar a la ecuación 5.20 y la tabla 5.58.

$$V_{\text{estimada}} = a \cdot V_{\text{variable}} + b \cdot Z_{\text{rad}} + c \cdot Z_{\text{sil}} + d \cdot Z_{\text{lar}} + e \quad (5.20)$$

Donde: V_{estimada} es la velocidad estimada (m/s); V_{variable} es la velocidad estimadora (m/s); Z_{rad} : es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Z_{sil} : es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Z_{lar} : es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Z_{rad} , Z_{sil} y Z_{lar} son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 5.58 Coeficientes de la ecuación 5.20

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Velocidad Sylvatest	Vel USL	0,92	-62,25	-40,66	-109,89	3,94	99,04
	Vel BPV	1,01	0	0	0	-182,78	96,08
	Vel MST	1,05	-67,90	59,72	-80,66	-316,17	98,28
	Vel PLG	0,86	100,43	96,77	23,22	954,19	94,86
	Vel MTG	0,86	100,30	91,48	20,03	908,49	95,16
Velocidad USLab	Vel Syl	1,06	84,12	62,05	132,42	90,82	99,12
	Vel BPV	1,07	0	0	0	-21,09	99,44
	Vel MST	1,13	-1,07	113,67	35,92	-318,88	98,81
	Vel PLG	0,91	195,31	169,78	160,93	1128,56	94,05
	Vel MTG	0,91	195,09	164,10	157,48	1079,81	94,32
Velocidad BPV	Vel Syl	0,95	0	0	0	381,56	96,08
	Vel USL	0,93	0	0	0	49,11	99,44
	Vel MST	1,10	0	0	0	-427,96	97,36
	Vel PLG	0,78	0	0	0	1550,59	84,16
	Vel MTG	0,78	0	0	0	1531,68	84,39
Velocidad MST	Vel Syl	0,92	91,02	-28,95	97,81	452,33	98,35
	Vel USL	0,86	22,44	-78,16	-13,22	396,78	98,75
	Vel BPV	0,88	0	0	0	516,04	97,36
	Vel PLG	0,79	187,35	64,39	122,47	1351,76	93,11
	Vel MTG	0,79	187,30	59,62	119,60	1310,21	93,38
Velocidad PLG	Vel Syl	1,04	-22,06	-9,93	48,14	-565,60	94,51
	Vel USL	0,95	-81,53	-46,68	-61,60	-533,52	93,04
	Vel BPV	1,04	0	0	0	-805,76	84,19
	Vel MST	1,08	-87,47	57,00	-31,46	-864,93	92,34
	Vel MTG	1,00	3,36	-2,27	-0,62	-34,83	99,89
Velocidad MTG	Vel Syl	1,04	-27,35	-9,73	47,28	-542,10	94,84
	Vel USL	0,95	-87,10	-46,70	-62,88	-510,44	93,37
	Vel BPV	1,05	0	0	0	-799,06	84,42
	Vel MST	1,08	-92,86	57,49	-32,48	-841,77	92,64
	Vel PLG	1,00	-1,70	4,10	2,08	43,44	99,89

5.6.2 Comparativa entre módulos de elasticidad

En este apartado se realizó una comparativa entre los distintos resultados de los módulos de elasticidad dinámicos obtenidos con diferentes equipos ND tanto de transmisión de onda, como de vibración, y los módulos de elasticidad estáticos obtenidos en máquina universal de las piezas de 3 m de longitud.

Para ello fueron utilizados los Edin (ecuación 5.12) obtenidos a partir de velocidades de transmisión de onda corregidas por la influencia de la longitud de medida mostradas en las tablas 5.56 y 5.57. Fueron utilizadas las velocidades registradas a 3 m de longitud, porque fue la longitud a la cual se realizó el ensayo en máquina universal.

La tabla 5.59 muestra los valores medios y CV de las propiedades físico-mecánicas.

Tabla 5.59 Resumen de propiedades físico-mecánicas

Especie	Eloc		Eglo		Den glo	
	M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)	M (kg/m ³)	CV (%)
Pino radiata	11853	18,97	10746	16,54	513	6,28
Pino silvestre	12857	13,09	11776	11,73	519	8,59
Pino laricio	13179	21,85	11870	21,65	552	8,83
Pino pinaster	9324	19,87	8534	19,47	572	9,37

Las tablas 5.60 y 5.61 muestran los valores medios y CV de Edin obtenidos a partir de las velocidades y densidades de las tablas anteriores.

Tabla 5.60 Resumen de Edin obtenidos por transmisión de onda

Especie	Edin Syl		Edin USL		Edin BPV		Edin MST	
	M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)
Pino radiata	13573	14,39	16367	14,00	-	-	14353	13,90
Pino silvestre	13982	11,74	16722	11,49	14634	11,61	14099	10,95
Pino laricio	13770	17,72	16923	16,97	-	-	14684	16,56
Pino pinaster	10984	18,31	12931	18,73	-	-	11562	17,82

Tabla 5.61 Resumen de Edin obtenidos por vibración

Especie	Edin PLG		Edin MTG	
	M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)
Pino radiata	11653	17,80	11821	17,63
Pino silvestre	12090	14,29	12291	14,16
Pino laricio	12078	18,82	12274	18,65
Pino pinaster	9123	19,59	9293	19,43

Se realizaron análisis de la varianza del módulo de elasticidad para estudiar si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos con varios equipos.

Figura 5.73 Gráfica de medias de módulo de elasticidad y equipo (pino radiata)

Figura 5.74 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino silvestre)

Figura 5.75 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino laricio)

Figura 5.76 Gráfica de medias de Módulo de elasticidad y equipo (pino pinaster)

De los análisis de la varianza realizados del módulo de elasticidad por especie, tanto para los equipos ND como para la máquina universal, se observó que los valores de Edin obtenidos mediante los equipos de vibración no presentaron diferencias estadísticamente significativas con los valores de E, tanto local como global. Sin embargo, los Edin obtenidos a partir de la velocidad de transmisión de onda presentaron diferencias significativas, siendo los valores obtenidos para el equipo USLab los más alejados de los valores de E.

Las diferencias observadas entre los equipos de transmisión de onda se podrían explicar debido al distinto umbral de detección de cada equipo. Otra posible explicación sería que fueran consecuencia de las diferentes frecuencias de trabajo de cada equipo, sin embargo, en las frecuencias tan bajas en las que se movió este estudio no se deberían apreciar diferencias debido a este factor, además si esta fuera la razón, los equipos USLab y Steinkamp BPV, que son de frecuencias parecidas (45 y 50 KHz), deberían haber presentado valores similares y no fue el caso.

Algunos autores explicaron estas diferencias entre los Edin y E, por efecto de la fluencia (Divos y Tanaka 2005). Basándose en que la deformación producida en una pieza sometida a carga está compuesta de una deformación elástica instantánea y una diferida (fluencia), sin embargo, en la determinación del Edin mediante un equipo ND la fluencia no es tomada habitualmente en consideración. La deformación diferida está originada por el tiempo de ensayo, por lo tanto, en función de éste, se podría obtener un módulo de elasticidad a partir de otro. Estos autores propusieron la siguiente ecuación:

$$MOE_{t1} = MOE_{t2} \cdot (1 + 0,017 \cdot \log(t2/t1)) \quad (5.21)$$

Donde: MOE_{t1} es el módulo de elasticidad estático o dinámico determinado con un tiempo característico $t1$ (N/mm²); MOE_{t2} es el módulo de elasticidad estático o dinámico determinado con un tiempo característico $t2$ (N/mm²); $t2$ es el tiempo característico de determinación del MOE_{t2} (μs); $t1$ es el tiempo característico de determinación del MOE_{t1} (μs).

Se aplicó la ecuación 5.21 al caso particular de la vibración longitudinal de este estudio, teniendo en cuenta que el tiempo de ensayo para la obtención del E fue de 100 s (10 kN a velocidad 0,1 kN/s) y que, según la publicación de Divos y Tanaka (2005), cuando se realiza vibración longitudinal en piezas de longitud superior a 2,5 m el tiempo se mantiene constante en torno a 1 ms. De este modo se obtuvo el siguiente resultado:

$$E_{glo} = E_{dinPLG} \cdot 0,915$$

Con el objeto de comprobar si esta relación obtenida con la ecuación de Divos y Tanaka (2005), coincidía con la realmente obtenida con los datos de este estudio, se procedió a dividir los valores de E_{glo} entre E_{din} por especie, se obtuvo la ecuación 5.21 y la tabla 5.62.

$$E_{glo} = a \cdot E_{dinPLG} \quad (5.22)$$

Donde: E_{glo} es el módulo de elasticidad estático global (N/mm^2); E_{din} es el módulo de elasticidad dinámico obtenido a partir de la velocidad longitudinal de vibración (N/mm^2).

Tabla 5.62 Coeficientes de la ecuación 5.22

Especie	a
Pino radiata	0,92
Pino silvestre	0,97
Pino laricio	0,98
Pino pinaster	0,94

A la vista de los resultados se observó que los valores obtenidos son superiores a los obtenidos con la ecuación propuesta por Divos y Tanaka (2005), esto puede deberse a que en su trabajo la expresión fue obtenida usando picea libre de defectos. Además, también pudo tener influencia que estos autores realizaron ensayo de tres puntos en máquina universal, dicho ensayo de tres puntos obtiene valores de módulo de elasticidad inferiores a los obtenidos mediante el ensayo de cuatro puntos utilizado en este estudio (Bodig y Jayne 1982). Algunos autores cifraron la infraestimación de E con ensayo de tres puntos respecto a cuatro puntos en un 19%, un 8% debido al cortante más un 11% debido al efecto de aplastamiento de los apoyos y la carga, si bien dichos valores varían con la densidad (Brancheriau *et al.* 2002).

5.7 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS

5.7.1 Resumen de datos, especies y procedencias

La base de datos creada a partir de los datos recopilados conforme a lo descrito en el apartado 4.5 se compone de 9355 piezas de madera aserrada estructural, provenientes de aserradero, ensayadas mediante equipos portátiles ND en el periodo 1992-2015, que se resumen en la tabla 5.63.

Tabla 5.63 Resumen de datos por especie y escuadría

Especie	Nº de datos		
	Pequeña escuadría (b≤70mm)	Gran escuadría (b>70mm)	Total
Abeto	49	98	147
Acacia	46	44	90
Alerce de Japón	89	255	344
Castaño	925	200	1125
Chopo canadiense	144	136	280
Elondo	52	227	279
Pino laricio	869	120	989
Pino laricio corsicana	118	311	429
Pino Oregón	400	733	1133
Pino pinaster	2057	235	2292
Pino radiata	178	305	483
Pino silvestre	1327	437	1764
Total	6254	3101	9355

Los equipos portátiles ND mediante los cuales se ensayaron las piezas fueron:

- Hitman Director HM 200
- MicroSecond Timer
- Pilodyn 6J Forest
- PLG
- Steinkamp BPV
- SWRM
- Sylvatest (varias versiones)

A continuación se detalla cada uno de los grupos de investigación que colaboraron con el Grupo de Investigación Construcción con Madera (GICM) de la Universidad Politécnica de Madrid revisando la metodología de ensayos ND propuesta en esta tesis y aportando datos para la elaboración de dicha base punto de partida para futuras investigaciones. Las características de los datos aportados se listan a continuación:

5.7.1.1 Universidad Politécnica de Madrid/CIFOR-INIA (Madrid)

Responsables: Dr. Francisco Arriaga Martitegui; Dr. Miguel Esteban Herrero; Dr. Guillermo Íñiguez González; Dr. Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco; Dr. Modesto Rafael Díez Barra; Dr.^a Eva Hermoso Prieto.

Tabla 5.64 Datos aportados por UPM/CIFOR-INIA

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Pino radiata	150x200	80	País Vasco	Íñiguez 2007
	150x250	75	País Vasco	Íñiguez 2007
		155		
Pino silvestre	100x150	26	Castilla y León	De la Mata 2011
	150x200	218	Castilla y León	Montero 2013
	150x200	60	Castilla y León	Íñiguez 2007
	200x250	60	Castilla y León	Íñiguez 2007
		364		
Pino laricio	150x200	60	Castilla-La Mancha	Íñiguez 2007
	200x250	60	Castilla-La Mancha	Íñiguez 2007
		120		

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

Ministerio de Ciencia e Innovación. (Plan Nacional I+D+i 2000-2003). Proy.: AGL 2002-00813.

Ministerio de Ciencia e Innovación. (Plan Nacional I+D+i 2004-2007). Proy.: BIA 2006-14272.

5.7.1.2 AITIM/CIFOR-INIA (Madrid)

Responsables: Dr. Fernando Peraza Sánchez; Dr. Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco; Dr. Modesto Rafael Díez Barra; Dr.^a Eva Hermoso Prieto.

Tabla 5.65 Datos aportados por AITIM/CIFOR-INIA

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Elondo	40x200	52	Guinea/Camerún	-
	80x80	42	Guinea/Camerún	-
	120x120	31	Guinea/Camerún	-
	120x200	51	Guinea/Camerún	-
	160x200	16	Guinea/Camerún	-
	160x220	26	Guinea/Camerún	-
	160x240	13	Guinea/Camerún	-
	200x250	40	Guinea/Camerún	-
	200x260	8	Guinea/Camerún	-
		279		

A continuación se enumeran algunos de los trabajos y proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

Estudio de las propiedades estructurales - valores característicos y norma de clasificación visual de la madera aserrada estructural de elondo (*Erythrophleum ivorense* A. Chev., *Erythrophleum suaveolens* Brenan) para la empresa Pavimentos Arrondo, S.A., Gabiria, Guipúzcoa. Centro: Unidad conjunta AITIM – INIA. Duración: 2003

Informe de asesoría técnica y control de calidad de la obra de rehabilitación del muelle cargadero de Río Tinto, Huelva, 3º Fase. Para la empresa Freyssinet S.A. y el ayuntamiento de Huelva. Duración: 2005-2006.

5.7.1.3 CESEFOR (Soria)

Responsables: D. Edgar Lafuente Jiménez; D. José Luis Villanueva Hernández.

Tabla 5.66 Datos aportados por CESEFOR

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Abeto	70x150	49	Navarra	-
	120x160	49	Navarra	-
	200x250	49	Navarra	-
		147		
Acacia	70x150	46	País Vasco	-
	150x220	44	País Vasco	-
		90		
Pino Oregón	70x150	100	La Rioja	-
	80x120	120	La Rioja	-
	90x140	120	La Rioja	-
	100x200	120	La Rioja	-
		460		
Pino silvestre	200x250	73	Castilla y León	-
		73		

Además de madera aserrada, el CESEFOR también ensayó haciendo uso de TND 416 piezas de madera en rollo; 291 piezas de madera en rollo cilindrada y 289 postes de téndido eléctrico de las especies pino silvestre y laricio.

El material y los ensayos realizados fueron financiados tanto por empresas privadas como por Marca de garantía PSB, MIME/Diputación de Guipúzcoa y el Gobierno de Navarra.

5.7.1.4 CETEMAS (Asturias/Asturies)

Responsables: Dr. Juan Majada Guijo; Dr.^a Vanessa Baño Gómez; Dr. Abel Vega Cueto.

Tabla 5.67 Datos aportados por CETEMAS

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Castaño	40x100	166	Asturias	Vega 2013
	40x150	159	Asturias	Vega 2013
	70x150	160	Asturias	Vega 2013
	40x100	45	Extremadura	Vega 2013
	40x150	47	Extremadura	Vega 2013
	40x100	33	Castilla y León	Vega 2013
	40x100	63	Cataluña	Vega 2013
	40x150	61	Cataluña	Vega 2013
	70x150	64	Cataluña	Vega 2013
	40x100	39	Galicia	Vega 2013
	40x150	41	Galicia	Vega 2013
	70x150	47	Galicia	Vega 2013
		925		

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

PSING-10-11. Proyecto Singular Estratégico “Valorización Forestal e Industrial del Castaño en España” (VALOCAS). Entidades financiadoras: Ministerio de Ciencia e Innovación (MICCIN) y el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación del Principado de Asturias (PCTI). Duración: 2010-2011.

5.7.1.5 CIFOR-INIA (Madrid)

Responsables: Dr. Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco; Dr. Modesto Rafael Díez Barra; Dr.^a Eva Hermoso Prieto.

Tabla 5.68 Datos aportados por CIFOR-INIA

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Pino radiata	50x150	178	País Vasco	-
		178		
Pino silvestre	40x100	54	Castilla-La Mancha	-
	40x150	197	Castilla-La Mancha	Hermoso 2001
	40x150	113	Castilla y León	-
	50x100	94	Castilla-La Mancha	-
	50x150	83	Castilla-La Mancha	-
	50x150	110	Castilla y León	-
	50x200	97	Castilla-La Mancha	-
	50x200	119	Castilla y León	-
	70x150	97	Castilla-La Mancha	-
	70x150	120	Castilla y León	-
	70x200	123	Castilla-La Mancha	-
	70x200	120	Castilla y León	-
		1327		
Pino laricio	40x100	120	Castilla-La Mancha	Conde 2003
	40x150	119	Castilla-La Mancha	-
	50x100	120	Castilla-La Mancha	Conde 2003
	50x150	124	Castilla-La Mancha	Conde 2003
	50x200	125	Castilla-La Mancha	-
	70x150	119	Castilla-La Mancha	Conde 2003
	70x200	142	Castilla-La Mancha	Conde 2003
		869		
Pino pinaster	40x100	505	Galicia	Martínez 1992
	40x100	72	Castilla y León	Martínez 1992
	40x100	100	Castilla-La Mancha	Martínez 1992
	40x150	86	Galicia	-
	50x100	90	Galicia	-
	50x150	63	Galicia	-
	50x150	367	Galicia	Martínez 1992
	50x150	70	Castilla y León	Martínez 1992
	50x150	94	Castilla-La Mancha	Martínez 1992
	50x200	91	Galicia	-
	70x150	84	Galicia	-
	70x200	77	Galicia	-
		1699		

Además de madera aserrada, el CIFOR-INIA también ensayó haciendo uso de TND 445 piezas de madera en rollo cilindrada de la especie pino laricio.

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

Título del proyecto: Caracterización silvícola y tecnológica de la madera de *Pinus nigra* Arn. Entidad financiadora: INIA. Plan Sectorial MAPA, Proy. SC96-045-C2-2. Duración: 1996-1999.

Título del proyecto: Clasificación mecánica automatizada de la madera aserrada de pino silvestre y pinaster. Entidad financiadora: Programa Sectorial del MAPA, Proy. SC00-043. Duración: 2000-2002.

Título del proyecto: Clasificación y evaluación no destructiva de la calidad de la madera aserrada estructural de los pinos radiata y pinaster. Entidad financiadora: Programa Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias, Proy. AGL2004-01598. Duración: 2005-2009.

Título del contrato/proyecto: Desarrollo de un sistema automático de clasificación de la madera estructural de pino radiata. Tipo de contrato: Nacional. Ejecución de proyecto CON03-001. Empresa/Administración financiadora: Mesa Intersectorial de la madera del País Vasco. Duración: 2002-2004.

Título del contrato/proyecto: Clasificación mecánica de la madera estructural de pino radiata y pinaster. Tipo de contrato: Nacional. Apoyo al proyecto Clasificación mecánica y evaluación no destructiva de la calidad de la madera aserrada estructural de pino radiata y pinaster. CC02-0031. Empresa/Administración financiadora: Xunta de Galicia. Duración: 2004-2007.

Título del contrato/proyecto: Caracterización mecánica de madera aserrada de gruesa escuadría de pino radiata del País Vasco. Tipo de contrato: Nacional. Ejecución de proyecto. CON-09-070. Empresa/Administración financiadora: Mesa Intersectorial de la madera del País Vasco. Duración: 2009-2010.

5.7.1.6 CIS-Madeira (Orense/Ourense)

Responsable: Dr. Manuel Touza Vázquez.

Tabla 5.69 Datos aportados por CIS-Madeira

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Castaño	100x100	71	Galicia	-
	140x140	70	Galicia	-
	200x200	59	Galicia	-
		200		
Pino pinaster	100x150	64	Galicia	-
	100x200	60	Galicia	-
	150x200	70	Galicia	-
	200x200	58	Galicia	-
		252		

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

GAIN-CIS Madera. Caracterización mecánica de vigas de gran escuadría de *Pinus pinaster*, *Eucalyptus globulus* y *Castanea sativa*. Aplicabilidad de métodos sónicos. Programas sectoriales de investigación aplicada PEME I+D e I+D SUMA. Expediente INCITE: 09MRU004CT.

5.7.1.7 INCAFUST (Lérida/Lleida)

Responsables: D. Jordi Gené Sera; Dr. Eduard Correal Mòdol; D. Marcel Vilches Casals.

Tabla 5.70 Datos aportados por INCAFUST

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Pino Oregón	50x100	300	Cataluña	-
	75x100	100	Cataluña	-
	75x120	100	Cataluña	-
		500		

El material recogido en la tabla y los ensayos realizados fueron financiados por la Conselleria d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya.

5.7.1.8 TKNKA (Guipúzcoa/Gipuzkoa)

Responsables: D.^a María José Barriola Baraibar (TKNIKA) y D. Bixente Dorronsoro Mintegui (Jefe de la 3^o Sección Forestal de la Diputación Foral de Guipúzcoa).

Tabla 5.71 Datos aportados por TKNKA

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Alerce de Japón	70x150	89	País Vasco	-
	100x150	75	País Vasco	-
	140x180	90	Navarra	-
	200x250	90	País Vasco	-
		344		
Pino laricio corsicana	70x150	118	País Vasco	-
	100x150	114	País Vasco	-
	140x180	104	País Vasco	-
	200x250	93	País Vasco	-
		429		
Pino Oregón	140x180	91	País Vasco	-
	200x250	82	Navarra	-
		173		

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

Proyecto de caracterización de la especie de madera de Alerce para su uso estructural. Financiado por: Diputación Foral de Gipuzkoa, Gobierno de Navarra, Departamento de Desarrollo Económico y competitividad. Departamento De Agricultura Pesca Y Política Alimentaria, Tknika: centro de investigación e innovación aplicada para la formación profesional. Entidades colaboradoras: Fundación Hazi, Serrería Larrañaga y Errekondo.

Proyecto de caracterización de la especie de madera de Pino Laricio de Córcega para su uso estructural. Financiado por: Diputación Foral de Gipuzkoa, Ayuntamiento de Leintz-Gatzaga, Departamento de Desarrollo Económico y

competitividad. Departamento De Agricultura Pesca Y Política Alimentaria y Tknika: centro de investigación e innovación aplicada para la formación profesional. Entidades colaboradoras: Serrería Larrañaga y Errekondo.

Proyecto de caracterización de la especie de madera de Abeto Douglas para su uso estructural. Financiado por el Ministerio de Educación y Cultura. Colaboradores: Diputación Foral de Gipuzkoa, Gobierno de Navarra, Departamento de Desarrollo Económico y competitividad, Departamento De Agricultura Pesca Y Política Alimentaria, Serrería Larrañaga, empresas Isa 2000, Urolalde y Tknika: centro de investigación e innovación aplicada para la formación profesional.

5.7.1.9 Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona)

Responsables: Dr. Joaquín Montón Lecumberri.

Tabla 5.72 Datos aportados por UPC

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Pino radiata	80x120	150	Cataluña	Montón 2012
		150		

El material recogido en la tabla fue suministrado y financiado por INCAFUST.

5.7.1.10 Universidad de Valladolid (Palencia)

Responsables: Dr. Luis Acuña Rello; Dr.^a María Milagrosa Casado Sanz.

Tabla 5.73 Datos aportados por UPV

Especie	Sección nominal (mm)	Nº de piezas	Procedencia	Tesis o PFC asociado
Chopo canadiense	50x150	144	Castilla y León	-
	80x150	136	Castilla y León	-
		280		
Pino pinaster	70x140	197	Castilla y León	-
	70x150	62	Castilla y León	-
	100x200	49	Castilla y León	-
	150x250	33	Castilla y León	-
		341		

A continuación se enumeran algunos de los proyectos de investigación que financiaron la obtención de los datos de la tabla anterior:

Título del proyecto: Proyecto de clasificación por métodos no destructivos y pseudono destructivos de madera estructural de Populus. Entidad financiadora: Junta de Castilla y León. VA047A08. Investigadora principal: María Milagrosa Casado Sanz. Duración: 2008-2010.

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

El estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera se realizó utilizando una muestra de 100 piezas (25 de cada especie), y analizando los fenómenos que se producían durante el proceso de secado natural al aire, desde un contenido de humedad de las piezas por encima del punto de saturación de la fibra hasta un valor próximo al 10%.

6.1.1 Técnicas no destructivas globales

Se encontró influencia del contenido de humedad de la madera en la velocidad de propagación obtenida a partir de equipos de transmisión de onda (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV y MST) y vibración (PLG y MTG), siendo esta influencia más acentuada por debajo, que por encima del punto de saturación de la fibra.

Se realizaron modelos de corrección por contenido de humedad, válidos para un rango entre el 10 y 30%, y un valor final de referencia del 12%, dando lugar a la ecuación 6.1 y tabla 6.1.

$$V_{12} = V_H / [1 - k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.1)$$

Donde: V_{12} es la velocidad al 12% de CH (m/s); V_H es la velocidad a un CH igual a H (m/s); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Tabla 6.1 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.1

Equipo	Especie	k_H
Sylvatest	radiata	0,0061
	silvestre	0,0062
	laricio	0,0071
	pinaster	0,0075
USLab	radiata	0,0062
	silvestre	0,0058
	laricio	0,0072
	pinaster	0,0076
Steinkamp BPV	silvestre	0,0077
MST	radiata	0,0063
	silvestre	0,0064
	laricio	0,0072
	pinaster	0,0077
PLG	radiata	0,0062
	silvestre	0,0063
	laricio	0,0073
	pinaster	0,0076
MTG	radiata	0,0062
	silvestre	0,0063
	laricio	0,0073
	pinaster	0,0076

6.1.2 Técnicas no destructivas puntuales

Se encontró influencia del contenido de humedad de la madera en la profundidad de penetración (Pilodyn 6J Forest) y en la fuerza de arranque de tornillo (SWRM), siendo esta influencia mucho más acentuada por debajo, que por encima del punto de saturación de la fibra.

Se realizaron modelos de corrección por contenido de humedad, válidos para un rango entre el 10 y 30%, y un valor final de referencia del 12%, dando lugar a la ecuación 6.2 y tabla 6.2.

$$VA_{12} = VA_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.2)$$

Donde: V_{12} es la variable al 12% de CH (mm o kN); V_H es la variable a un CH igual a H (mm o kN); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Tabla 6.2 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.2

Variable VA	Especie	k_H
Profundidad penetración	radiata	0,022
	silvestre	0,016
	laricio	0,017
	pinaster	0,020
Fuerza arranque tornillo	radiata	-0,022
	silvestre	-0,028
	laricio	-0,025
	pinaster	-0,021

6.1.3 Densidad

Se cuantificó la influencia del contenido de humedad de la madera en la densidad, presentando la misma tendencia tanto por encima, como por debajo del punto de saturación de la fibra.

Debido a los reducidos datos de los que se disponía por encima del 30%, se realizaron modelos de ajuste solo para valores por debajo del punto de saturación de la fibra, válidos para un rango entre el 10 y 30%, y un valor final de referencia del 12%, dando lugar a la ecuación 6.3 y tabla 6.3.

$$Den_{12} = Den_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.3)$$

Donde: Den_{12} es la densidad al 12% de CH (kg/m^3); Den_H es la densidad a un CH igual a H (kg/m^3); k_H es el coeficiente de corrección; H es el CH (%).

Tabla 6.3 Coeficientes de corrección de la ecuación 6.3

Variable	Especie	k_H
Densidad	radiata	0,0059
	silvestre	0,0057
	laricio	0,0050
	pinaster	0,0052

6.2 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

Para la estimación de las propiedades físicas y mecánicas se utilizó la misma muestra de 100 piezas (25 de cada especie) del apartado 6.1.

6.2.1 Densidad

Se estimó la densidad a partir de los datos obtenidos de profundidad de penetración (Pilodyn 6J Forest) y fuerza de arranque de tornillo (SWRM), siendo el modelo estadístico propuesto la ecuación 6.4 y la tabla 6.4.

$$\text{Den}_{12} = a \cdot \text{VA}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (6.4)$$

Donde: Den_{12} es la densidad al 12% de CH (kg/m^3); VA_{12} es la variable al 12% de CH (mm o kN); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 6.4 Coeficientes de la ecuación 6.4

Estimada	Variable VA	a	b	c	d	e	R ² (%)
Densidad	Prof. penetración	-10,32	-86,42	-28,69	43,02	689,73	55,71
	Fuerza arranque	77,39	-66,63	-13,21	41,09	395,28	68,34

6.2.2 Modulo de elasticidad

Se estimó el módulo de elasticidad local y global en flexión utilizando, tanto las velocidades obtenidas a partir de equipos de transmisión de onda (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV y MST) y vibración (PLG y MTG), como los módulos de elasticidad dinámicos derivados de dichas velocidades, observando que:

- Los resultados obtenidos con todos los equipos de transmisión de onda presentaron coeficientes de determinación similares, siendo ligeramente superiores los obtenidos con equipos de vibración (del 1 al 10%).
- La estimación del módulo de elasticidad estático global presentó coeficientes de determinación ligeramente superiores que la estimación del local (del 2 al 9%).
- La estimación con el módulo de elasticidad dinámico presentó coeficientes de determinación mayores (del 85 al 92%) que con la velocidad (del 67 al 85%).

Se muestra a continuación el modelo estadístico para la estimación del módulo de elasticidad local y global, a partir del módulo de elasticidad dinámico (ecuación 6.5 y tabla 6.5).

$$E_{12} = a \cdot E_{\text{din}_{12}} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (6.5)$$

Donde: E_{12} es el módulo de elasticidad al 12% de CH (N/mm²); $Edin_{12}$ es el módulo de elasticidad dinámico al 12% de CH (N/mm²); $Zrad$: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; $Zsil$: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; $Zlar$: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las $Zrad$, $Zsil$ y $Zlar$ son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 6.5 Coeficientes de la ecuación 6.5

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Eloc	Edin Syl	1,00	-1658,79	137,23	-376,33	-1997,19	86,58
	Edin USL	0,84	-1658,29	91,51	-357,67	-2022,98	85,94
	Edin BPV	1,09	0	0	0	-3530,39	84,80
	Edin MST	0,94	-1643,51	218,55	-492,94	-2218,94	86,67
	Edin PLG	1,11	-1337,81	359,43	202,21	-603,56	89,65
	Edin MTG	1,10	-1328,14	380,56	164,12	-715,62	89,63
Eglo	Edin Syl	0,82	-438,89	893,17	329,53	-1470,74	90,24
	Edin USL	0,69	-451,50	843,01	339,68	-1534,90	90,22
	Edin BPV	0,93	0	0	0	-2520,88	79,43
	Edin MST	0,78	-428,70	958,05	232,23	-1661,89	90,43
	Edin PLG	0,90	-144,26	1105,25	814,85	-226,27	91,55
	Edin MTG	0,90	-139,37	1119,60	782,94	-327,34	91,68

6.2.3 Tensión de rotura

Se estimó la tensión de rotura utilizando, tanto las velocidades de cada equipo, como los módulos de elasticidad dinámicos, observando que:

- El uso de las velocidades de los equipos de transmisión de onda presentó un coeficiente de determinación similar, siendo superior cuando se utilizaron equipos de vibración (del 9 al 19%). La diferencia de coeficiente de determinación entre equipos de transmisión de onda y vibración se redujo cuando la estimación se realizó a partir del módulo de elasticidad dinámico (del 2 al 16%).
- La estimación con el módulo de elasticidad dinámico presentó mayores coeficientes de determinación (del 53 al 70%) que con la velocidad (del 43 al 62%).
- La inclusión de un parámetro de nudosidad (CKDR) en el modelo produjo una mejora insignificante de los coeficientes de determinación (1 %).

Se presenta a continuación el modelo estadístico de estimación de la tensión de rotura a partir del módulo de elasticidad dinámico:

$$Trot = a \cdot Edin_{12} + b \cdot Zrad + c \cdot Zsil + d \cdot Zlar + e \quad (6.6)$$

Donde: $Trot$ es la tensión de rotura (N/mm²); $Edin_{12}$ es el módulo de elasticidad dinámico al 12% de CH (N/mm²); $Zrad$: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; $Zsil$: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; $Zlar$: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las $Zrad$, $Zsil$ y $Zlar$ son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 6.6 Coeficientes de la ecuación 6.6

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Trot	Edin Syl	0,0080	-12,47	-3,75	-11,42	-37,72	68,46
	Edin USL	0,0067	-12,34	-4,00	-11,21	-37,51	67,47
	Edin BPV	0,0075	0	0	0	-37,06	53,47
	Edin MST	0,0075	-11,92	-2,71	-12,17	-38,09	66,90
	Edin PLG	0,0087	-9,72	-1,80	-6,72	-25,99	70,18
	Edin MTG	0,0088	-9,66	-1,65	-7,03	-26,92	70,21

6.3 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE MEDIDA

El estudio de la influencia de la longitud de medida en las técnicas no destructivas se realizó utilizando una muestra de 120 piezas (30 de cada especie), y mediante un proceso de recorte sucesivo de las piezas metro a metro, desde una longitud de 4 m hasta 1 m.

El estudio de la influencia de la longitud de medida en la velocidad obtenida a partir de equipos de transmisión de onda y vibración, arrojó los siguientes resultados:

- Equipos de ultrasonidos (Sylvatest Duo, USLab y Steinkamp BPV) y ondas de impacto (MST): se encontró influencia de la longitud de medida en las velocidades obtenidas a partir de los tiempos de transmisión de onda.
- Equipos de vibraciones inducidas (PLG y MTG): no se encontró influencia de la longitud de medida en las velocidades obtenidas a partir de la frecuencia de vibración.

Por ello, se propuso un procedimiento para corregir esa influencia, obteniendo el tiempo de retardo particular para cada caso estudiado, consistente en:

1. Realizar medidas de tiempo a distintas longitudes (en este estudio cuatro longitudes diferentes resultaron suficientes) sobre varias piezas.
2. Realizar un modelo de regresión lineal entre los tiempos de propagación medidos y las longitudes de medida, del cual se obtiene el tiempo de retardo (término independiente de la ecuación de regresión).
3. Restar a los valores de tiempo de propagación medidos el tiempo de retardo obtenido.
4. Las nuevas velocidades obtenidas con los tiempos de propagación corregidos, serán independientes de la longitud.

Dado que el tiempo de retardo está influenciado por múltiples factores: equipo, especie, calidad de la madera (nudosidad), ..., cada vez que se mida un lote de madera con equipos de transmisión de onda se recomienda seguir el procedimiento aquí descrito.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, no será posible realizar medidas testa-testa a diferentes longitudes como se realizó en este estudio, pues no se podrá cortar la pieza a las diferentes longitudes requeridas, entonces deberán realizarse las medidas a diferentes longitudes en la cara o canto de la pieza, y de este modo sacar el tiempo de retardo correspondiente para realizar la corrección.

6.4 INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DE LOS SENSORES

Para el estudio de la influencia de la posición de los sensores se utilizó la misma muestra de 120 piezas (30 de cada especie) del apartado 6.3. Realizando mediciones en cara y canto, directas e indirectas con equipos de transmisión de onda a 3,52; 2,52; 1,52 y 0,52 m de longitud, obteniendo que:

- Las velocidades calculadas a partir de los tiempos de propagación de onda, tanto cara-cara, como canto-canto, directas e indirectas, para la longitud 0,52 m resultaron anómalas, obteniéndose por contra valores normales para las velocidades al resto de longitudes. Varios autores afirmaron la existencia de una longitud mínima de medida relacionada con la longitud de onda (dependiente de la frecuencia), por debajo de la cual aparecen efectos que distorsionan la medida. Se concluyó que debe establecerse una longitud mínima de medida en 1,5 m de longitud entre sensores.
- Se encontró influencia de la longitud de medida en las velocidades obtenidas para las longitudes: 3,52; 2,52 y 1,52 m. Por tanto, la influencia de la longitud de medida también afecta a las medidas en cara y canto.

Tras realizar la corrección por influencia de la longitud de medida, de acuerdo al procedimiento descrito en el apartado 6.3, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Resultó suficiente realizar medidas a tres longitudes diferentes, mayores de 1,5 m, para poder aplicar el procedimiento de corrección por influencia de la longitud de medida en mediciones en cara y canto.
- No se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas velocidades obtenidas de las mediciones cara-cara y canto-canto, directas e indirectas, en todos los equipos y especies. Por tanto, cualquiera de los cuatro modos de medida se considera equivalente.
- Se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre dichas velocidades de cara y canto (velocidades no testa-testa) y las obtenidas de las mediciones testa-testa para los equipos de ultrasonidos, no existiendo dichas diferencias en el equipo de ondas de impacto (MST).

El modelo estadístico propuesto para expresar las velocidades no testa-testa en función de la velocidad testa-testa es el siguiente:

$$V_{\text{testa-testa}} = a \cdot V_{\text{no testa-testa}} + b \cdot Z_{\text{rad}} + c \cdot Z_{\text{sil}} + d \cdot Z_{\text{lar}} + e \quad (6.7)$$

Donde: $V_{\text{testa-testa}}$ es la velocidad testa-testa (m/s); $V_{\text{no testa-testa}}$ es la velocidad no testa-testa (m/s); Zrad: es igual a 1 si la especie es pino radiata, si no, es 0; Zsil: es igual a 1 si la especie es pino silvestre, si no, es 0; Zlar: es igual a 1 si la especie es pino laricio, si no, es 0. Cuando las Zrad, Zsil y Zlar son iguales a 0, la ecuación es aplicable a la especie pino pinaster.

Tabla 6.7 Coeficientes de la ecuación 6.7

Estimada	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Velocidad Sylvatest testa-testa	Velocidad no testa-testa	0,945	52,45	-3,41	83,07	443,96	96,22
Velocidad USLab testa-testa		0,922	6,44	-20,26	96,12	677,51	96,91
Velocidad Steinkamp BPV testa-testa		0,769	0	0	0	1419,99	85,55

Si bien, para la obtención del tiempo de retardo en mediciones no testa-testa en el presente estudio se realizaron las medidas moviendo ambos sensores, en la práctica se recomienda dejar un sensor fijo e ir posicionando el otro a diferentes distancias.

6.5 CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS MUESTRAS

La clasificación visual con la norma UNE 56544:2011, realizada sobre dos muestras: muestra 1 a 3 metros de longitud en húmedo y seco, muestra 2 a 4 y 3 metros de longitud en seco, arrojó las siguientes conclusiones:

- Los rendimientos clasificatorios en seco fueron bajos, presentando altos porcentajes de rechazo (muestra 1: Rechazo entre el 36 y el 84% / muestra 2: Rechazo entre el 10 y el 90%).
- El parámetro más restrictivo en la clasificación visual en seco fueron las deformaciones. El uso de los valores máximos admisibles menos restrictivos, permitidos cuando la calidad visual de lugar a una clase resistente C18 o inferior, produjeron un aumento en los rendimientos clasificatorios en pino pinaster entre el 8 y el 34%.
- La clasificación visual en húmedo y en seco, realizada sobre la misma muestra, mostró resultados de rendimiento diferentes, ya que un gran número de piezas clasificadas como calidad visual MEG en húmedo, terminaron siendo rechazo cuando se clasificaron en seco. Por lo tanto, se consideró que la clasificación visual en húmedo y en seco no es comparable, no pudiéndose clasificar en húmedo y esperar un resultado similar en seco.
- Las diferencias entre calidades visuales para módulo de elasticidad y tensión de rotura no siempre mostraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, sí que se apreció una discriminación entre la calidad visual

MEG y el rechazo, es decir, la media o valor característico de los valores de las propiedades asignadas a la calidad visual MEG, fueron superiores a la media o valor característico de las asignadas a rechazo, indistintamente de que la clasificación visual se realizara en húmedo o seco.

- En el caso de la densidad, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna especie, ni en húmedo ni en seco, ni en ninguna de las dos muestras estudiadas. Además, no se apreció una discriminación entre la calidad visual MEG y el rechazo.

6.5.1 Comparativa de los resultados de la UNE 56544:2011 y la DIN 4074-1:2012

Para la presente comparativa fueron utilizados los resultados de la clasificación visual realizada sobre las mismas muestras con la norma española UNE 56544:2011 y con la norma alemana DIN 4074-1:2012-06 (los resultados se muestran en el anexo D), obteniendo las siguientes conclusiones:

- El parámetro que produjo mayor porcentaje de rechazo en la clasificación en seco con ambas normas fueron las deformaciones. Los valores máximos admisibles de curvatura de cara son más restrictivos en la norma alemana (8 mm) que en la española (10 mm), como es lógico, se produjo mayor número de rechazos por dicho parámetro con la norma alemana.
- La forma de evaluar los nudos de la norma alemana dio lugar a un menor porcentaje de rechazo por este parámetro que la española (hasta un 13 % menos).
- La mayor permisividad de la norma alemana con las alteraciones biológicas, produjo un incremento en el rendimiento clasificatorio por dicho parámetro de hasta un 13% en el caso del pino pinaster a 4 m de longitud.
- Con ambas normas se encontró una gran diferencia entre la clasificación en húmedo y seco. Provocando que un gran número de piezas clasificadas en una calidad visual en húmedo, terminaran siendo rechazo cuando se usó la misma norma para clasificar en seco.
- Con respecto a la relación entre las propiedades físico-mecánicas y la calidad visual asignada, la clasificación visual de madera aserrada de gran escuadría con ambas normas no siempre presenta diferencias estadísticamente significativas entre calidades visuales para el caso del módulo de elasticidad y la tensión de rotura, sin embargo, en la mayoría de los casos, sí que permite realizar una discriminación entre calidades visuales utilizando el valor medio y característico, tanto en húmedo como en seco. Esto no ocurre para el caso de la densidad.

6.6 COMPARATIVA ENTRE EQUIPOS DE ENSAYO

La comparativa entre los módulos de elasticidad dinámicos y estáticos entre equipos, arrojó las siguientes conclusiones:

- Los módulos de elasticidad dinámicos obtenidos a partir de los equipos de transmisión de onda, presentaron valores superiores a los módulos de elasticidad estáticos, siendo los valores más elevados los obtenidos con el equipo USLab, y presentando los valores de dicho equipo, diferencias estadísticamente significativas con respecto al resto de equipos de transmisión de onda.
- Las diferencias en el módulo de elasticidad dinámico entre las lecturas de los diferentes equipos de transmisión de onda, se podrían explicar debido al distinto umbral de detección de cada equipo. Además, el efecto de la fluencia (deformación diferida debida al tiempo de ensayo) también explicaría las diferencias entre módulos estáticos y dinámicos.
- Los módulos de elasticidad dinámicos obtenidos a partir de los equipos de vibración, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con los módulos de elasticidad estáticos (tanto local como global).

6.7 RECOPIACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE RESULTADOS NO DESTRUCTIVOS

El proceso llevado a cabo consistió en la recopilación y homogeneización de 9355 datos de mediciones no destructivas. Dichos datos fueron obtenidos en el periodo 1992-2015 por diez organismos de investigación: UPM, AITIM, CESEFOR, CETEMAS, CIFOR-INIA, CIS-MADEIRA, INCAFUST, TKNKA, UPC y UVA. Se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.8 Resumen de datos por especie y escuadría

Especie	N° de datos		
	Pequeña escuadría (b≤70mm)	Gran escuadría (b>70mm)	Total
Abeto	49	98	147
Acacia	46	44	90
Alerce de Japón	89	255	344
Castaño	925	200	1125
Chopo canadiense	144	136	280
Elondo	52	227	279
Pino laricio	869	120	989
Pino laricio corsicana	118	311	429
Pino Oregón	400	733	1133
Pino pinaster	2057	235	2292
Pino radiata	178	305	483
Pino silvestre	1327	437	1764
Total	6254	3101	9355

6.8 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

A la vista de los resultados y conclusiones de la presente tesis doctoral, se plantearon algunas posibles líneas futuras de investigación:

- En el estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las variables no destructivas, si bien se apreció una influencia por encima del punto de saturación de la fibra, no se estudió dicha influencia debido al reducido número de datos disponibles. Por ello, se propone el estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las mediciones con dichos equipos para un contenido de humedad por encima del 30%.
- Se propone realizar el estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las variables no destructivas, para otras especies de procedencia española, como castaño, chopo, eucalipto...
- En el estudio de la influencia de la longitud de medida, las piezas se redujeron hasta una longitud de 1 m, sería interesante seguir cortándolas, si bien, deberían utilizarse equipos de ultrasonidos de mayor frecuencia para evitar problemas derivados de la relación mínima necesaria entre de la longitud de la pieza/longitud de onda.
- En el estudio de la influencia de la longitud de medida, se indicó que la nudosidad es un factor que afecta al tiempo de retardo, por ello se considera interesante estudiar la influencia de dicho factor en el citado tiempo de retardo. Para ello debería aislarse lo más posible dicho factor utilizando una misma especie con muestras con diferentes grados de nudosidad.
- En el estudio realizado de influencia de la longitud de medida, se realizaron cortes sucesivos de la pieza sin variar la sección, por tanto, la esbeltez variaba en cada caso. Parece de interés estudiar la influencia de las dimensiones manteniendo la esbeltez, para ello, además de, reducirse la longitud, deberá reducirse la sección proporcionalmente.
- En el estudio de la influencia de la posición de los sensores, fue necesario descartar las medidas a 0,52 m por los valores anómalos obtenidos, lo cual no hizo posible el estudio de una hipotética influencia del ángulo en las medidas directas. Sería interesante estudiar el efecto del ángulo que forma la línea de medición respecto a la fibra, aunque resulta difícil independizar dicho supuesto factor de otros como el efecto de la longitud de medida. Dado que para obtener un ángulo elevado deben situarse los sensores bastante próximos, debería utilizarse un equipo de mayor frecuencia que los aquí utilizados, para evitar los efectos de distorsión debidos a la proximidad.
- En la clasificación visual, ante el alto porcentaje de rechazos obtenidos por deformaciones, sería interesante estudiar las condiciones adecuadas de secado, además de otros factores como la silvicultura o la forma de aserrado, con objeto de limitar dichas deformaciones.

- En el estudio de la clasificación visual, ante la gran diferencia encontrada entre clasificar madera húmeda y seca con la misma norma, sería necesario adaptar la norma para que los resultados en húmedo y seco sean equiparables.
- En la recopilación y homogeneización de resultados no destructivos, ante el gran número de datos y especies recogidas, sería interesante realizar un análisis de predicción de propiedades físico-mecánicas con diferentes especies y con distintas procedencias de la misma especie.
- Asimismo, parece necesario completar la base de datos de ensayos no destructivos, además de, con las piezas ensayadas en la presente tesis, con alguna escuadría de la cual no se dispone de datos.
- En la recopilación y homogeneización de resultados no destructivos, dado que se dispone de más de 9000 datos, parecería de interés desarrollar una norma de clasificación basada en técnicas no destructivas, aparte de la clasificación visual, adaptada a las singularidades de las especies de procedencia española.
- Asimismo, podría resultar de interés analizar los datos con otros métodos estadísticos, como por ejemplo las redes neuronales.

6.9 CONCLUSIONS

6.9.1 Influence of timber moisture content

The influence of timber moisture content (CH) on non-destructive variables was studied using a batch of 100 timber specimens (25 of each species). Moisture content influence was studied during the natural air drying process, from moisture content above fiber saturation point to circa 10%.

6.9.1.1 Global non-destructive techniques

Timber moisture content influence on acoustic wave velocities (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV and MST) and longitudinal vibration velocities (PLG and MTG) was found. This influence was bigger below than above fiber saturation point.

Adjustment models for a 12% reference moisture content and a range from 10% to 30% of moisture content were made. These models are shown in equation 6.9.1 and table 6.9.1.

$$V_{12} = V_H / [1 - k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.9.1)$$

Where: V_{12} is velocity at 12% of CH (m/s); V_H is velocity at H% of CH (m/s); k_H is the correction coefficient; H is the CH (%)

Table 6.9.1 Coefficients of equation 6.9.1

Device	Species	k_H
Sylvatest	radiata	0,0061
	Scots	0,0062
	laricio	0,0071
	maritime	0,0075
USLab	radiata	0,0062
	Scots	0,0058
	laricio	0,0072
	maritime	0,0076
Steinkamp BPV	Scots	0,0077
MST	radiata	0,0063
	Scots	0,0064
	laricio	0,0072
	maritime	0,0077
PLG	radiata	0,0062
	Scots	0,0063
	laricio	0,0073
	maritime	0,0076
MTG	radiata	0,0062
	Scots	0,0063
	laricio	0,0073
	maritime	0,0076

6.9.1.2 Non-destructive probing techniques

Timber moisture content influence on penetration depth (Pilodyn 6J Forest) and screw withdrawal force (SWRM) was measured. This influence was greater below the fiber saturation point than it was above the same.

Adjustment models for the 12% reference moisture content and a range from 10% to 30% of moisture content were obtained. These models are shown in equation 6.9.2 and table 6.9.2.

$$VA_{12} = VA_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.9.2)$$

Where: VA_{12} is the variable at 12% of CH (mm or kN); V_H is the variable at H% of CH (mm or kN); k_H is the correction coefficient; H is the CH (%)

Table 6.9.2 Coefficients of equation 6.9.2

Variable VA	Species	k_H
Penetration depth	radiata	0,022
	Scots	0,016
	laricio	0,017
	maritime	0,020
Screw withdrawal force	radiata	-0,022
	Scots	-0,028
	laricio	-0,025
	maritime	-0,021

6.9.1.3 Density

Timber moisture content influence on density was quantified. This influence was similar below and above the fiber saturation point.

Adjustment models for the 12% reference moisture content and a range from 10% to 30% of moisture content were obtained. These models are shown in equation 6.9.3 and table 6.9.3.

$$\text{Den}_{12} = \text{Den}_H / [1 + k_H \cdot (H - 12)] \quad (6.9.3)$$

Where: Den_{12} is the density at 12% of CH (kg/m^3); Den_H is the density at H% of CH (kg/m^3); k_H is the correction coefficient; H is the CH (%)

Table 6.9.3 Coefficients of equation 6.9.3

Variable	Species	k_H
Density	radiata	0,0059
	Scots	0,0057
	laricio	0,0050
	maritime	0,0052

6.9.2 Estimation of mechanical properties by non-destructive techniques

Physical and mechanical properties were estimated by non-destructive techniques using the same timber batch of 100 specimens (25 of each species) as in 6.9.1. Variables were adjusted to the 12% reference moisture content.

6.9.2.1 Density

Density was estimated from penetration depth (Pilodyn 6J Forest) and screw withdrawal force (SWRM) results. The models are shown in equation 6.9.4 and table 6.9.4.

$$\text{Den}_{12} = a \cdot \text{VA}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (6.9.4)$$

Where: Den_{12} is the density at 12% of CH (kg/m^3); VA_{12} is the variable at 12% of CH (mm or kN); Zrad is equal to 1 if the timber species is radiata pine, if not it is equal to 0; Zsil is equal to 1 if the timber species is Scots pine, if not it is equal to 0; Zlar is equal to 1 if the timber species is laricio pine, if not it is equal to 0. When Zrad, Zsil and Zlar are equal to 0, equation is used for maritime pine.

Table 6.9.4 Coefficients of equation 6.9.4

Estimated	Variable VA	a	b	c	d	e	R^2 (%)
Density	Penetration depth	-10,32	-86,42	-28,69	43,02	689,73	55,71
	Screw with. force	77,39	-66,63	-13,21	41,09	395,28	68,34

6.9.2.2 Modulus of elasticity

Local and global modules of elasticity were estimated by acoustic wave velocity (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV and MST) and longitudinal vibration velocity (PLG and MTG). Estimation was also carried out using the dynamic modulus of elasticity obtained from these velocities. Thus:

- Estimation by acoustic wave devices showed similar determination coefficients, although estimation using vibration devices showed higher determination coefficients (from 1% to 10%).
- Estimation of the global modulus of elasticity gave rise to higher determination coefficients than the estimation of the local modulus of elasticity (from 2% to 9%).
- Estimation by dynamic modulus of elasticity gave higher determination coefficients (from 85% to 92%) than estimation using velocity (from 67% to 85%).

Estimations using dynamic modulus of elasticity models are shown in equation 6.9.5 and table 6.9.5.

$$E_{12}=a \cdot Edin_{12}+b \cdot Zrad+c \cdot Zsil+d \cdot Zlar+e \quad (6.9.5)$$

Where: E_{12} is modulus of elasticity at 12% of CH (N/mm²); $Edin_{12}$ is dynamic modulus of elasticity at 12% of CH (N/mm²); $Zrad$ is equal to 1 if the timber species is radiata pine, if not it is equal to 0; $Zsil$ is equal to 1 if the timber species is Scots pine, if not it is equal to 0; $Zlar$ is equal to 1 if the timber species is laricio pine, if not it is equal to 0. When $Zrad$, $Zsil$ and $Zlar$ are equal to 0, equation is used for maritime pine.

Table 6.9.5 Coefficients of equation 6.9.5

Estimated	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Eloc	Edin Syl	1,00	-1658,79	137,23	-376,33	-1997,19	86,58
	Edin USL	0,84	-1658,29	91,51	-357,67	-2022,98	85,94
	Edin BPV	1,09	0	0	0	-3530,39	84,80
	Edin MST	0,94	-1643,51	218,55	-492,94	-2218,94	86,67
	Edin PLG	1,11	-1337,81	359,43	202,21	-603,56	89,65
	Edin MTG	1,10	-1328,14	380,56	164,12	-715,62	89,63
Eglo	Edin Syl	0,82	-438,89	893,17	329,53	-1470,74	90,24
	Edin USL	0,69	-451,50	843,01	339,68	-1534,90	90,22
	Edin BPV	0,93	0	0	0	-2520,88	79,43
	Edin MST	0,78	-428,70	958,05	232,23	-1661,89	90,43
	Edin PLG	0,90	-144,26	1105,25	814,85	-226,27	91,55
	Edin MTG	0,90	-139,37	1119,60	782,94	-327,34	91,68

6.9.2.3 Bending strength

Bending strength was estimated using acoustic wave velocity (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV and MST) and longitudinal vibration velocity (PLG and MTG).

Estimation was also carried out using the dynamic modulus of elasticity obtained from these velocities. Thus:

- Estimation using acoustic wave velocity gave rise to similar determination coefficients, but estimation by longitudinal vibration velocity showed higher determination coefficients (from 9% to 19%). These differences in determination coefficients between acoustic waves and vibration devices were reduced when the dynamic modulus of elasticity was used instead of velocity (from 2% to 16%).
- Estimation using the dynamic modulus of elasticity showed higher determination coefficients (from 53% to 70%) than when velocity was used (from 43% to 62%).
- Estimation using the dynamic modulus of elasticity plus CKDR (a knottiness variable) instead of using only the dynamic modulus of elasticity showed an insignificant increase in determination coefficients (1%).

Estimation using dynamic modulus of elasticity models is shown in equation 6.9.6 and table 6.9.6.

$$\text{Trot} = a \cdot \text{Edin}_{12} + b \cdot \text{Zrad} + c \cdot \text{Zsil} + d \cdot \text{Zlar} + e \quad (6.9.6)$$

Where: Trot is bending strength (N/mm²); Edin₁₂ is dynamic modulus of elasticity at 12% of CH (N/mm²); Zrad is equal to 1 if the timber species is radiata pine, if not it is equal to 0; Zsil is equal to 1 if the timber species is Scots pine, if not it is equal to 0; Zlar is equal to 1 if the timber species is laricio pine, if not it is equal to 0. When Zrad, Zsil and Zlar are equal to 0, equation is used for maritime pine.

Table 6.9.6 Coefficients of equation 6.9.6

Estimated	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Trot	Edin Syl	0,0080	-12,47	-3,75	-11,42	-37,72	68,46
	Edin USL	0,0067	-12,34	-4,00	-11,21	-37,51	67,47
	Edin BPV	0,0075	0	0	0	-37,06	53,47
	Edin MST	0,0075	-11,92	-2,71	-12,17	-38,09	66,90
	Edin PLG	0,0087	-9,72	-1,80	-6,72	-25,99	70,18
	Edin MTG	0,0088	-9,66	-1,65	-7,03	-26,92	70,21

6.9.3 The influence of measurement length

The influence of measurement length on non-destructive variables was studied using a timber batch of 120 specimens (30 of each species). Specimens were reduced in length from 4 to 1 m, meter by meter. Longitudinal velocities using acoustic and vibration devices were measured and it was observed that:

- With acoustic devices (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV and MST): measurement length was found to influence longitudinal velocity obtained from time-of-flight data.

- Vibration devices (PLG and MTG): no influence of measurement length on the longitudinal velocity obtained from frequency was detected.

A procedure was therefore proposed to eliminate this influence, obtaining a time lag for every specific case. This procedure consists of:

1. Taking time-of-flight measurements at different lengths (in this study four lengths were enough) in several specimens.
2. Creating a linear regression model between time-of-flight measurements and measurement lengths. A time lag is obtained from this model as the independent variable of the lineal regression equation.
3. Subtracting the time lag from time-of-flight measurements.
4. New velocities obtained from corrected times-of-flight are independent of measurement length.

Because time lag is affected by several factors: the device, species and timber quality, ..., it is recommended that this procedure be used in every new timber batch. However, in general it is not possible to cut specimens in order to obtain end-to-end measurements at several lengths, so that it is recommended to measure at different lengths on the face or the edge.

6.9.4 Sensors position influence

Sensors position influence on non-destructive variables was studied using the same timber batch of 120 specimens (30 of each species) as in part 6.9.3. Direct and indirect time-of-flight face-to-face and edge-to-edge was measured with acoustic devices at four different lengths: 3.52 m; 2.52 m; 1.52 m and 0.52 m. Preliminary conclusions were:

- The direct and indirect velocities measured face-to-face and edge-to-edge at 0.52 m were anomalous. However, the velocities measured at other lengths were normal. Several authors propose a minimum length for measurement with acoustic devices according to sensor frequency without distortion effects. A minimum length of 1.5 m was set for use in this study.
- Measurement length influenced velocities measured at 3.52 m; 2.52 m and 1.52 m. Therefore, measurement length also affects face-to-face and edge-to-edge measurements.

The length correction procedure was applied, after which:

- Measurements at three different lengths were sufficient to apply the measurement length correction procedure.

- No significant statistical differences between face-to-face, edge-to-edge or direct and indirect velocities were found. Thus all these measurements were equivalent.
- Significant statistical differences between non end-to-end velocities (face-to-face and edge-to-edge, direct and indirect) and end-to-end velocities were found using ultrasound devices (Sylvatest Duo, USLab and Steinkamp BPV). However, no significant statistical differences were found using the stress wave device (MST).

Linear regression models between non end-to-end and end-to-end velocities are shown in equation 6.9.7 and table 6.9.7:

$$V_{\text{end-end}} = a \cdot V_{\text{non end-end}} + b \cdot Z_{\text{rad}} + c \cdot Z_{\text{sil}} + d \cdot Z_{\text{lar}} + e \quad (6.9.7)$$

Where: $V_{\text{end-end}}$ is end-to-end velocity (m/s); $V_{\text{non end-end}}$ is non end-to-end velocity (m/s); Z_{rad} is equal to 1 if the timber species is radiata pine, if not it is equal to 0; Z_{sil} is equal to 1 if the timber species is Scots pine, if not it is equal to 0; Z_{lar} is equal to 1 if the timber species is laricio pine, if not it is equal to 0. When Z_{rad} , Z_{sil} and Z_{lar} are equal to 0, equation is used for maritime pine.

Table 6.9.7 Coefficients of equation 6.9.7

Estimated	Variable	a	b	c	d	e	R ² (%)
Velocity end to end Sylvatest	Velocity non end to end	0,945	52,45	-3,41	83,07	443,96	96,22
Velocity end to end USLab		0,922	6,44	-20,26	96,12	677,51	96,91
Velocity end to end Steinkamp BPV		0,769	0	0	0	1419,99	85,55

During the measurement length correction procedure in this study both sensors were moved to different lengths. However, it is faster to move only one sensor.

6.9.5 Visual strength grading

Visual strength grading according to the UNE 56544:2011 Spanish standard was performed using the same two batches of specimens as the previous parts of the study. Batch 1a: 100 specimens (25 of each species) 3 m long under wet and dry moisture content conditions. Batch 2: 120 specimens (30 of each species) 4 and 3 m long. The main findings were:

- Dry visual strength grading yield was low with a high percentage of rejection (batch 1a: from 36% to 84% / batch 2: from 10% to 90%).
- Warp was the parameter that caused the highest rejection percentage under dry conditions. If a less restrictive maximum warp rule was used (when visual grade is assigned to C18 strength class or below), then visual strength grading yield increases from 8% to 34%.

- A great difference was found between wet (up to 24% rejected) and dry (up to 84% rejected) visual strength gradings in same batch. It is not possible to classify specimens under dry conditions and expect same results as in wet conditions.
- Significant statistical differences between modulus of elasticity and bending strength according to the visual strength grade were not always found. However, in both moisture content situations, a correct discrimination between modulus of elasticity and bending strength by visual strength grade was found using mean and characteristic values.
- No significant statistical differences between densities according to the visual strength grade were found, and discrimination was not possible.

6.9.5.1 Visual strength grading using UNE 5644:2011 vs. DIN 4074-1:2012

Visual strength grading according to the UNE 5644:2011 Spanish standard and the DIN 4074-1:2012-06 German standard (annex D) was performed using the same two batches as in part 6.9.5. The main results were:

- Warp was the parameter which led to the highest rejection percentage under dry conditions using both standards. Maximum warp bow rule is more restrictive in the German standard (8 mm) than it is in the Spanish standard (10 mm). The bow rejection percentage was therefore higher when the German standard was used.
- In knottiness evaluation there was less rejection percentage using the German standard than there was with the Spanish standard (up to 13% less).
- The German standard is less restrictive than the Spanish one about insect damage. Thus the visual strength grading result for 4 m long maritime pine was 13% higher using German standard.
- A major difference was found between wet and dry visual strength grades in the same batch using both standards. It is not possible to classify under dry conditions and expect the same results as under wet conditions.
- Significant statistical differences between modulus of elasticity and bending strength according to the visual strength grade were not always found using both standards. However, in general using both standards, a correct discrimination between modulus of elasticity and bending strength according to visual strength grade was found using mean and characteristic values.
- No significant statistical differences between densities according to visual strength grade were found, and discrimination was not possible with any of them.

6.9.6 Comparison of devices

The static and dynamic modules of elasticity obtained with different devices were compared. The conclusions are:

- The dynamic modules of elasticity obtained using acoustic devices (Sylvatest Duo, USLab, Steinkamp BPV and MST) were higher than the static modules of elasticity. The highest one was obtained using USLab. Significant statistical differences between the USLab dynamic modulus of elasticity and other acoustic ones were found.
- The differences between dynamic modules of elasticity obtained using acoustic devices could be explained by different device threshold detection. The fluency effect could also explain these differences.
- No significant statistical differences between dynamic modules of elasticity obtained using vibration devices (PLG and MTG) and static modules of elasticity (local and global) were found.

6.9.7 The collection and homogenization of non-destructive results

Non-destructive results from circa 9500 specimens (more than 3000 of gross cross-section) were compiled and homogenized. These data were obtained from 1992 to 2015 by several Spanish research groups: UPM, AITIM, CESEFOR, CETEMAS, CIFOR-INIA, CIS-MADEIRA, INCAFUST, TKNKA, UPC and UVA. The number of specimens is shown in table 6.9.8.

Table 6.9.8 Data resume by species and dimensions

Species	Data number		
	Small cross-section ($b \leq 70\text{mm}$)	Gross cross-section ($b > 70\text{mm}$)	Total
Silver fir	49	98	147
robinia	46	44	90
Japanese larch	89	255	344
sweet chestnut	925	200	1125
black poplar	144	136	280
missanda / Tali	52	227	279
laricio pine	869	120	989
Corsican pine	118	311	429
Douglas fir	400	733	1133
maritime pine	2057	235	2292
radiata pine	178	305	483
Scots pine	1327	437	1764
Total	6254	3101	9355

6.9.8 Future research lines

Given these results and conclusions, some future research lines were suggested:

- With respect to the influence of timber moisture content on non-destructive variables, different tendencies were detected in variables above the fiber saturation point. It may therefore be of interest to study the influence of timber moisture content on non-destructive variables at above 30% moisture content.
- It will be interesting to study the influence of timber moisture content on non-destructive variables with other Spanish species such as sweet chestnut, black poplar, southern blue gum ...
- Regarding the influence of measurement length, in this study specimens were reduced down to 1 m in length. Although it may be of interest to continue shortening specimens, this would require devices that work at higher frequencies than those used here.
- Regarding the influence of measurement length, the influence of knottiness on time lag was shown. It will be interesting to study the influence of knottiness on time lag using two batches of the same species with different degrees of knottiness.
- With respect to the influence of sensors position, measurements 0.52 m apart had to be discarded. Due to this, it was not possible to study a potential angle with respect to fiber effect on face-to-face direct velocity. It could be interesting to study the angle effect, but this would require devices that work at higher frequencies than the ones used here.
- Regarding visual strength grading, a high percentage of rejection was found in dry conditions due to warp. It will be interesting to study silviculture and drying methods to reduce this problem.
- With regard to visual strength grading, great differences were found between the results of wet and dry visual strength grading. It could be interesting to adapt standards in order to achieve similar results in wet and dry conditions.
- In terms of the compilation and homogenization of non-destructive results, a large number of data and species were homogenized. It will be interesting to propose estimation models of physical and mechanical properties using non-destructive variables from different species and sources.
- Additionally, it will be necessary to complete the data sheet with more data corresponding to different cross-sections of the same species.
- The compilation and homogenization of non-destructive results shows data from circa 9500 specimens. It could be interesting to standardize the non-destructive techniques used, centring especially on Spanish species.
- Finally, it may be of interest to analyze the results of this Doctoral Thesis using different statistical methods, including neural networks.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1 PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y LIBROS

- Acuña, L.; Díez, M.R.; Martín, L.; Casado, M.; Basterra, A.; Ramón, G.; Relea, E. (2007). La técnica de transmisión ultrasónica aplicada a la madera estructural. Asociación Española de Ensayos no Destructivos. 11º Congreso Español de END, Gijón, 2007. Pp. 91-102.
- Acuña, L.; Basterra, L.A.; Casado, M.; López, G.; Ramón-Cueto, G.; Relea, E.; Martínez, C.; González, A. (2011). Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y la diferenciación de especies de madera. *Materiales de construcción*. Vol. 61, 303, Pp. 451-464.
- Adell, F.J.; Hermoso, E.; Arriaga, F.; Richter, C. (2008). Comparison of the Spanish visual strength grading standard for structural sawn timber (UNE 56544) with the German one (DIN 4074) for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from Germany. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66. Pp. 253 - 258.
- Aguilera, C.; Ramos, M.; Salinas, D. (2002). Visualización interna de nudos en rollizos de madera de *Pinus radiata* D. Don utilizando rayos-X. *Maderas, ciencia y tecnología*. Vol.4, No. 2, pp. 193-200.
- Argüelles, R.; Arriaga, F. (1986). Norma de cálculo de estructuras de madera. Ed. AITIM. Madrid.
- Armstrong, J.P.; Patterson, D.W.; Sneckenberger, J.E. (1991). Comparison of three equations for predicting stress wave velocity as a function of grain angle. *Wood and fiber science*. 23(1), pp. 32-43.
- Arriaga, F.; García, L.; Gebremedhin, K.G.; Peraza, F. (1992a). Grading and load carrying capacity of old timber beams. International Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers. 21-24 June 1992. Charlotte, North Carolina, USA.
- Arriaga, F.; García, L.; Gebremedhin, K.G.; Peraza, F. (1992b). Evaluación de la capacidad portante de forjados antiguos con vigas de madera. *Revista AITIM*, nº 161, nov/dic, Pp 51-59.
- Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Esteban, M. (2005). Assessment of strength and stiffness properties using longitudinal stress wave on structural gross cross section timber of radiate pine (*Pinus radiata* D. Don). Proceedings of the 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. May 2-4. Hannover, Germany. Published by Shaker Verlag, Germany. P. 101 - 110.
- Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Esteban, M.; Fernández-Golfín, J.I. (2006). Structural Tali timber (*Erythrophloeum ivorense* A. Chev., *Erythrophloeum suaveolens* Brenan.): Assessment of strength and stiffness properties using visual and ultrasonic methods. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64. P. 357 - 362.
- Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Esteban, M.; Bobadilla, I. (2009). Proposal of a methodology for the assessment of existing timber structures in Spain. Proceedings of 16th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Pp. 145-151. Oct 12-14. Beijing, China.
- Arriaga, F.; Íñiguez-González, G.; Esteban, M.; Divos, F. (2012). Vibration method for grading of large cross-section coniferous timber species. *Holzforschung*, 66:381-387.
- Arriaga, F.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G.; Bobadilla, I.; Llana, D.F.; González-Sanz, M. (2013). Structural assessment of the timber structure of the Casa Grande building in the Real Cortijo de San Isidro, Aranjuez, Madrid (Spain). Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 233-244 Pp. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Arriaga, F.; Monton, J.; Segues, E.; Íñiguez-González, G. (2014). Determination of the mechanical properties of radiata pine timber by means of longitudinal and transverse vibration methods. *Holzforschung* 68(3):299-305.

- Baar, J.; Tippner, J.; Rademacher, P. (2015). Prediction of mechanical properties – modulus of rupture and modulus of elasticity - of five tropical species by nondestructive methods. *Maderas ciencia y tecnología* 17(2): 239-252.
- Balmori, J.A.; Acuña, L.; Basterra, L.A. (2016). Estudio de la influencia de la dirección de la fibra en la velocidad de propagación de ultrasonidos (Fakopp) en madera estructural de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus radiata* D. Don. Actas del congreso Euro-americano Rehabend 2016. 746-755 Pp. 24-27 mayo. Burgos, España.
- Baño, V.; Santos, J.C.; Vivas, J.; Rodríguez, S.; Vega, A.; Crews, K. (2011). A study of the influence of different types of timber footbridges on the vibrational natural frequency. 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 531-537. Sep. 14-16, Sopron, Hungary.
- Bartholomeu, A.; Gonçalves, R.; Bucur, V. (2003). Dispersion of ultrasonic waves in Eucalyptus lumber as a function of the geometry of boards. *Scientia Forestalis*. N 63, p. 235-240, 2003.
- Basterra, L.A.; Acuña, L.; Casado, M.; Ramón, G.; López, G. (2009). Diagnóstico y análisis de estructuras de madera mediante técnicas no destructivas: aplicación a la plaza mayor de Chinchón (Madrid) Informes de la construcción. Vol. 61, 516, 21-36, oct-dic 2009.
- Bekhta, P.; Niemz, P.; Kucera, L.J. (2002). Untersuchungen einiger Einflussfaktoren auf die Schallausbreitung in Holzwerkstoffen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60 (2002) 41-45.
- Bell, E.R.; Peck, E.C.; Krueger, N.T. (1954). Modulus of elasticity of wood determined by dynamic methods. Forest Products Laboratory. Forest Service. USDA.
- Bobadilla, I.; Íñiguez, G.; Esteban, M.; Arriaga, F.; Casas, L. (2007). Density estimation by screw withdrawal resistance and probing in structural sawn coniferous timber. Proceedings of 15th International symposium on nondestructive testing of wood. 247-251 Pp. Sep. 10-12. Duluth, MN, USA.
- Bobadilla, I.; Íñiguez, G.; Arriaga, F.; Esteban, M. (2009). Técnicas no destructivas en la inspección de estructuras de madera I: El penetrómetro. *Revista AITIM*, nº 260. Pp. 66-70.
- Bobadilla, I.; Martínez, R.D.; Calvo, J.; Arriaga, F.; Íñiguez-González, G. (2013). First steps in wood density estimation using a conventional drill. Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 112-118 Pp. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Bodig, J.; Jayne, B.A. (1982). Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.
- Boström, L. (1994). Machine strength grading. Comparison of four different systems. Swedish national testing and research institute. Building technology. SP report 1994:49. 57 p.
- Brancheriau, L.; Bailleres, H.; Guitard, D. (2002). Comparison between modulus of elasticity values calculates using 3 and 4 point bending tests on wooden samples. *Wood Science and Technology* 36. Pp. 367-383.
- Brashaw, B.K.; Vatalaro, R.J.; Wacker, J.P.; Ross, R.J. (2005). Condition assessment of timber bridges. 2. Evaluation of several stress-wave tools. General Technical Report FPL-GTR-160. Madison, WI, USA.
- Brashaw, B.K.; Bucur, V.; Divos, F.; Gonçalves, R.; Lu, J.; Meder, R.; Pellerin, R.F.; Potter, S.; Ross, R.J.; Wang, X.; Yin, Y. (2009). Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update. *Forest products journal*. Vol. 59, No. 3. Pp. 7-14.
- Broto, M.; Villanueva, J.L.; Lafuente, E.; Rodríguez, F. (2007). Evaluación de la resistencia por frecuencia de resonancia. Un caso práctico. Actas del III Congreso iberoamericano de productos forestales. 3-5 julio. Buenos Aires, Argentina.
- Bucur, V. (1978). Wood failure testing in ultrasonic methods. Proceedings of 4th Nondestructive testing of wood symposium. Pp. 223-226. Aug. 28-30. Vancouver, WA, USA.

- Bucur, V. (1980). Modifications des propriétés acoustiques du bois de résonance sous l'effet de sollicitations de longue durée. *Annals of Forest Science*, 37 (3). P. 249 - 264.
- Bucur, V.; Navarrete, A.; Troya, M.T.; Sánchez, E.; Garros, S.; Díez, M.R. (1993). Fungi decay in wood by combined nondestructive testings. *Ultrasonics international* 93 conference. Vienna, Austria 6-8 July 1993. Pp. 287-290.
- Bucur, V.; Böhnke, I. (1994). Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. *Ultrasonics*, 32 (5). P. 385 - 390.
- Bucur, V. (2006). *Acoustics of wood*. 2nd Edition. Springer. Germany.
- Calderon, C.; Saiz-Omeñaca, J.A. (2011). Use of nondestructive testing and computer aided design (CAD) for the evaluation of wood condition in a replica of the Spanish ship "Nao Victoria". 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 555-559. Sep. 14-16, Sopron, Hungary.
- Capuz, R.; Díez, M.R.; Botelho, J.; San-Valero, E. (2007). Aplicación de métodos de ensayo no destructivos a vigas del forjado del consulado del mar de la lonja de los mercaderes de Valencia. *Actas del III congreso iberoamericano de productos forestales*. 3-5 julio. Buenos Aires, Argentina.
- Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I. (2007a). Evaluación de técnicas vibratorias en la clasificación de la madera aserrada de pino radiata destinada a fines estructurales. *Actas del 11º Congreso español de END*. Gijón, Asturias, 4-6 septiembre.
- Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I. (2007b). Influencia del tamaño en la predicción del módulo de elasticidad de vigas de madera de *Pinus pinaster* con técnicas vibratorias. *II Jornadas de investigación en construcción*. Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Madrid.
- Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I. (2008). Machine grading and control of structural timber in *Pinus pinaster* Ait. *II Taller Latinoamericano de técnicas no destructivas para productos de madera*. San José, Costa Rica. Diciembre 2008.
- Carballo, J.; Hermoso, E.; Díez, R. (2009a). Ensayos no destructivos sobre madera estructural. Una revisión de 30 años en España. *Revista forestal (Costa Rica)* 6 (17), 2009.
- Carballo, J.; Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I. (2009b). Comparación de la evaluación y clasificación mecánica del *Pinus pinaster* Ait. con dos equipos de ultrasonidos. *Actas del 5º Congreso forestal español*. Sep. 21-25. Ávila.
- Cardoso, A.; Cagno, M.; O'Neill, H. (2015). Use of visual and mechanical variables of structural grading of pine from Uruguayan plantations. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 272-279. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil. FPL-GTR-239.
- Casado, M.; Pinazo, O.; Basterra, L.A.; Acuña, L. (2005). Técnicas de ensayo no destructivas en madera estructural mediante extracción de tornillos. Aplicación en viguetas de forjado de un edificio singular. *Actas del IV congreso nacional de protección de la madera*. CIDEMCO. 16-17 junio. San Sebastián.
- Casado, M.; Acuña, L.; Vecilla, D.; Relea, E.; Basterra, A.; Ramón, G.; López, G. (2010). *Structures and Architecture*. Taylor & Francis Group, London. Pp. 2025-2032.
- Ceccotti, A.; Togni, M. (1996). NDT on ancient timber beams: Assessment of strength/stiffness properties combining visual and instrumental methods. *Proceedings of 10th International symposium on nondestructive testing of wood*. Pp.379-388. Aug. 26-28. Lausanne, Switzerland.
- Cheliak, W.M.; Yeatman, C.W.; Knepeck, I.D. (1984). Temperature effects on pilodyn pin penetration. *Canadian Forestry Service Research Notes* Vol. 4, Pp. 21-23.
- Chevandier, E.; Wertheim, G. (1848). *Mémoire sur les propriétés mécaniques du bois*. Imprimerie de Bachelier. 135 p.

- Chui, Y.H. (1989). Vibration testing of wood and wooden structures practical difficulties and possible sources of error. Proceedings of 7th Symposium on the nondestructive testing of wood. Pp. 173-188. Sep. 27-29. Madison, WI, USA.
- Cockrell, R. A. (1933). A study of the screw holding properties of wood. Tech. Pub. 44. Bulletin of the New York State College of Forestry of Syracuse, N.Y. 27 pp.
- Conde, M.; Fernández-Golfín, J.I.; 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.
- Cornejo, J.; Baettig, R. (2009). Evolución del módulo de elasticidad longitudinal entre 10 °C y 100 °C en piezas de *Pinus radiata* usando una técnica de evaluación no destructiva. *Maderas. Ciencia y tecnología* 11(2): 153-160.
- De Visser, D.; Galligan, W. (2011). Design property assessment of single members in existing structures - NDE challenge. Proceedings 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Sopron, Hungary.
- Díez, M.R.; Conde, M.; Fernández-Gofín, J.I.; Roskopf, S. (2000). Clasificación visual de madera estructural de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.): Comparación de resultados usando las normas UNE 56544 y DIN 4074. *Revista de investigación agraria: sistemas y recursos forestales*. Vol. 9 (2). Pp. 375-380.
- Divos, F.; Csupor K.; Broker, F.W. (1991). Ultrasonic and stress wave-based nondestructive testing of wood. Proceedings of 8th International symposium on Non-destructive testing of wood. P. 272. Sep. 23-25. Vancouver, WA, USA.
- Divos, F.; Tanaka, T. (1997). Lumber strength estimation by multiple regression. *Holzforschung*, 51:467-471.
- Divos, F. (2002) Portable Lumber Grader. Proceedings of 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. P. 335. Aug. 19-21. Berkeley, CA, USA.
- Divos, F.; Tanaka, T. (2005). Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol.1. Pp. 105-110.
- Divos, F.; Denes, L.; Íñiguez, G. (2005). Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung*, 59:230 - 231.
- Divos, F.; Sismandy, F. (2010). Strength grading of structural lumber by portable lumber grader – effect of knots. Proceedings of the future of quality control for wood & wood products conference of COST Action E53. May 4-7. Edinburgh, UK.
- Divos, F.; Bejo, L.; Bradley, M. (2015a). Near infrared laser reflection based wood moisture content determination. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 98-102. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil. FPL-GTR-239.
- Divos, F.; Bejo, L.; Puskas, L. (2015b). Evaluation of the root system's stability based on actual wind intensity and inclination measurements. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 514-519. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil. FPL-GTR-239.
- Drdacky, M.; Kloiber, M. (2013). In-situ compression stress-deformation measurements along the timber depth profile. *Advanced materials research*. Vol. 778, pp 209-216.
- Esteban, M.; Argüelles, R.; Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Bobadilla, I. (2007). Current state of research on structural timber in Spain. *Informes de la construcción*. Vol. 59, 506, 15-27. Abril-junio 2007.
- Esteban, M.; Bobadilla, I.; Arriaga, F.; Íñiguez, G.; García, H. (2009). NDT applied to estimate the mechanical properties of the timber of an ancient structure in Valsain, Segovia (Spain). Proceedings of 16th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Pp. 152-157. Oct. 12-14. Beijing, China.
- Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R.; Gutiérrez-Oliva, A. (1998). Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural, clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544. *Materiales de construcción*, Vol. 48, nº 252.

- Galvañ, V.; Palaia, L.; Cervera, F.; Monzo, V. (1994). Strength estimation of decayed timber in old buildings by means of ultrasonic devices. Proceedings of 1st European symposium on nondestructive evaluation of wood. Pp. 156-170. Sep. 21-23. Sopron, Hungary.
- Gao, S.; Wang, X.; Wang, L.; Allison, R. B. (2011). Modeling temperature and moisture state effects on acoustic velocity in wood. Proceedings 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Sopron, Hungary.
- García-Ceca, J.L.; Hermoso, E.; Mateo, R.; Íñiguez-González, G. (2013). Neural network models for the establishment of a structural stress grading methodology using non-destructive techniques. Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 808 P. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- García-Esteban, L.; García-Fernández, F.; Palacios, P. (2009). MOE prediction in *Abies pinsapo* Boiss. timber: Application of an artificial neural network using non-destructive testing. Computers and structures 87. Pp. 1360-1365.
- Gerhards, C.C. (1980). Effect of cross grain on stress waves in lumber. USDA Forest Service. Research paper FPL 368.
- Gerhards, C.C. (1982a). Longitudinal stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: state of the art. Forest Products journal. Vol. 32, N° 2.
- Gerhards, C.C. (1982b). Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. Wood and fiber, 14(1), pp. 4-36.
- Gonçalves, R.; Bartholomeu, A. (2002). Evaluation of longitudinal variability of rigidity in a Cupiúba trunk using an ultrasonic device. Proceedings of 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Pp. 79-81. Aug. 19-21. Berkeley, CA, USA.
- Gonçalves, R.; Leme, O.A. (2008). Influence of moisture content on longitudinal, radial and tangential ultrasonic velocity for two Brazilian wood species. Wood and Fiber Science, 40 (4), 2008, pp.580-586.
- Gonçalves, R.; Van Dijk, R.; Bertoldo, C. (2014). Influência da frequência e da distancia entre os transdutores na velocidade de propagação de ondas obtida em ensaios indiretos durante inspeções de peças estruturais de madeira. XXXII Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção. 8 p.
- Görlacher, R. (1984). Ein neues Meßverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 42. 219-222.
- Görlacher, R. (1987). Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein „in situ“- Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte. Holz als Roh- und Werkstoff 45. 273-278.
- Gough, G.; Branes, R.D. (1984). A comparison of three methods of wood density assessment in a *Pinus elliotii* progeny test. South African forestry journal No. 128, Pp. 22-25.
- Green, D. W., Evans, J. W. (2008). The immediate effect of temperature on the modulus of elasticity of green and dry lumber. Wood and Fiber Science, 40 (3), 2008, pp. 374-383.
- Gutierrez-Oliva, A.; Plaza, F. (1967). Características físico-mecánicas de las maderas españolas. Ministerio de agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 103 p.
- Gutiérrez-Oliva, A.; García-Ceca, J.L.; Díez, M.R.; López-Roma, M.T.; Sanchis V.; Ortiz, L. (1988). Características anatómicas y físico-mecánicas de la madera de pino radiata del País Vasco. INIA y ZTB.
- Güntekin, E.; Cengiz, Y.; Yilmaz, T. (2011). Prediction of MOE for Turkish red pine: Stress wave versus artificial neural networks. Proceedings of 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 277-284 Pp. Sep. 14-16. Sopron, Hungary.
- Hankinson, R. L. (1921). Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain. Air service Inform. Circular III, N° 259. US Air Service.

- Hearmon, R.F.S. (1948). Elasticity of wood and plywood. Forest products research laboratory special report 7. 88 p. London.
- Hearmon, R.F.S. (1966). Theory of the vibration testing of wood. Forest products journal Vol. 16, No. 8. Pp. 29-40.
- Helms, D.; Niemz, P. (1993). New applications of the drill resistance method for quality evaluation of Wood and wood products. Proceedings of 9th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp. 95-102. Sep. 22-24. Madison, WI, USA.
- Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R. (2003). Evaluación de la clasificación resistente de la madera estructural mediante ultrasonidos. Actas del 10º Congreso nacional de ensayos no destructivos. 18-20 junio. Cartagena.
- Hermoso, E.; Carballo, J.; Díez, M.R. (2007a). Caracterización de madera estructural procedente de pinos españoles. Comparación de modelos de ajuste por regresión. Actas del III congreso iberoamericano de productos forestales. 3-5 julio. Buenos Aires, Argentina.
- Hermoso, E.; Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R.; Mier, R. (2007b). 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, 506, 87-95.
- Hermoso, E.; Mateo, R.; Montero, M.J.; García-Ceca, J.L.; Llana, D.F. (2013). Relationship between longitudinal and transversal natural vibration frequencies on structural timber of Spanish *Pinus radiata* D. Don and *Pinus sylvestris* L. Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 676 P. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Hermoso, E.; Íñiguez-González, G.; Montón, J.; Arriaga, F.; Fernández-Golfín, J.I. (2014). Report of mechanical properties of large cross-section structural Spanish *Pinus radiata* D. Don sawn timber and strength class assignment according to 1912.
- Hoffmeyer, P. (1978). The Pilodyn as a non-destructive tester of the shock resistance of wood. Proceedings of 4th Nondestructive testing of wood symposium. Pp. 47-66. Aug. 28-30. Vancouver, WA, USA.
- Hunkova, V. (2013). Condition survey and repair of wooden bridges in the Czech republic. Proceedings of 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 253-260. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Ide, J.M. (1935). Some dynamic methods for determination of Young's modulus. Review of scientific instruments 6 (10):296-298.
- Ilic, J. (2001). Relationship among the dynamic and static elastic properties of air-dry *Eucalyptus delegatensis* R. Baker. Holz als Roh- und Werkstoff 59, 169-175.
- Íñiguez, G.; Arriaga, F.; Esteban, M.; Bobadilla, I. (2006). Non-destructive methods for the quality control of structural Tali timber. Proceedings of 9th World conference on timber engineering. Portland, Oregon, USA, 6-10 August.
- Íñiguez, G.; Esteban, M.; Arriaga, F.; Bobadilla, I.; Gil, M.C. (2007). Influence of specimen length on ultrasound wave velocity. 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. September 10-12, 2007, Duluth, MN, USA. Pp. 155-159.
- Íñiguez, G.; Martínez, R.D.; Bobadilla, I.; Arriaga, F.; Esteban, M. (2009). Mechanical properties assessment of structural coniferous timber by means of parallel and perpendicular to the grain wave velocity. 16th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Beijing, China.
- Íñiguez, G.; Arriaga, F.; Esteban, M.; Bobadilla, I.; González, C.; Martínez, R.D. (2010). *In situ* non-destructive density estimation for the assessment of existing timber structures. Proceedings of World conference of timber engineering. Jun. 20-24. Riva di Garda, Italy.
- Íñiguez, G.; Barriola, M.J.; Zürcher, E. (2015a). Influence of the moon phase on stress wave velocity and structural timber properties. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 249-256. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil. FPL-GTR-239.

- Íñiguez, G.; Montón, J.; Arriaga, F.; Segué, E. (2015b). In-situ assessment of structural timber density using non-destructive and semi-destructive testing. *BioResources* 10 (2), Pp. 2256-2265.
- James, W.L. (1961). Internal friction and speed of sound in Douglas-fir. *Forest Products Journal*, XI (9), 1961: 383-390.
- Jayne, B.A. (1959). Vibrational properties of wood as indices of quality. *Forest Products Journal*. 9(11): 413-416.
- Kang, H., Booker, R. E. (2002). Variation of stress wave velocity with MC and temperature. *Wood Science and Technology* 36 (2002) 41-54.
- Knudson, M. (1970). Proceedings of third short course on nondestructive testing of wood. Commercial machine-stress-rating for profit. Pp. 135-140. Apr-May. Vancouver, WA, USA.
- Kasal, B.; Tannert, T. (2010). *In situ* assessment of structural timber. RILEM state of the art reports, vol. 7. Springer. 124 p.
- Kloiber, M.; Tippner, J.; Drdacky, M. (2011). Semi-destructive tool for In-situ measurements of mechanical resistance of wood. Proceedings of International conference on structural health assessment of timber structures (SHATIS). June 16-17 Lisbon, Portugal.
- Kloiber, M.; Drdacky, M. (2015). Prediction of mechanical properties by means of semi-destructive methods. COST Action FP 1101 Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures. State of Art Report. WG1/TG2. Combined use of NDT/SDT methods for the assessment of structural timber members. Pp 69-91.
- Kollmann, F.; Krech, H. (1960). Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 18(2) pp. 41-54.
- Kranitz, K.; Deublein, M.; Niemz, P. (2010). Strength estimation of aged wood by means of ultrasonic devices. Proceedings of the future of quality control for wood & wood products conference of COST Action E53. May 4-7. Edinburgh, UK.
- Kubojima, Y.; Sonoda, S. (2015). Measuring Young's modulus of a wooden bar using longitudinal vibration without measuring its weight. *European journal of wood and wood products*. 73:399-401.
- Larsson, D.; Ohlsson, S.; Perstorper, M.; Brundin, J. (1998). Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56, Pp. 331-338.
- Launay, J., Gilleta, F. (1988). L'influence de la temperature et du taux d'humidité sur les constantes élastiques du bois d'épicéa de sitka. *Proc. Conf. Comportement Mécanique du Bois*, Bordeaux, 8-9 June, pp. 91-102.
- Li, L.; Wang, X.; Wang, L.; Allison, R.B. (2012). Acoustic tomography in relation to 2D ultrasonic velocity and hardness mappings. *Wood Science and technology* 46:551-561.
- Llana, D.F.; Sanabria, S.J.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Niemz, P. (2013). Experimental and numerical investigation of effect of sawn timber dimensions in ultrasonic velocity measurements of Spanish softwoods. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. 710 P. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- López-Roma, A.; Gutiérrez-Oliva, A.; Álvarez, H.; Baonza, M.V.; Díez, M.R.; Fernández-Golfín, J.I.; González, F.; Jiménez, F.J.; Navarrete, M.A.; Ortiz, J.; Seoane, I.; Arana, M.C.; Guijarro, A.; López-Roma, M.T.; García-Ceca, J.L. (1991). Propiedades y tecnología de la madera de pino radiata del País Vasco. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. INIA. 243 p.
- Major, B.; Divos, F. (2015). Glue laminated timber structure evaluation by acoustic tomography. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 462-466. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil. FPL-GTR-239.
- Matthews, B.; Zombori, B.; Divós, F. (1994) The effect of moisture content and temperature on the stress wave parameters. Proceedings of the 1st European Symposium on Non-destructive Evaluation of Wood. Sopron, Hungary, 21-23 September 1994, p. 261-269.

- March, H.W. (1944). Stress-strain relations in wood and plywood considered as orthotropic materials. FPL Report n° 1503.
- Mariño, R.; Fernández, M.E.; Fernández, C. (2002). Análisis comparativo de la densidad de la madera de *Pinus sylvestris* L. mediante la utilización del resistógrafo. Revista CIS-Madera. N° 9. Pp. 60-70.
- 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. Eur. J. Wood Prod. (2010) 68: 197-206.
- Martín, M.T. (1994). Some nondestructive methods to determine physical features of wood. Proceedings of 1st European symposium on nondestructive evaluation of wood. P. 536. Sep. 21-23. Sopron, Hungary.
- Martínez, R.D.; Arriaga, F.; Llana, D.F.; Gallego, J.; Bobadilla, I. (2015). NDT to identify biological damage in wood. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil.
- McBurney, R.S. (1943). Evaluation of modulus of elasticity of Sitka spruce by the sonic Method. Proceedings of 9th Conference of the ANC executive technical subcommittee on requirements for wood aircraft and wood structures in aircraft. Pp. 32-34. June 14-18. Madison, WI, USA.
- McLain, T. E. (1997). Design axial withdrawal strength from wood: I. Wood screws and lag screws. Forest Products Journal. 47(5) pp. 77-84.
- McSwain, G.; Kitazawa, G. (1951). Application of ultrasonic and sonic vibrations for improvement and testing of wood. Teco Proj. No. B-33.
- Merlo, E.; Santaclara, O.; Álvarez-González, J.G.; Rojo, A. (2013). Could growth competition between trees affect acoustic velocity in standing trees? Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 757-764 Pp. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Mishiro, A. (1995). Ultrasonic velocity in wood and its moisture content I. Effects of moisture gradients on ultrasonic velocity in wood. Mokuzai Gakkaishi Vol. 41, No. 12, p.1086-1092.
- Montero, P.; de la Mata, J.; Esteban, M.; Hermoso, E. (2015). Influence of moisture content on the wave velocity to estimate the mechanical properties of large cross-section pieces for structural use of Scots pine from Spain. Maderas. Ciencia y tecnología 17(2):407-420.
- Morales-Conde, M.J.; Rodríguez-Liñán, C.; Rubio, P. (2013). Application of non-destructive techniques in the inspection of the wooden roof of historic buildings: A case study. Proceedings of 2nd International conference on structural health assessment of timber structures (SHATIS). Pp. 233-242. Sep. 4-6. Trento, Italy.
- Morales-Conde, M.J.; Rodríguez-Liñán, J.; Saporiti-Machado, J. (2014). Predicting the density of structural timber members in service. The combine use of wood cores and drill resistance data. Materiales de construcción. Vol. 64 (315).
- Moreno-Chan, J.; Walker, J.C.; Raymond, C.A. (2010). Effects of moisture content and temperature on acoustic velocity and dynamic MOE of radiata pine sapwood boards. Wood Sci Technol (2010) 45:609–626.
- Morison, A.; Van Karsen, C.D.; Evensen, H.A.; Ligon, J.B.; Erickson, J.R., Ross, R.J.; Forsman, J.W. (2002). Timber bridge evaluation: a global nondestructive approach using impact generated FRFs. Proceedings of 20th International modal analysis conference. Pp. 1567-1573. Feb. 4-7. Los Angeles, CA, USA.
- Niemz, P.; Wagner, M.; Theis, K. (1983). Stand und Möglicheiten der Anwendung der Schallemissionsanalyse in der Holzforschung. Holztechnologie 24:2, Pp. 91-95.
- Niemz, P. (1993). Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Germany.
- Niemz, P.; Aguilera, A.; Rolleri, A. (1994). Velocidad de propagación del sonido en algunas especies creciendo en Chile y su relación con propiedades físicas. Bosque 15(2):49-54.

- Niemz, P.; Kucera, L. J.; Bernatowicz, G. (1999). Untersuchungen zum Einfluß des Faserwinkels auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 57 (1999) 225.
- Niemz, P.; Mannes, D. (2012). Non-destructive testing of wood and wood-based materials. Journal of Cultural Heritage, 04.001.
- Nocetti, M.; Brunetti, M.; Bacher, M. (2015). Effect of moisture content on the flexural properties and dynamic modulus of elasticity of dimension chestnut timber. European journal of wood and wood products. 73:51-60.
- Oliveira, F.G.R.; Campos, J.A.O.; Pletz, E.; Sales, A. (2002). Assessment of mechanical properties of wood using an ultrasonic technique. Proceedings of 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Pp. 75-78. Aug. 19-21. Berkeley, CA, USA.
- Oliveira, F.G.R.; Candian, M.; Lucchette, F.F. (2005). Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. Materials research, vol. 8, No.1, 11-14, 2005.
- Oliveira, F.G.R.; Miller, K.P.; Candian, M.; Sales, A. (2006). Efeito do comprimento do corpo-de-prova na velocidade ultra-sônica em madeiras. Revista Árvore. Viçosa-MG, v.30, n.1, p. 141 – 145, 2006.
- Palaia, L.; Galvañ, V.; Cervera, F.; Monzo, V. (1993). Using ultrasonic waves for the detection of timber decay in old buildings. Proceedings of 9th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp. 71-77. Sep. 22-24. Madison, WI, USA.
- Palaia, L.; Galvañ, V.; Cervera, F.; Molina, R. (2000). NDT determination of the strength loss of deteriorated wood, by using ultrasonic techniques and a specific wood tester. Proceedings of 12th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp. 327-336. Sep. 13-15. Sopron, Hungary.
- Palaia, L.; Monfort, J.; Sánchez, R.; Gil, L.; Álvarez, Á.; López, V.; Tormo, S.; Pérez, C.; Navarro, P. (2008). Assessment of timber structures in service by using combined methods of non-destructive testing together with traditional ones. 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem Israel. 2008.
- Palaia, L. (2014). Empleo del penetrómetro para madera para el diagnóstico de la madera en servicio en edificios antiguos. Informes de la construcción. Vol. 66, 533:eo03.
- Pellerin, R.F. (1965). A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. Forest Products Journal. 15(3): 93–101.
- Pellerin, R.F.; Ross, R.J. (2002). Non destructive evaluation of wood. Forest products society. Madison. Wisconsin. 53705-2295.
- Piazza, M.; Riggio M. (2008). Visual strength-grading and NDT of timber in traditional structures. Journal of Building Appraisal. Vol. 3 N°4. PP 267-296.
- Proceedings of the Symposium on Nondestructive Testing of Wood. (1964). FPL-040. Madison, WI, USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Archivo PDF: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn040.pdf>
- Proceedings of third short course on nondestructive testing of wood. Commercial machine-stress-rating for profit. (1970). Apr-May. Vancouver, WA, USA.
- Rinn, F. (1993). Catalog of relative density profiles of trees, poles, and timber derived from Resistograph micro-drillings. Proceedings of 9th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp. 61-67. Sep. 22-24. Madison, WI, USA.
- Ritschel, F.; Zauner, M.; Sanabria, S.J.; Brunner, A.J.; Niemz, P. (2013). Acoustic emission and Synchrotron radiation X-ray tomographic in-situ microscopy of sub-macroscopic damage phenomena in wood. Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp.434-441. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Rodríguez-Abad, I.; Martínez-Sala, R.; Capuz, R.; Díez, M.R.; García-García, F. (2011). Estudio de la variación del contenido de humedad en el *Pinus pinaster* Ait. por medio de la técnica no destructiva del georradar. Materiales de construcción. Vol. 61 (301), Pp. 143-156.

- Rodríguez-Liñán, C.; Rubio, P. (1995). Evaluación del estado de la madera, en obras de rehabilitación, mediante técnicas de ultrasonidos y obtención de parámetros resistentes. Informes de la construcción. Vol. 47 (440).
- Rodríguez-Liñán, C.; Rubio, P. (2000). Evaluación del estado de la madera, en obras de rehabilitación, mediante técnicas de ultrasonidos. Universidad de Sevilla. 165 p.
- Rodríguez-Liñán, C.; Morales-Conde, M.J.; Rubio, P.; Pérez, F. (2011). Infrared thermography as a nondestructive technique for the study of wooden structures. Proceedings of 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 539-546 Pp. Sep. 14-16. Sopron, Hungary.
- Ross, R.J.; Pellerin, R.F. (1985). NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. Forest products journal. Vol. 38 No. 5. Pp. 39-45.
- Ross, R.J.; Pellerin, R.F. (1994). Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 (Rev.). Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest service, Forest Products Laboratory. 40 p.
- Ross, R.J.; Hunt, M.O. (2000). Stress wave timing nondestructive evaluation tools for inspecting historic structures. General Technical Report FPL-GTR-119. Madison, WI, USA.
- Sakai, H.; Minamisawa, A.; Takagi, K. (1990). Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods. Ultrasonics, vol 28, 1990, pp. 382-385.
- Sanabria, S.J.; Furrer, R.; Neuenschwander, J.; Niemz, P.; Sennhauser, U. (2011). Air-coupled ultrasound inspection of glued laminated timber. Holzforschung 65:377-387.
- Sandoz, J.L. (1989). Grading of construction timber by ultrasound. Wood Sci. Tech. Vol 23: 95-108.
- Sandoz, J.L. (1991). Nondestructive evaluation of building timber by ultrasound. Proceedings of 8th International symposium on Non-destructive testing of wood. Pp. 131-142. Sep. 23-25. Vancouver, WA, USA.
- Sandoz, J.L. (1993). Moisture content and temperarture effect on ultrasound timber grading. Wood Science and Technology 27:373-380.
- Sandoz, J.L. (1996). Ultrasonic solid wood evaluation in industrial applications. Proceedings of 10th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp.147-153. Aug. 26-28. Lausanne, Switzerland.
- Santaclara, O.; Fernández, A.; Merlo, E.; Guaita, M. (2009). Técnicas no destructivas y ensayo mecánico en madera aserrada de gran escuadría de *Pseudotsuga menziesii*. Proceedings of the V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico AgroIngeniería 28-30 sep. 2009. Lugo, España.
- Santaclara, O.; Merlo, E. (2011). Acoustic segregation of *Pinus pinaster* logs for structural lumber production according to strength classes. Proceedings of 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. P. 755. Sep. 14-16, Sopron, Hungary.
- Santaclara, O.; Merlo, E. (2013). Implicaciones financieras de la evaluación de calidad estructural de la madera sobre árboles en pie y trozas de *Pinus pinaster* mediante métodos no destructivos. Actas del 6º Congreso forestal español. 10-14 junio. Vitoria.
- Sauter, U.H.; Metzger, M. (1996). Determination of timber quality of Scots pine using different nondestructive methods. Proceedings of 10th International symposium on nondestructive testing of wood. Pp.297-302. Aug. 26-28. Lausanne, Switzerland.
- Seoane, I.; Ortiz, J.; Díez, M.R.; Gutiérrez-Oliva, A. (1989). Características mecánicas de la madera de pino radiata obtenidas a partir de ensayos con piezas de tamaño estructural: comparación entre distintas normas de clasificación. Revista AITIM, nº 136, ene/feb, Pp 51-59.
- Sevilla, S.; Bobadilla, I.; Martínez, R.D.; Esteban, M.; Llana, D.F. (2013). Non-destructive methods to estimate the physical aging of Superpan. Proceedings 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. 637 P. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.

- Sismandy, F.; Divos, F. (2011). Strength grading of structural lumber – effect of damping and knots. 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 255-262. Sep. 14-16, Sopron, Hungary.
- Smith, S.M.; Morrell, J.J. (1986). Correcting Pilodyn measurements of Douglas-Fir for different moisture levels. *Forest Products Journal*. Vol. 36, N° 1. Pp. 45-46.
- So, C.; Via, B.K.; Groom, L.H.; Schimleck, L.R.; Shupe, T.F.; Kelley, S.S.; Rials, T.G. (2004). Near infrared spectroscopy in the forest products industry. *Forest products journal*. Vol. 54, No. 3. Pp. 6-16.
- Sobue, N. (1986a). Instantaneous measurment of elastic constant by analysis of the tap tone of wood. Application to flexural vibration of beams. *Mokuzai Gakkaishi*. Vol. 32, No. 4, pp. 274-279.
- Sobue, N. (1986b). Measurement of Young's modulus by the transient longitudinal vibration of wooden beams using a fast Fourier transformation spectrum analyzer. *Mokuzai Gakkaishi*. Vol. 32, No. 9, pp. 744-747.
- Soltis, L.A.; Wang, X.; Ross, R.J.; Hunt, M.O. (2002). Vibration testing of timber floor systems. *Forest products journal*. Vol. 52, No. 10. Pp. 75-81.
- Sonderegger, W.; Niemz, P. (2006). Der Einfluss der Temperatur auf die Biegefestigkeit und den Elastizitätsmodul bei verschiedenen Hozwerkstoffen. *Holz als Roh-und Werkstoff* (2006) 64:385-391.
- Szmutku, M. B.; Campean, M.; Porojan, M. (2013). Strength reduction of spruce wood through slow freezing. *Wood Products*, 2013.
- Touza, M. (2009). Case study: Assessment of the mechanical properties of an old pitch pin timber structure. *Cost IE 06*.
- Trinca, A.L.; Gonçalves, R. (2009). Efeito das dimensões da seção transversal e da frequência do transdutor na velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira. *Revista Árvore*. Viçosa-MG, v.33, n.1, p. 177 – 184, 2009.
- Troya, M.T.; Navarrete, A. (1994). Study of the degradation of retified wood through ultrasonic and gravimetric techniques. *Proceedings of 25th Annual meeting*. May 30 – June 3. Bali, Indonesia.
- Unterwieser, H.; Schickhofer, G. (2010). Influence of moisture content of wood on sound velocity and dynamic MOE of natural frequency - and ultrasonic runtime measurement. *Eur. J. Wood Prod.* (2010) 69: 171–181.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI, USA.
- 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 Prod.* 70 (6). Pp. 839-844.
- Vega, A.; Rodríguez, S.; Fernández, I.; González, L. (2014). Desarrollo de metodologías para la evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado de conservación de hórreos y paneras en el Principado de Asturias. *Actas del 5º congreso REHABEND*. Pp. 649-656. 1-4 abr. Santander.
- Vilches, M.; Correal, E. (2009). Aplicación del resistógrafo para la determinación de las propiedades de la madera. *Actas del 5º congreso forestal español*. 5CFE01-617. 21-25 Sep., Avila.
- Vilches, M.; Labèrnia, C.; Rodríguez, V. (2015). Assessment through NDT of the state of timber structures of the historic buildings of Catalonia. *COST Action FP 1101 Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures*. State of Art Report. WG1/TG2. Combined use of NDT/SDT methods for the assessment of structural timber members. Pp 209-216.

- Wang, X.; Ross, R.J.; Mattson, J.A.; Erickson, J.R.; Forsman, J.W.; Geske, E.A.; Wehr, M.A. (2001). Several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small-diameter logs. USDA Forest Service. Research paper FPL-RP-600.
- Wang, X.; Ross, R.J.; Green, D.W.; Brashaw, B.; Englund, K.; Wolcott, M. (2004a). Stress wave sorting of red maple logs for structural quality. Wood Science and Technology 37. Pp. 531-537.
- Wang, X.; Divós, F.; Pilon, C.; Brashaw, B.K.; Ross, R.J.; Pellerin, R.F. (2004b). Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. A guide for use and interpretation. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-147, 2004.
- Wang, X. (2008). Effects of size and moisture content on stress waves E-rating of structural lumber. 10th World Conference on Timber Engineering. Miyazaki, Japan.
- Wang, X.; Allison, R.B. (2008). Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. Arboriculture & urban forestry. 34 (1). Pp. 1-4.
- Wang, X. (2013). Stress wave E-rating of structural timber – Size and moisture content effects. Proceedings of 18th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Pp. 38-46. Sep. 24-27. Madison, WI, USA. FPL-GTR-226.
- Yamasaki, M.; Sasaki, Y. (2010). Determining Young's modulus of timber on the basis of a strength database and stress wave propagation velocity I: an estimation method for Young's modulus employing Monte Carlo simulation. Journal of Wood Science 56: 269-275.

7.2 TESIS DOCTORALES Y PROYECTOS FIN DE CARRERA

- Adell, F.J. (2005). Comparación de las normas de clasificación de madera estructural española (UNE 56544) y alemana (DIN 4074) para madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) de procedencia alemana. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 189 p.
Archivo PDF: <http://oa.upm.es/933/>
- Broto, M. (2016). Caracterización mecánica del abeto (*Abies alba* Mill.) procedente de la cordillera pirenaica. Tesis doctoral. Universidad de Lérida, Departamento de Ingeniería Agroforestal. 125p. Archivo PDF: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/384933>
- Bucur, V. (1984). Ondes ultrasonores dans le bois. Caractérisation mécanique et qualité de certaines essences de bois. Thèse. Institut Supérieur des Matériaux, St. Ouen. Paris. 190 p.
- Calderon, L. (2012). Estudio sobre la influencia del contenido de humedad de la madera en ensayos no destructivos para *Pinus nigra* Arn., *Pinus radiata* D. Don y *Pinus sylvestris* L. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, E.U.I.T. Forestal. 109 p.
Archivo PDF: <http://oa.upm.es/14396/>
- Conde, M. (2003). Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra* Subsp. *Salzmannii*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 209 p.
- De la Mata, J. (2011). Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 168 p.
Archivo PDF: <http://oa.upm.es/36492/>
- 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, ETS de Ingenieros de Montes. 365 p.
Archivo PDF: <http://oa.upm.es/1404>

- González-Sanz, M. (2012). Estudio sobre el estado de conservación de la cubierta del martinete de Navafría (Segovia). Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 166 p. Archivo PDF: <http://oa.upm.es/36345/>
- Hermoso, E. (2001). Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 277 p. Archivo PDF: <http://oa.upm.es/644>
- 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, ETS de Ingenieros de Montes. 223 p. Archivo PDF: <http://oa.upm.es/415>
- Mackenzie, R.K.T. (2009). The non-destructive evaluation of Sitka spruce mechanical properties using acoustic methods. Doctoral Thesis. Edinburgh Napier University, Faculty of engineering. 438 p. PDF file: <http://researchrepository.napier.ac.uk/6039/>
- Martínez, J.J. (1992). Características mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* Ait. obtenidas a partir de ensayos con piezas de tamaño estructural. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 395 p.
- Mier, R. 2001. Clasificación de madera aserrada estructural mediante Inteligencia Artificial: Redes Neuronales. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 216 p.
- Montero, M.J. (2013). Clasificación de madera estructural de gran escuadría de *Pinus sylvestris* L. mediante métodos no destructivos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 345 p. Archivo PDF: <http://oa.upm.es/15201/>
- Montón, J. (2012). Clasificación estructural de la madera de *Pinus radiata* D. Don procedente de Cataluña mediante métodos no destructivos y su aplicabilidad en la diagnosis estructural. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de construcciones arquitectónicas I. 2 volúmenes. 486 p. Archivo PDF: <http://www.tdx.cat/handle/10803/96423>
- Moreno-Chan, J. (2007). Moisture content in radiata pine wood: Implications for wood quality and water-stress response. Doctoral thesis. University of Canterbury, School of Forestry, College of Engineering. New Zealand. 203 p. PDF file: <http://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/1217>
- Riesco, G. (2001). Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de roble (*Quercus robur* L.) de Galicia en relación con las variables del medio. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 749 p.
- Rodríguez-Abad, I. (2009). Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera estructural. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 421 p. Archivo PDF: <https://riunet.upv.es/handle/10251/7361>
- Rubio, P. (1997). Evaluación del estado de la madera mediante técnicas de ultrasonidos. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. 3 tomos. 441 p. Archivo PDF: <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2200/evaluacion-del-estado-de-la-madera-mediante-tecnicas-de-ultrasonidos/#description>
- Sanabria, S.J. (2012). Air-coupled ultrasound propagation and novel non-destructive bonding quality assessment of timber composites. Doctoral thesis (Diss. ETH No. 20404). Institute for building materials. ETH Zürich, Wood Physics. 256 p. PDF file: <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:5847>
- Sismandy, F. (2012). Strength of Structural Lumber in Relation to Physical Properties. Doctoral thesis. Universidad del Oeste de Hungría. Sopron.
- Steiger, R. (1996). Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten-Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und kombinierter M/N-Beanspruchung. Doctoral thesis. ETH Zürich. 168 p. PDF file: <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:22476>

- Vega, A. (2013). Caracterización mecánica de la madera estructural de *Castanea sativa* Mill. Clasificación visual y evaluación mediante métodos no destructivos. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, E.P.S., Lugo. 247 p.
Archivo PDF: <http://dspace.usc.es/handle/10347/9345>
- Villanueva, J.L. (2009). Caracterización mecánica de rollizos de sabina (*Juniperus thurifera* L.) de Castilla y León. Prueba de clasificación visual y evaluación mediante resonancia. Proyecto fin de carrera. Universidad de Lérida, E.T.S.I. Agraria. 65 p.
Archivo PDF: <http://repositori.udl.cat/handle/10459.1/45926>

7.3 NORMAS

- ASTM D 6874-03 Standard test methods for nondestructive evaluation of wood-based flexural members using transverse vibration.
- BS 4978 Visual strength grading of softwood. Specification.
- BS 5756 (1997) Specification for visual strength grading of hardwood.
- CP 112: Part. 2 (1971). The structural use of timber. Metric units. British Standards Institution. London.
- DIN 4074 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit.
- DIN 4074-1:2003 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. Teil 1: Nadelschnittholz.
- DIN 4074-1:2012-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz.
- E.C.E. (1977). Recommended standard for stress grading of coniferous sawn timber.
- EN 310:1993 Wood-based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.
- EN 338:2009 Structural timber. Strength classes.
- EN 408:2003. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties.
- EN 518:1995 Structural timber. Grading. Requirements of visual strength grading standards.
- EN 519:1995 Structural timber. Grading. Requirements for machine strength graded timber and grading machines.
- EN 789:2004 Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood-based panels.
- EN 1330 Non-destructive testing. Terminology.
- EN 1912 Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species.
- EN 1912:2012 Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species.
- EN 14081:2005 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section.
- EN 14081-1:2005+A1:2011 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements.
- EN 14081-1:2016 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements.
- EN 14081-2:2005 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2: Machine grading - Additional requirements for initial type testing. (Ratificada por AENOR en 2006)
- EN 14081-4:2008 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4: Machine grading – Grading machine settings for machine controlled systems.
- INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber.
- NBF 52001 Classement visual pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus.
- NBR 15521: Ensaios não destrutivos - Ultra-som - Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledóneas. Abril 2007. Brasil.
- NCh 1207-Of2005. Pino radiata-Clasificación visual estructural-Especificaciones de los grados de calidad. INN, Chile.

- prEN 384:2015 Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density.
- prEN 14544:2006 Timber structures. Structural timber with round cross-section. Requirements.
- SIS-19:1991 Japanese Agricultural Standard for structural softwood lumber. Jetro.
- STN 49 1531:2001 Drevo na stavebné nosné konštrukcie. Vizuálne triedenie reziva podľa pevnosti.
- UNE 56525:1972 Clasificación de la madera aserrada de construcción.
- UNE 56544:1997 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.
- UNE 56544:2003 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.
- UNE 56544:2011 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.
- UNE 56546:2007 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas.
- UNE-EN 336:2014 Madera estructural. Medidas y tolerancias.
- UNE-EN 384:2010 Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.
- UNE-EN 384:2010 Erratum:2011 Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.
- UNE-EN 408:2011+A1:2012 Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- UNE-EN 844-9:1997 Madera aserrada y madera en rollo. Terminología. Parte 9: Términos relativos a las singularidades de la madera aserrada.
- UNE-EN 1310:1997 Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades.
- UNE-EN 1330-4:2010 Ensayos no destructivos. Terminología. Parte 4: Términos utilizados en ensayos de ultrasonidos.
- UNE-EN 13183-1:2002 Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.
- UNE-EN 13183-2:2002 Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.
- UNE-EN 13183-3:2006 Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 3: Estimación por el método capacitivo.
- UNE-EN 13556:2004 Madera aserrada y madera en rollo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- UNI 11035 Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica.
- UNI 11119 Beni culturali – Manufatti lignei – Structure portanti degli edifici – Ispezione *in situ* per la diagnosi degli elementi in opera.

7.4 MANUALES DE USUARIO

- Gann Hydromette HT 85 T (1993). Instrucciones de empleo. Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH. Stuttgart. Alemania.
- MO-LM-01 (2003). Manual del pórtico PFIB 600/300 W. Versión 06 Ibertest. Madrid. España.
- MO-LM-11 (1995). Manual del pórtico PELFIB-150-W. Versión 04. Ibertest. Madrid. España.
- Sylvatest (2016). Data sheet. Timber and GLT. CBS-CBT. [Fecha de consulta: 4 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.sylvatest.com/>

ANEXOS

ANEXO A. ESTADILLOS DE LABORATORIO

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND globales:

Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación		Estadillo para probetas de dimensiones 3000 x 100 x 150 mm (versión 14.1)	
INIA: Laboratorio de Maderas		Procedencia: Cuenca, España Aserradero: Ayto. Cuenca		Lote: Hum.	
N° probeta: PNNL		Especie: <i>Pinus nigra</i> Arn. Ssp. <i>salmannii</i>		N° piezas: 25	
Clasificación visual: UNE 56.544-2011 y DIN 4074-1:2012					
Fecha (VERDE):	Fenda (mm):	Fecha (SECO):	Fenda (mm):		
Cara h (mm):	Médula: (sí o no):	Cara h (mm):	Médula: (sí o no):		
Canto b (mm):	Curv. CARA: x (mm):	Canto b (mm):	Curv. CARA: x (mm):		
Long. L (mm):	Curv. CANTO: y (mm):	Long. L (mm):	Curv. CANTO: y (mm):		
H (%) resistivo (c. aislados):	ALABEO: z (mm):	H (%) resistivo (c. aislados):	ALABEO: z (mm):		
Nudo CARA ϕ_1 (mm):	Nudo DIN ϕ_1 (mm):	Nudo CARA ϕ_1 (mm):	Nudo DIN ϕ_1 (mm):		
Nudo CANTO ϕ_2 (mm):	Nudo DIN ϕ_2 (mm):	Nudo CANTO ϕ_2 (mm):	Nudo DIN ϕ_2 (mm):		
Nudo CARA ϕ_3 (mm):	Nudo DIN ϕ_3 (mm):	Nudo CARA ϕ_3 (mm):	Nudo DIN ϕ_3 (mm):		
Nudo CANTO ϕ_4 (mm):	Nudo DIN ϕ_4 (mm):	Nudo CANTO ϕ_4 (mm):	Nudo DIN ϕ_4 (mm):		
Peor sección $\Sigma \phi$ (mm):	Mad. comp.: l / anch. (mm): /	Peor sección $\Sigma \phi$ (mm):	Mad. comp.: l / anch. (mm): /		
C.K.D.R.:		C.K.D.R.:			
Bolsa de resina l / a (mm): /	Observaciones:	Bolsa de resina l / a (mm): /	Observaciones:		
Entrecasco l / a (mm): /		Entrecasco l / a (mm): /			
Anillos: long. (mm) / n°: /		Anillos: long. (mm) / n°: /			
Gema: l / h' / b' (mm): / /		Gema: l / h' / b' (mm): / /			
Fibra máx.: x / y (mm): /		Fibra máx.: x / y (mm): /			
Alterac. biológicas: (sí o no):		Alterac. biológicas: (sí o no):			

N° probeta: PNNL			Métodos acústicos				Vibraciones inducidas			
FECHA	DIMENSION	HUM.	EQUIPO	Sylvatest 22	USLab 45	BP-V 50	MST	MTG	PLG (FFT)	MTG
(dd/mm/aa)	Lxbxh (mm)	(%)	Lectura:	T: (µs) mV	T: (µs)	T: (µs)	T: (µs)	Masa (kg)	Frec. long. (Hz)	Frec. long. (Hz)
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.

Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación		Estadillo para probetas de dimensiones 3000 x 100 x 150 mm (versión 14.1)	
INIA: Laboratorio de Maderas		Procedencia: Cuenca, España Aserradero: Ayto. Cuenca		Lote: <u>Hum.</u> N° piezas: 25	
N° probeta: PNNL		Especie: <u><i>Pinus nigra</i> Arn. Ssp. <i>salzmannii</i></u>			
Ensayo Flexión UNE-EN 408					
Resultados de ensayo de ELASTICIDAD (VERDE)					
Fecha:					
Técnico:					
Carga última (kN):					
Extensómetro Global (mm)		50			
Pend. <u>Emgcto</u> PCTO (mm/kN):					
Extensómetros Locales (mm)		20	20		
Pend. <u>Ecan</u> PEL (mm/kN):					
Tiempo de ensayo (s):					
Notas:					

N° probeta: PNNL		Ensayo Flexión UNE-EN 408			
Resultados de ensayo de ROTURA (SECO)			Rotura		Sección de rotura:
Fecha:			Posición (cm):
Técnico:			¿Tercio central? (≠ 45 cm)		
Carga última (kN):			Tracción:		
Extensómetro Global (mm)			Compresión:		
Pend. <u>Emgcto</u> PCTO (mm/kN):			Cortante:		
MOEGCTO (MPa):			Nudo en cara:		
Extensómetros Locales (mm)			Nudo en canto:		
Pend. <u>Ecan</u> PEL (mm/kN):			Dist. Fibras:		
MOEL (MPa):			Humedad (%):		
MOR (MPa):			Fotografía (archivo/s):		
Tiempo de ensayo (s):					
Notas:

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND puntuales:

Proyecto de Fin de Carrera: UPM Montes Estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las técnicas no destructivas puntuales.		Estadillo para probetas de dimensiones 500 x 100 x 150 mm (versión 15.2)		
Nº probeta: PNNL		Especie: <i>Pinus nigra</i> Arn. Ssp. <i>salmannii</i>		INIA: Laboratorio de Maderas		Lote: <u>Hum.</u>
				Procedencia: Cuenca, España Aserradero: Ayto. Cuenca		Nº piezas: 25
NDT: Técnicas puntuales						
Datos básicos				Técnicas puntuales		Notas
Nº	FECHA	HUM.	DIMENSIONES	MASA	MAT	PILODYN
	(dd/mm/aa)	(%)	LxCantoxC ara (mm)	(kg)	(kN)	(mm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Nº probeta: PNNL						
Datos básicos				Técnicas puntuales		Notas
Nº	FECHA	HUM.	DIMENSIONES	MASA	MAT	PILODYN
	(dd/mm/aa)	(%)	LxCantoxC ara (mm)	(kg)	(kN)	(mm)
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
						Humedad de estufa =

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND en el estudio de la influencia de la longitud de medida:

Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación		Estadillo para probetas de sección 90 x 140 mm (versión 13.5)																																																																												
Nº probeta: PNP		Especie: <i>Pinus pinaster</i> Ait.		INIA: Laboratorio de Maderas																																																																												
Clasificación visual: UNE 56.544-2011 y DIN 4074-1:2012		Procedencia: Segovia, España Aserradero: Lastras de Cuellar		Lote: Long.																																																																												
		Fecha:		Nº piezas: 30																																																																												
Cara h (mm): Canto b (mm): Long. L (mm): Humedad (%) resistivo: Humedad (%) capacitivo: Nudo CARA ϕ_1 (mm): Nudo CANTO ϕ_2 (mm): Nudo CARA ϕ_3 (mm): Nudo CANTO ϕ_4 (mm): Peor sección $\Sigma \phi$ (mm): C.K.D.R.: Bolsa de resina I / a (mm): Entrecasco I / a (mm): Fenda (mm): Médula: (sí o no): Fibra máx.: x / y (mm): Alterac. biológicas: (sí o no):		Anillos: long. (mm) / n°: / Gema: long. / h' / b' (mm): / / Curv. CARA: x (mm): Curv. CANTO: y (mm): ALABEO: z (mm): Nudo DIN ϕ_1 (mm): Nudo DIN ϕ_2 (mm): Nudo DIN ϕ_3 (mm): Nudo DIN ϕ_4 (mm): Mad. comp.: long. / anch. (mm): / Observaciones:		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Métodos acústicos</th> </tr> <tr> <th>EQUIPO</th> <th>Sylvatest 22</th> <th>USLab 45</th> <th>BP-V 50</th> <th>MST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lectura:</td> <td>T: (µs) mV</td> <td>T: (µs)</td> <td>T: (µs)</td> <td>T: (µs)</td> </tr> <tr> <td>Testa - testa: sup.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Testa - testa: inf.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Directa: sup.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Directa: inf.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Indirecta: sup.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Indirecta: inf.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Directa canto</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Indirecta canto</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Vibraciones inducidas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Masa (Kg)</th> <th>C.R.</th> <th>Exc. long. (Hz)</th> <th>Exc. trans. canto (Hz)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLG o FFT</td> <td>2x</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MTG</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Métodos acústicos					EQUIPO	Sylvatest 22	USLab 45	BP-V 50	MST	Lectura:	T: (µs) mV	T: (µs)	T: (µs)	T: (µs)	Testa - testa: sup.					Testa - testa: inf.					Directa: sup.					Directa: inf.					Indirecta: sup.					Indirecta: inf.					Directa canto					Indirecta canto					Vibraciones inducidas						Masa (Kg)	C.R.	Exc. long. (Hz)	Exc. trans. canto (Hz)	PLG o FFT	2x				MTG				
Métodos acústicos																																																																																
EQUIPO	Sylvatest 22	USLab 45	BP-V 50	MST																																																																												
Lectura:	T: (µs) mV	T: (µs)	T: (µs)	T: (µs)																																																																												
Testa - testa: sup.																																																																																
Testa - testa: inf.																																																																																
Directa: sup.																																																																																
Directa: inf.																																																																																
Indirecta: sup.																																																																																
Indirecta: inf.																																																																																
Directa canto																																																																																
Indirecta canto																																																																																
Vibraciones inducidas																																																																																
	Masa (Kg)	C.R.	Exc. long. (Hz)	Exc. trans. canto (Hz)																																																																												
PLG o FFT	2x																																																																															
MTG																																																																																

Nº probeta: PNP		Ensayo Flexión UNE-EN 408																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Resultados de ensayo de elasticidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fecha:</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Técnico:</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Carga última (kN):</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Extensómetro Global (mm)</td> <td colspan="2">50</td> </tr> <tr> <td>Pend. Emgcto PCTO (mm/kN):</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Extensómetros Locales (mm)</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Pend. Ecen. PEL (mm/kN):</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de ensayo (s):</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Notas:</td> </tr> </tbody> </table>				Resultados de ensayo de elasticidad			Fecha:			Técnico:			Carga última (kN):			Extensómetro Global (mm)	50		Pend. Emgcto PCTO (mm/kN):			Extensómetros Locales (mm)	20	20	Pend. Ecen. PEL (mm/kN):			Tiempo de ensayo (s):			Notas:		
Resultados de ensayo de elasticidad																																	
Fecha:																																	
Técnico:																																	
Carga última (kN):																																	
Extensómetro Global (mm)	50																																
Pend. Emgcto PCTO (mm/kN):																																	
Extensómetros Locales (mm)	20	20																															
Pend. Ecen. PEL (mm/kN):																																	
Tiempo de ensayo (s):																																	
Notas:																																	

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND globales, completo después de los ensayos:

Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación		Estadillo para: probetas de dimensiones 3000 x 100 x 150 mm (versión 14.2)			
INIA: Laboratorio de Maderas		Procedencia: Segovia, España Aserradero: Luis Cuesta		Lote: Hum.			
N° probeta: PNSY - 04		Especie: <i>Pinus sylvestris</i> L.		N° piezas: 25			
Clasificación visual: UNE 56.544-2011 y DIN 4074-1:2012							
Fecha (VERDE): 09/05/14 Cara h (mm): 150 Canto b (mm): 99 Long. L (mm): 2995 H (%) resistivo (c. aislados): 26'3 Nudo CARA ϕ_1 (mm): 26+21 Nudo CANTO ϕ_2 (mm): 33 Nudo CARA ϕ_3 (mm): 30 Nudo CANTO ϕ_4 (mm): 14 Peor sección $\Sigma \phi_i$ (mm): 33+16+23 C.K.D.R.: 93/503=0'18 Bolsa de resina l/a (mm): 72'7 Entrecasco l/a (mm): NO Anillos: long. (mm) / n°: / Gema: l/h' / b' (mm): NO / Fibra máx.: x/y (mm): 1200'34 Alterac. biológicas: (sí o no): NO		Fenda (mm): / Médula: (sí o no): (2 testas) Si Curv. CARA: x (mm): / Curv. CANTO: y (mm): / ALABEO: z (mm): / Nudo DIN ϕ_1 (mm): 22 Nudo DIN ϕ_2 (mm): 30 Nudo DIN ϕ_3 (mm): 30 Nudo DIN ϕ_4 (mm): 12 Mad. comp.: l / anch. (mm): / Observaciones:		Fecha (SECO): 11/09/14 Cara h (mm): 1471/147 Canto b (mm): 95/94 Long. L (mm): 2997 H (%) resistivo (c. aislados): 9'0 Nudo CARA ϕ_1 (mm): 24+26 Nudo CANTO ϕ_2 (mm): 30 Nudo CARA ϕ_3 (mm): 30 Nudo CANTO ϕ_4 (mm): 15 Peor sección $\Sigma \phi_i$ (mm): 50'30+9+11+6 C.K.D.R.: 50'66/483=0'14 Bolsa de resina l/a (mm): 72'7 Entrecasco l/a (mm): NO Anillos: long. (mm) / n°: 30 / 13 Gema: l/h' / b' (mm): NO / Fibra máx.: x/y (mm): 1430'9 Alterac. biológicas: (sí o no): NO		Fenda (mm): 26+21 Médula: (sí o no): Si (2 testas) Curv. CARA: x (mm): 1 Curv. CANTO: y (mm): 1 ALABEO: z (mm): 20/25 Nudo DIN ϕ_1 (mm): 23 Nudo DIN ϕ_2 (mm): 30 Nudo DIN ϕ_3 (mm): 30 Nudo DIN ϕ_4 (mm): 15 Mad. comp.: l / anch. (mm): / Observaciones:	

N° probeta: PNSY - 04										
Datos básicos			Métodos acústicos					Vibraciones inducidas		
FECHA	DIMENSION	HUM.	EQUIPO	Sylvest 22	USLab 45	BP-V 50	MST	MTG	PLG (FFT)	MTG
(dd/mm/aa)	Lxbxh (mm)	(%)	Lectura:	T: (μs)	T: (μs)	T: (μs)	T: (μs)	Masa (kg)	Frec. long. (Hz)	Frec. long. (Hz)
				mV						
12-5-14	2994x150x99	24'8	Testa - testa: sup.	667	608	654	640	24'78	688'3	693
			Testa - testa: inf.	663	604	655	637			
22-5-14	2994x150x98	21,3	Testa - testa: sup.	632	561,6	617	603	22,94	728	732
	298x98		Testa - testa: inf.	615	555,5	602	601			
12-6-14	2995x149x98	18'9	Testa - testa: sup.	602	546,3	606,8	584	22'08	749'4	752
	149x98		Testa - testa: inf.	589	537,3	578,8	576			
27/06/14	2996x149x98	16'4	Testa - testa: sup.	587	532	591	566	21'46	770	776
	149x98		Testa - testa: inf.	579	526	567	568			
16/07/14	2993x148x95	13'4	Testa - testa: sup.	575	523	566	558	21'08	783	786
	148x95		Testa - testa: inf.	570	517	560	554			
30/07/14	2995x148x95	11'8	Testa - testa: sup.	573	519	559	562	20'86	791	795
	148x95		Testa - testa: inf.	564	512	556	552			
05/09/14	2992x147x95	8'7	Testa - testa: sup.	569	516	555	552	20'54	800	805
	147x95		Testa - testa: inf.	561	510	552	543			
18/09/14	150x150x95	9'0	Testa - testa: sup.					950→	996'8	904,1
			Testa - testa: inf.							
			Testa - testa: sup.							
			Testa - testa: inf.

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD	Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación	Estadillo para probetas de dimensiones 3000 x 100 x 150 mm. (versión 14.2)
INIA: Laboratorio de Maderas		Lote: Hum.
N° probeta: PNSY - 04	Especie: <i>Pinus sylvestris</i> L.	Aserradero: Luis Cuesta N° piezas: 25
Ensayo Flexión UNE-EN 408		

Resultados de ensayo de ELASTICIDAD (VERDE)		
Fecha:	30-04-14	
Técnico:	DANI	
Carga última (kN):	7'98	
Extensómetro Global (mm)	50	
Pend. Emgto PCTO (mm/kN):	1'4303 03	
Extensómetros Locales (mm)	20	50
Pend. Ecen PEL (mm/kN):	0'105709	0'099972
Tiempo de ensayo (s):	77	
Notas:		

N° probeta: PNSY - 04	Ensayo Flexión UNE-EN 408	
-----------------------	---------------------------	--

Resultados de ensayo de ROTURA (SECO)		Rotura	
Fecha:	17/09/14	Posición (cm):	40 decha
Técnico:	DANI	¿Tercio central? (± 45 cm)	Si
Carga última (kN):	32'26 40'26	Tracción:	Si
Extensómetro Global (mm)	50	Compresión:	—
Pend. Emgto PCTO (mm/kN):	1'308933	Cortante:	—
MOEGCTO (MPa):	9489	Nudo en cara:	
Extensómetros Locales (mm)	20 20	Nudo en canto:	
Pend. Ecen PEL (mm/kN):	0'096369 0'094127	Desv. Fibra:	
MOEL (MPa):	11674	Humedad (%):	
MOR (MPa):	48'31	Fotografía (archivo/s):	
Tiempo de ensayo (s):	397		

Notas:

Pendiente 2'7 a 88 slama 9 kN

Acehalladura

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND puntuales, completo después de los ensayos:

POLITÉCNICA		Proyecto de Fin de Carrera: UPM Montes Estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en las técnicas no destructivas puntuales.		Estadillo para probetas de dimensiones 500 x 100 x 150 mm (versión 15.2)			
Nº probeta: PNPN-13		Especie: <i>Pinus pinaster</i> Ait.		INIA: Laboratorio de Maderas		Lote: Hum.	
				Procedencia: Segovia, España Aserradero: Luis Cuesta		Nº piezas: 25	
NDT: Técnicas puntuales							
Datos básicos				Técnicas puntuales		Notas	
Nº	FECHA	HUM.	DIMENSIONES	MASA	MAT	PILODYN	
	(dd/mm/aa)	(%)	LxCanxCara (mm)	(kg)	(kN)	(mm)	
1	03/03/15	33'5	499x150x97	4'788	1'53	18	INTERNA
2	31/03/15	24'1	498x149x96	4'293	1'62	16	
3	13/04/15	20'8	499x149x95	4'177	1'79	13	
4	30/04/15	18'5	498x148x95	4'095	2'01	14	
5	14/05/15	17'3	498x147x94	4'036	2'00	11	
6	11/06/15	15'0	497x147x94	3'937	2'15	13	
7	02/07/15	13'7	497x147x94	3'896	2'18	12	
8	12/08/15	11'0	497x147x93	3'832	2'36	12	
9	28/08/15	10'4	496x146x93	3'828	2'35	12	ESTUFA 01/09/15
10	10/09/15		9:30	3'550			
11			15:10	3'551			
12							
13							
14							

Se incluye a continuación un ejemplo de estadillo de recogida en laboratorio de datos de TND en el estudio de la influencia de la longitud de medida, completo después de los ensayos:

Proyecto de Investigación: BIA2010-18858 Técnicas no destructivas para la clasificación estructural de la madera en obra nueva y rehabilitación		Estadillo para probetas de sección 90 x 140 mm (versión 13.3)																																																			
Nº probeta: PNNL 06-3		Especie: <i>Pinus nigra</i> Arn. Ssp. <i>salzmannii</i>		INIA: Laboratorio de Maderas																																																			
Clasificación visual: UNE 56.544-2011 y DIN 4074-1:2008		Procedencia: Cuenca, España Aserradero: Ayto. Cuenca		Lote: Long.																																																			
Fecha: 08-04-2013		Nº piezas: 30																																																					
Métodos acústicos																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPO</th> <th>Sylvatest 22</th> <th>USLab 45</th> <th>BPV 50</th> <th>MST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lectura:</td> <td>T: (µs) mV</td> <td>T: (µs)</td> <td>T: (µs)</td> <td>T: (µs)</td> </tr> <tr> <td>Testa - testa: sup.</td> <td>619 305</td> <td>548</td> <td></td> <td>580</td> </tr> <tr> <td>Testa - testa: inf.</td> <td>599 343</td> <td>551</td> <td></td> <td>586</td> </tr> <tr> <td>Directa: sup.</td> <td>518 47</td> <td>485</td> <td></td> <td>498</td> </tr> <tr> <td>Directa: inf.</td> <td>552 47</td> <td>485</td> <td></td> <td>507</td> </tr> <tr> <td>Indirecta: sup.</td> <td>529 409</td> <td>468</td> <td></td> <td>490</td> </tr> <tr> <td>Indirecta: inf.</td> <td>518 44</td> <td>474</td> <td></td> <td>490</td> </tr> <tr> <td>Directa canto</td> <td>544 35</td> <td>480</td> <td></td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Indirecta canto</td> <td>507 46</td> <td>470</td> <td></td> <td>477</td> </tr> </tbody> </table>		EQUIPO	Sylvatest 22	USLab 45	BPV 50	MST	Lectura:	T: (µs) mV	T: (µs)	T: (µs)	T: (µs)	Testa - testa: sup.	619 305	548		580	Testa - testa: inf.	599 343	551		586	Directa: sup.	518 47	485		498	Directa: inf.	552 47	485		507	Indirecta: sup.	529 409	468		490	Indirecta: inf.	518 44	474		490	Directa canto	544 35	480		500	Indirecta canto	507 46	470		477				
EQUIPO	Sylvatest 22	USLab 45	BPV 50	MST																																																			
Lectura:	T: (µs) mV	T: (µs)	T: (µs)	T: (µs)																																																			
Testa - testa: sup.	619 305	548		580																																																			
Testa - testa: inf.	599 343	551		586																																																			
Directa: sup.	518 47	485		498																																																			
Directa: inf.	552 47	485		507																																																			
Indirecta: sup.	529 409	468		490																																																			
Indirecta: inf.	518 44	474		490																																																			
Directa canto	544 35	480		500																																																			
Indirecta canto	507 46	470		477																																																			
Vibraciones inducidas																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Masa (Kg)</th> <th>C.R.</th> <th>Frec. long. (Hz)</th> <th>Frec. trans. canto (Hz)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLG o FFT</td> <td>2x X</td> <td>X</td> <td>740</td> <td>73'2</td> </tr> <tr> <td>MTG</td> <td>19'36</td> <td>X</td> <td>752</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>			Masa (Kg)	C.R.	Frec. long. (Hz)	Frec. trans. canto (Hz)	PLG o FFT	2x X	X	740	73'2	MTG	19'36	X	752	X																																							
	Masa (Kg)	C.R.	Frec. long. (Hz)	Frec. trans. canto (Hz)																																																			
PLG o FFT	2x X	X	740	73'2																																																			
MTG	19'36	X	752	X																																																			

Nº probeta: PNNL 06-3		Ensayo Flexión UNE-EN 408	
Resultados de ensayo de elasticidad			
Fecha:	15-4-13		
Técnico:	DAVF		
Carga última (kN):	9'99		
Extensómetro Global (mm)	50		
Pend. Emgcto PCTO (mm/kN):	1'392853		
Extensómetros Locales (mm)	20	20	
Pend. Ecen PEL (mm/kN):	0'118165	0'112573	
Tiempo de ensayo (s):	97		
Notas:			

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

B.1 Leyenda

Símbolo	Definición	Unidades
N	Número de probeta	-
Probeta	Código de probeta	-
E	Especie (1=pino radiata; 2=pino silvestre; 3=pino laricio; 4=pino pinaster)	-
CantoN	Dimensión nominal menor de la sección	mm
CaraN	Dimensión nominal mayor de la sección	mm
Canto	Dimensión real menor de la sección	mm
Cara	Dimensión real mayor de la sección	mm
Long	Longitud total de la pieza	mm
CHX	Contenido de humedad estimado con xilohigrómetro de resistencia eléctrica	%
CHE	Contenido de humedad determinado por el método de secado en estufa	%
Días	Número de días transcurridos desde el inicio del proceso de secado	día
CV1	Calidad visual conforme a la UNE 56544:2011 (MEG=64; R=67)	-
CV2	Calidad visual conforme a la DIN 4074-1:2012-06 (S7=321; S10=322; S13=323; R=324)	-
CKDR	CKDR de la pieza completa	-
Masa	Masa de la pieza	kg
Deng	Densidad global de la pieza completa	kg/m ³
Tsyl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura testa-testa con Sylvatest Duo	µs
Vsyl	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con Sylvatest Duo	m/s
Tusl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura testa-testa con USLab	µs
Vusl	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con USLab	m/s
Tbpv	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura testa-testa con Steinkamp BPV	µs
Vbpv	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con Steinkamp BPV	m/s
Tmst	Tiempo medio de ondas de impacto en lectura testa-testa con MST	µs
Vmst	Velocidad de ondas de impacto en lectura testa-testa con MST	m/s
Fplg	Frecuencia del primer modo de vibración longitudinal con PLG	Hz
Vplg	Velocidad obtenida con la frecuencia longitudinal de PLG	m/s
Fmtg	Frecuencia del primer modo de vibración longitudinal con MTG	Hz
Vmtg	Velocidad obtenida con la frecuencia longitudinal de MTG	m/s
PCTO	Pendiente del tramo elástico del módulo de elasticidad global	mm/kN
Eglo	Módulo de elasticidad global en flexión	N/mm ²
PEL	Pendiente del tramo elástico del módulo de elasticidad local	mm/kN
Eloc	Módulo de elasticidad local en flexión	N/mm ²
CROT	Carga máxima de rotura de ensayo a flexión	kN
Trot	Resistencia a la flexión (tensión de rotura)	N/mm ²
Trotpos	Resistencia a la flexión (tensión de rotura) considerando la posición de rotura	N/mm ²
Denl	Densidad local de la pieza (obtenida de una rebanada)	kg/m ³
Denp	Densidad puntual de la pieza completa	kg/m ³
Prof	Profundidad de penetración con Pilodyn 6J Forest	mm
Fuer	Fuerza de arranque de tornillo con SWRM	kN
CHC	Contenido de humedad estimado con xilohigrómetro capacitivo	%
VsylC	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con Sylvatest Duo corregida por longitud	m/s
VuslC	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con USLab corregida por longitud	m/s
VbpvC	Velocidad de ultrasonidos en lectura testa-testa con Steinkamp BPV corregida por longitud	m/s
VmstC	Velocidad de ondas de impacto en lectura testa-testa con MST corregida por longitud	m/s
LCrD	Longitud entre sensores en mediciones cara-cara directa	mm
TCrDsyl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara directa con Sylvatest Duo	µs
TCrDusl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara directa con USLab	µs
TCrDbpv	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara directa con Steinkamp BPV	µs
TCrDmst	Tiempo medio de ondas de impacto en lectura cara-cara directa con MST	µs
LCtD	Longitud entre sensores en mediciones canto-canto directo	mm
TCtDsyl	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto directo con Sylvatest Duo	µs
TCtDusl	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto directo con USLab	µs
TCtDbpv	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto directo con Steinkamp BPV	µs
TCtDmst	Tiempo de ondas de impacto en lectura canto-canto directo con MST	µs
LCrI	Longitud entre sensores en mediciones cara-cara indirecta	mm
TCrIsyl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara indirecta con Sylvatest Duo	µs
TCrIusl	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara indirecta con USLab	µs
TCrIbpv	Tiempo medio de ultrasonidos en lectura cara-cara indirecta con Steinkamp BPV	µs
TCrImst	Tiempo medio de ondas de impacto en lectura cara-cara indirecta con MST	µs
LCtI	Longitud entre sensores en mediciones canto-canto indirecto	mm
TCtIsyl	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto indirecto con Sylvatest Duo	µs
TCtIusl	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto indirecto con USLab	µs
TCtIbpv	Tiempo de ultrasonidos en lectura canto-canto indirecto con Steinkamp BPV	µs
TCtImst	Tiempo de ondas de impacto en lectura canto-canto indirecto con MST	µs

B.2 Muestra 1 (100 piezas a 3 m)**B.2.1 Dimensiones, contenidos de humedad, clasificación visual y densidad**

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
1	PNRD-01	1	100	150	94	146	2991	25,4	30,4	0	64	322	0,20	22,62	551
2	PNRD-02	1	100	150	94	146	2988	26,0	31,7	0	64	321	0,15	19,54	477
3	PNRD-03	1	100	150	94	146	2998	26,3	46,1	0	64	322	0,22	22,56	548
4	PNRD-04	1	100	150	94	146	2999	25,8	28,4	0	64	321	0,30	19,26	468
5	PNRD-05	1	100	150	96	147	2998	32,2	104,9	0	64	322	0,17	37,94	897
6	PNRD-06	1	100	150	94	147	2997	27,6	28,3	0	64	322	0,20	18,70	452
7	PNRD-07	1	100	150	94	147	3002	39,0	105,1	0	64	322	0,19	36,98	891
8	PNRD-08	1	100	150	95	146	3001	25,3	36,0	0	64	322	0,13	26,82	644
9	PNRD-09	1	100	150	94	145	3004	29,2	63,8	0	64	322	0,16	29,64	724
10	PNRD-10	1	100	150	94	146	3001	25,4	47,5	0	64	323	0,15	22,36	543
11	PNRD-11	1	100	150	94	146	2995	39,1	117,3	0	64	322	0,19	39,20	954
12	PNRD-12	1	100	150	94	146	3004	24,4	40,7	0	64	322	0,13	26,20	636
13	PNRD-13	1	100	150	94	146	2999	24,5	38,8	0	64	321	0,15	24,40	593
14	PNRD-14	1	100	150	95	146	3004	38,7	97,1	0	64	322	0,15	35,76	858
15	PNRD-15	1	100	150	94	145	3003	24,0	30,8	0	64	322	0,18	20,46	500
16	PNRD-16	1	100	150	95	146	3001	25,1	27,8	0	64	322	0,10	23,96	576
17	PNRD-17	1	100	150	93	144	3005	27,0	38,4	0	64	322	0,21	21,64	538
18	PNRD-18	1	100	150	93	147	3004	22,5	28,8	0	64	322	0,27	21,48	523
19	PNRD-19	1	100	150	95	146	3005	23,6	38,6	0	64	321	0,17	24,48	587
20	PNRD-20	1	100	150	94	146	3004	26,2	30,6	0	64	322	0,29	24,22	587
21	PNRD-21	1	100	150	94	146	3003	23,3	50,7	0	64	322	0,15	30,12	731
22	PNRD-22	1	100	150	93	145	3003	22,5	51,8	0	64	322	0,15	30,00	741
23	PNRD-23	1	100	150	95	146	2997	30,7	72,7	0	64	323	0,24	33,18	798
24	PNRD-24	1	100	150	94	145	3000	30,1	68,8	0	64	322	0,19	29,36	718
25	PNRD-25	1	100	150	93	145	2998	25,3	63,0	0	64	321	0,28	27,42	678
26	PNRD-01	1	100	150	94	147	2991	20,4	22,7	12				21,28	515
27	PNRD-02	1	100	150	93	146	2989	20,6	23,8	12				18,36	452
28	PNRD-03	1	100	150	94	146	2998	24,0	26,5	12				19,54	475
29	PNRD-04	1	100	150	93	145	2999	19,9	23,2	12				18,48	457
30	PNRD-05	1	100	150	95	147	2998	27,8	63,1	12				30,20	721
31	PNRD-06	1	100	150	92	147	2998	21,7	24,4	12				18,12	447
32	PNRD-07	1	100	150	95	148	3003	33,1	57,7	12				28,44	674
33	PNRD-08	1	100	150	94	146	3000	22,5	25,1	12				24,66	599
34	PNRD-09	1	100	150	92	146	3004	25,0	29,4	12				23,42	580
35	PNRD-10	1	100	150	94	145	3001	20,7	23,5	12				18,72	458
36	PNRD-11	1	100	150	94	146	2995	27,5	49,6	12				26,98	656
37	PNRD-12	1	100	150	94	148	3002	21,7	23,6	12				23,02	551
38	PNRD-13	1	100	150	94	146	2999	21,0	23,9	12				21,78	529
39	PNRD-14	1	100	150	94	146	3004	24,7	42,9	12				25,94	629
40	PNRD-15	1	100	150	93	146	3005	21,4	22,7	12				19,20	471
41	PNRD-16	1	100	150	94	145	3000	21,3	21,9	12				22,86	559
42	PNRD-17	1	100	150	93	145	3005	20,6	20,8	12				18,88	466
43	PNRD-18	1	100	150	93	148	3003	19,4	20,5	12				20,10	486
44	PNRD-19	1	100	150	93	147	3001	19,2	22,0	12				21,54	525
45	PNRD-20	1	100	150	92	148	3002	20,6	21,8	12				22,58	552
46	PNRD-21	1	100	150	93	147	3006	21,3	25,9	12				25,16	612
47	PNRD-22	1	100	150	93	147	3002	20,6	29,2	12				25,54	622
48	PNRD-23	1	100	150	94	147	2995	23,1	26,5	12				24,30	587
49	PNRD-24	1	100	150	93	146	2998	25,9	33,1	12				23,14	568
50	PNRD-25	1	100	150	93	146	2996	23,4	27,7	12				21,48	528
51	PNRD-01	1	100	150	93	147	2989	18,2	19,3	24				20,70	507
52	PNRD-02	1	100	150	92	146	2988	17,8	18,4	24				17,56	438
53	PNRD-03	1	100	150	93	145	2997	19,2	20,0	24				18,54	459
54	PNRD-04	1	100	150	93	145	2998	17,4	18,4	24				17,76	439
55	PNRD-05	1	100	150	94	147	2997	27,9	30,7	24				24,20	584
56	PNRD-06	1	100	150	92	146	2997	17,8	18,6	24				17,28	429
57	PNRD-07	1	100	150	94	147	3003	33,1	27,9	24				23,06	556
58	PNRD-08	1	100	150	93	145	3001	19,8	20,5	24				23,76	587
59	PNRD-09	1	100	150	93	145	3002	20,4	21,5	24				21,98	543
60	PNRD-10	1	100	150	93	145	3000	17,6	19,0	24				18,04	446
61	PNRD-11	1	100	150	93	146	2995	25,1	25,9	24				22,72	559
62	PNRD-12	1	100	150	94	148	3001	18,8	20,2	24				22,38	536
63	PNRD-13	1	100	150	94	145	2998	19,0	20,4	24				21,16	518
64	PNRD-14	1	100	150	94	145	3003	23,1	24,3	24				22,56	551
65	PNRD-15	1	100	150	92	145	3005	18,4	19,0	24				18,62	464
66	PNRD-16	1	100	150	94	144	2999	19,1	18,8	24				22,28	549

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
67	PNRD-17	1	100	150	93	145	3004	17,7	18,0	24				18,44	455
68	PNRD-18	1	100	150	93	147	3003	17,2	18,5	24				19,76	481
69	PNRD-19	1	100	150	93	147	3001	17,3	19,4	24				21,08	514
70	PNRD-20	1	100	150	92	147	3002	17,9	19,7	24				22,20	547
71	PNRD-21	1	100	150	93	147	3006	19,7	22,2	24				24,42	594
72	PNRD-22	1	100	150	93	147	3002	19,6	23,0	24				24,32	593
73	PNRD-23	1	100	150	94	146	2994	19,7	22,5	24				23,54	573
74	PNRD-24	1	100	150	94	146	2998	21,5	24,9	24				21,72	528
75	PNRD-25	1	100	150	92	146	2996	20,1	21,8	24				20,50	509
76	PNRD-01	1	100	150	93	147	2989	16,4	17,1	38				20,32	497
77	PNRD-02	1	100	150	92	145	2988	16,0	16,5	38				17,28	434
78	PNRD-03	1	100	150	92	145	2997	16,7	17,3	38				18,12	453
79	PNRD-04	1	100	150	93	144	2997	15,7	16,2	38				17,44	435
80	PNRD-05	1	100	150	94	146	2995	21,1	21,9	38				22,58	549
81	PNRD-06	1	100	150	91	146	2996	15,7	16,4	38				16,96	426
82	PNRD-07	1	100	150	93	146	3002	17,4	20,7	38				21,76	534
83	PNRD-08	1	100	150	92	145	3000	18,0	18,1	38				23,28	582
84	PNRD-09	1	100	150	92	145	3003	17,8	18,4	38				21,42	535
85	PNRD-10	1	100	150	93	145	3000	15,5	16,3	38				17,62	436
86	PNRD-11	1	100	150	93	146	2995	19,8	19,7	38				21,60	531
87	PNRD-12	1	100	150	94	147	3000	17,0	17,6	38				21,90	528
88	PNRD-13	1	100	150	94	145	2997	17,1	17,4	38				20,64	505
89	PNRD-14	1	100	150	94	144	3002	18,8	19,1	38				21,62	532
90	PNRD-15	1	100	150	92	144	3005	16,7	16,4	38				18,20	457
91	PNRD-16	1	100	150	93	144	2999	17,6	16,8	38				21,90	545
92	PNRD-17	1	100	150	93	144	3004	15,7	15,5	38				18,06	449
93	PNRD-18	1	100	150	92	147	3002	15,8	15,6	38				19,28	475
94	PNRD-19	1	100	150	93	146	3001	15,9	16,2	38				20,52	504
95	PNRD-20	1	100	150	91	146	3001	15,9	16,9	38				21,68	544
96	PNRD-21	1	100	150	91	145	3006	18,3	18,6	38				23,70	598
97	PNRD-22	1	100	150	93	146	3001	18,5	18,7	38				23,46	576
98	PNRD-23	1	100	150	93	146	2994	17,9	18,5	38				22,78	560
99	PNRD-24	1	100	150	93	145	2998	18,9	18,5	38				20,60	510
100	PNRD-25	1	100	150	92	145	2996	17,7	17,2	38				19,72	493
101	PNRD-01	1	100	150	92	146	2989	14,7	14,7	52				19,90	496
102	PNRD-02	1	100	150	91	144	2988	14,1	13,5	52				16,84	430
103	PNRD-03	1	100	150	92	145	2997	14,6	14,2	52				17,64	441
104	PNRD-04	1	100	150	93	143	2996	13,8	13,3	52				17,00	427
105	PNRD-05	1	100	150	94	145	2994	18,1	17,0	52				21,66	531
106	PNRD-06	1	100	150	91	145	2996	13,6	13,2	52				16,50	417
107	PNRD-07	1	100	150	92	144	3002	17,8	15,7	52				20,86	525
108	PNRD-08	1	100	150	91	143	3000	16,5	15,2	52				22,72	582
109	PNRD-09	1	100	150	92	144	3002	16,2	15,3	52				20,86	525
110	PNRD-10	1	100	150	93	144	3000	13,4	13,9	52				17,26	430
111	PNRD-11	1	100	150	92	145	2995	17,4	16,0	52				20,92	524
112	PNRD-12	1	100	150	94	147	2999	15,6	15,2	52				21,46	518
113	PNRD-13	1	100	150	94	144	2996	15,2	14,9	52				20,20	498
114	PNRD-14	1	100	150	94	143	3001	16,3	15,8	52				21,02	521
115	PNRD-15	1	100	150	91	143	3005	14,8	13,7	52				17,78	455
116	PNRD-16	1	100	150	93	143	2998	16,0	14,4	52				21,46	538
117	PNRD-17	1	100	150	93	143	3003	13,6	13,1	52				17,68	443
118	PNRD-18	1	100	150	92	147	3002	13,8	13,7	52				18,96	467
119	PNRD-19	1	100	150	93	146	3002	13,8	13,9	52				20,12	494
120	PNRD-20	1	100	150	91	146	3000	13,8	15,0	52				21,32	535
121	PNRD-21	1	100	150	91	145	3005	16,6	16,3	52				23,24	586
122	PNRD-22	1	100	150	92	145	3000	16,9	16,2	52				22,98	574
123	PNRD-23	1	100	150	92	145	2994	15,8	16,0	52				22,30	558
124	PNRD-24	1	100	150	92	144	2997	16,4	15,5	52				20,08	506
125	PNRD-25	1	100	150	92	145	2995	14,9	15,0	52				19,34	484
126	PNRD-01	1	100	150	92	146	2989	13,3	13,8	66				19,74	492
127	PNRD-02	1	100	150	91	144	2988	12,6	13,0	66				16,76	428
128	PNRD-03	1	100	150	92	144	2997	13,0	13,4	66				17,52	441
129	PNRD-04	1	100	150	93	142	2997	12,3	12,9	66				16,94	428
130	PNRD-05	1	100	150	94	144	2993	16,0	15,2	66				21,34	527
131	PNRD-06	1	100	150	91	145	2995	12,0	12,7	66				16,42	415
132	PNRD-07	1	100	150	92	143	3002	15,7	14,1	66				20,58	521
133	PNRD-08	1	100	150	91	142	3000	15,0	14,2	66				22,52	581
134	PNRD-09	1	100	150	92	144	3002	14,7	14,1	66				20,64	519
135	PNRD-10	1	100	150	92	143	2999	11,9	12,8	66				17,10	433
136	PNRD-11	1	100	150	91	144	2996	15,2	14,1	66				20,58	524
137	PNRD-12	1	100	150	94	146	2999	14,0	14,0	66				21,24	516
138	PNRD-13	1	100	150	93	144	2996	13,7	13,6	66				19,98	498

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
139	PNRD-14	1	100	150	93	142	3001	14,3	14,0	66				20,68	522
140	PNRD-15	1	100	150	91	143	3004	13,3	12,8	66				17,64	451
141	PNRD-16	1	100	150	93	142	2998	14,7	13,4	66				21,26	537
142	PNRD-17	1	100	150	93	143	3003	12,2	11,9	66				17,50	438
143	PNRD-18	1	100	150	91	147	3001	12,5	12,4	66				18,74	467
144	PNRD-19	1	100	150	93	146	3001	12,5	12,7	66				19,90	488
145	PNRD-20	1	100	150	90	145	3001	11,3	13,4	66				21,02	537
146	PNRD-21	1	100	150	91	145	3005	15,5	14,7	66				22,92	578
147	PNRD-22	1	100	150	92	145	3000	15,7	14,5	66				22,64	566
148	PNRD-23	1	100	150	92	144	2994	14,2	14,4	66				21,98	554
149	PNRD-24	1	100	150	93	143	2996	14,6	13,7	66				19,78	496
150	PNRD-25	1	100	150	92	145	2995	13,5	13,6	66				19,12	479
151	PNRD-01	1	100	150	92	146	2988	11,9	11,8	87				19,40	483
152	PNRD-02	1	100	150	91	144	2988	11,2	11,2	87				16,50	421
153	PNRD-03	1	100	150	90	144	2996	11,4	11,5	87				17,22	443
154	PNRD-04	1	100	150	92	141	2996	10,8	10,8	87				16,62	428
155	PNRD-05	1	100	150	94	144	2993	14,0	12,2	87				20,78	513
156	PNRD-06	1	100	150	90	145	2995	10,7	10,8	87				16,14	413
157	PNRD-07	1	100	150	91	142	3001	13,7	11,5	87				20,10	518
158	PNRD-08	1	100	150	91	142	3000	13,4	12,2	87				22,12	571
159	PNRD-09	1	100	150	92	144	3001	13,0	11,8	87				20,24	509
160	PNRD-10	1	100	150	93	143	2999	10,3	11,0	87				16,82	422
161	PNRD-11	1	100	150	91	143	2995	13,5	11,8	87				20,16	517
162	PNRD-12	1	100	150	93	146	2998	12,7	12,1	87				20,88	513
163	PNRD-13	1	100	150	94	143	2995	12,0	11,7	87				19,64	488
164	PNRD-14	1	100	150	93	142	3001	12,3	11,6	87				20,26	511
165	PNRD-15	1	100	150	90	143	3004	11,7	11,0	87				17,36	449
166	PNRD-16	1	100	150	93	142	2998	13,3	11,4	87				20,90	528
167	PNRD-17	1	100	150	92	142	3002	10,4	10,4	87				17,26	440
168	PNRD-18	1	100	150	91	146	3001	10,8	10,8	87				18,48	463
169	PNRD-19	1	100	150	92	146	2999	11,0	10,9	87				19,58	486
170	PNRD-20	1	100	150	90	145	3001	9,6	11,9	87				20,74	530
171	PNRD-21	1	100	150	90	145	3005	13,9	12,7	87				22,52	574
172	PNRD-22	1	100	150	92	145	3000	14,2	12,6	87				22,26	556
173	PNRD-23	1	100	150	91	143	2994	12,4	12,3	87				21,58	554
174	PNRD-24	1	100	150	92	143	2995	12,7	11,8	87				19,44	493
175	PNRD-25	1	100	150	91	145	2994	11,9	11,6	87				18,78	475
176	PNRD-01	1	100	150	92	146	2987	10,3	10,4	109				19,16	478
177	PNRD-02	1	100	150	91	144	2987	9,7	10,0	109				16,32	417
178	PNRD-03	1	100	150	91	144	2996	9,9	10,2	109				17,02	434
179	PNRD-04	1	100	150	92	142	2996	9,4	9,4	109				16,42	420
180	PNRD-05	1	100	150	93	144	2992	12,1	10,8	109				20,52	512
181	PNRD-06	1	100	150	90	144	2995	9,3	9,4	109				15,94	411
182	PNRD-07	1	100	150	91	142	3001	11,6	9,8	109				19,80	511
183	PNRD-08	1	100	150	90	141	3000	11,9	10,6	109				21,80	573
184	PNRD-09	1	100	150	91	144	3001	11,3	10,4	109				19,98	508
185	PNRD-10	1	100	150	93	142	2999	8,9	9,5	109				16,60	419
186	PNRD-11	1	100	150	91	143	2994	11,5	9,8	109				19,80	508
187	PNRD-12	1	100	150	93	146	2998	11,4	10,5	109				20,58	506
188	PNRD-13	1	100	150	93	143	2995	10,4	10,1	109				19,36	486
189	PNRD-14	1	100	150	92	141	3000	10,4	10,0	109				19,96	513
190	PNRD-15	1	100	150	90	141	3004	10,1	9,7	109				17,16	450
191	PNRD-16	1	100	150	93	141	2997	12,0	10,0	109				20,62	525
192	PNRD-17	1	100	150	92	142	3002	9,1	9,0	109				17,04	434
193	PNRD-18	1	100	150	91	146	3000	9,3	9,1	109				18,20	457
194	PNRD-19	1	100	150	92	146	2998	9,6	9,1	109				19,26	478
195	PNRD-20	1	100	150	90	145	2999	7,8	10,0	109				20,40	521
196	PNRD-21	1	100	150	89	145	3005	12,6	11,0	109				22,18	572
197	PNRD-22	1	100	150	92	144	2999	12,9	10,9	109				21,92	552
198	PNRD-23	1	100	150	91	143	2993	10,7	10,5	109				21,24	545
199	PNRD-24	1	100	150	92	142	2993	10,8	10,0	109				19,12	489
200	PNRD-25	1	100	150	92	144	2994	9,5	10,0	109				18,50	466
201	PNRD-01	1	100	150	91	145	2987	8,7	9,1	136				18,92	480
202	PNRD-02	1	100	150	91	142	2987	8,0	8,7	136				16,12	418
203	PNRD-03	1	100	150	90	143	2996	8,0	8,9	136				16,82	436
204	PNRD-04	1	100	150	92	140	2995	7,6	8,5	136				16,28	422
205	PNRD-05	1	100	150	93	143	2992	9,9	9,2	136				20,22	508
206	PNRD-06	1	100	150	90	144	2994	7,5	8,8	136				15,86	409
207	PNRD-07	1	100	150	91	141	3001	9,4	8,6	136				19,58	508
208	PNRD-08	1	100	150	90	140	2998	10,0	9,4	136				21,56	571
209	PNRD-09	1	100	150	91	141	3000	9,4	9,3	136				19,78	514
210	PNRD-10	1	100	150	92	142	2998	7,1	8,7	136				16,48	421

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
211	PNRD-11	1	100	150	90	142	2994	9,3	8,9	136				19,64	513
212	PNRD-12	1	100	150	93	146	2997	9,6	9,6	136				20,42	502
213	PNRD-13	1	100	150	94	142	2995	8,6	9,4	136				19,24	481
214	PNRD-14	1	100	150	92	140	3000	8,2	9,0	136				19,78	512
215	PNRD-15	1	100	150	90	141	3003	8,2	8,9	136				17,04	447
216	PNRD-16	1	100	150	92	140	2996	10,2	9,0	136				20,44	530
217	PNRD-17	1	100	150	92	142	3001	7,0	8,4	136				16,94	432
218	PNRD-18	1	100	150	91	146	3000	7,4	8,5	136				18,10	454
219	PNRD-19	1	100	150	92	145	2998	7,9	8,5	136				19,16	479
220	PNRD-20	1	100	150	90	144	3000	6,3	9,4	136				20,28	522
221	PNRD-21	1	100	150	90	143	3004	10,8	9,7	136				21,92	567
222	PNRD-22	1	100	150	91	143	2999	11,1	9,9	136				21,72	557
223	PNRD-23	1	100	150	91	142	2993	8,4	9,6	136				21,06	545
224	PNRD-24	1	100	150	91	141	2993	8,8	9,1	136				18,98	494
225	PNRD-25	1	100	150	92	143	2993	8,4	9,1	136				18,36	466
226	PNRD-01	1	100	150	91	144	2987	7,8	9,1	150	67	324	0,20	18,92	483
227	PNRD-02	1	100	150	90	142	2987	7,3	8,7	150	64	321	0,16	16,12	422
228	PNRD-03	1	100	150	90	142	2995	7,4	8,8	150	64	321	0,23	16,80	439
229	PNRD-04	1	100	150	91	139	2995	6,9	8,5	150	64	321	0,32	16,28	430
230	PNRD-05	1	100	150	92	143	2993	8,9	9,1	150	64	322	0,18	20,20	513
231	PNRD-06	1	100	150	89	143	2994	6,9	8,7	150	67	324	0,20	15,84	416
232	PNRD-07	1	100	150	90	139	3001	8,5	8,6	150	64	322	0,20	19,58	522
233	PNRD-08	1	100	150	88	139	2998	9,0	9,4	150	64	322	0,14	21,56	588
234	PNRD-09	1	100	150	90	139	2999	8,2	9,1	150	67	324	0,17	19,74	526
235	PNRD-10	1	100	150	92	142	2997	6,7	8,7	150	64	323	0,15	16,48	421
236	PNRD-11	1	100	150	89	140	2994	8,3	8,8	150	64	322	0,20	19,62	526
237	PNRD-12	1	100	150	92	145	2997	8,7	9,4	150	67	324	0,13	20,38	510
238	PNRD-13	1	100	150	92	142	2994	7,9	9,2	150	67	324	0,16	19,20	491
239	PNRD-14	1	100	150	92	140	2999	7,4	8,8	150	64	322	0,16	19,74	511
240	PNRD-15	1	100	150	90	141	3003	7,3	8,8	150	64	322	0,19	17,02	447
241	PNRD-16	1	100	150	92	139	2996	9,1	8,9	150	64	322	0,10	20,42	533
242	PNRD-17	1	100	150	91	140	3001	6,6	8,4	150	67	324	0,23	16,94	443
243	PNRD-18	1	100	150	90	145	2999	7,0	8,5	150	67	324	0,27	18,10	462
244	PNRD-19	1	100	150	91	144	2998	7,2	8,5	150	67	324	0,17	19,16	488
245	PNRD-20	1	100	150	90	143	2999	6,1	9,3	150	67	324	0,30	20,26	525
246	PNRD-21	1	100	150	89	143	3003	9,9	9,7	150	64	322	0,16	21,92	574
247	PNRD-22	1	100	150	90	142	2998	10,3	9,6	150	64	322	0,16	21,66	565
248	PNRD-23	1	100	150	90	141	2992	7,6	9,5	150	64	323	0,25	21,04	554
249	PNRD-24	1	100	150	91	140	2993	8,1	9,0	150	64	322	0,20	18,96	497
250	PNRD-25	1	100	150	91	142	2993	7,8	9,2	150	64	321	0,29	18,38	475
251	PNSY-01	2	100	150	99	149	2994	22,0	31,7	0	64	321	0,17	24,46	554
252	PNSY-02	2	100	150	100	149	2995	30,0	28,6	0	64	322	0,17	23,50	527
253	PNSY-03	2	100	150	100	149	2995	26,1	62,1	0	64	322	0,16	29,86	669
254	PNSY-04	2	100	150	99	150	2994	24,8	33,0	0	64	322	0,18	24,78	557
255	PNSY-05	2	100	150	99	149	2995	25,8	27,1	0	64	322	0,10	24,54	555
256	PNSY-06	2	100	150	99	149	2995	24,6	26,5	0	64	322	0,14	23,50	532
257	PNSY-07	2	100	150	100	149	2995	27,4	38,9	0	64	323	0,07	27,66	620
258	PNSY-08	2	100	150	99	150	2994	28,6	29,3	0	64	322	0,17	26,56	597
259	PNSY-09	2	100	150	100	149	2994	26,6	51,4	0	64	322	0,06	29,52	662
260	PNSY-10	2	100	150	99	149	2994	21,0	45,5	0	64	321	0,10	27,14	615
261	PNSY-11	2	100	150	100	149	2995	25,5	32,4	0	67	323	0,06	26,20	587
262	PNSY-12	2	100	150	99	150	2996	24,6	27,4	0	64	321	0,15	22,96	516
263	PNSY-13	2	100	150	99	149	2994	26,1	29,8	0	64	322	0,20	22,68	514
264	PNSY-14	2	100	150	99	149	2992	26,7	26,1	0	64	321	0,20	24,52	556
265	PNSY-15	2	100	150	99	149	2996	26,0	28,5	0	64	322	0,12	24,98	565
266	PNSY-16	2	100	150	99	148	2994	23,8	24,1	0	64	322	0,05	24,10	549
267	PNSY-17	2	100	150	99	149	2995	22,4	24,4	0	64	322	0,16	23,02	521
268	PNSY-18	2	100	150	99	149	2996	26,4	69,3	0	64	322	0,05	29,88	676
269	PNSY-19	2	100	150	99	149	2994	21,9	26,0	0	64	322	0,10	23,00	521
270	PNSY-20	2	100	150	99	149	2995	22,7	25,3	0	64	322	0,12	24,24	549
271	PNSY-21	2	100	150	98	148	2994	23,0	23,4	0	64	322	0,23	23,48	541
272	PNSY-22	2	100	150	99	149	2994	22,5	25,7	0	64	322	0,28	21,62	490
273	PNSY-23	2	100	150	98	149	2994	23,4	23,7	0	64	322	0,16	27,54	630
274	PNSY-24	2	100	150	99	149	2995	23,5	27,8	0	64	321	0,28	23,96	542
275	PNSY-25	2	100	150	99	149	2995	24,1	27,6	0	64	322	0,15	22,28	504
276	PNSY-01	2	100	150	98	148	2993	19,9	22,2	10				22,70	523
277	PNSY-02	2	100	150	99	150	2995	21,3	21,8	10				22,26	500
278	PNSY-03	2	100	150	99	148	2994	22,2	37,9	10				25,40	579
279	PNSY-04	2	100	150	98	150	2994	21,3	23,1	10				22,94	521
280	PNSY-05	2	100	150	98	149	2995	20,6	20,8	10				23,32	533
281	PNSY-06	2	100	150	99	147	2994	19,7	20,8	10				22,44	515
282	PNSY-07	2	100	150	98	148	2994	21,8	24,8	10				24,86	572

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
283	PNSY-08	2	100	150	98	148	2994	23,2	22,5	10				25,16	579
284	PNSY-09	2	100	150	99	148	2994	22,0	30,4	10				25,42	579
285	PNSY-10	2	100	150	98	149	2993	19,7	25,8	10				23,46	537
286	PNSY-11	2	100	150	98	146	2994	21,3	23,6	10				24,46	571
287	PNSY-12	2	100	150	98	148	2995	20,7	21,7	10				21,94	505
288	PNSY-13	2	100	150	96	149	2991	21,6	21,7	10				21,26	497
289	PNSY-14	2	100	150	98	149	2990	22,3	22,6	10				23,84	546
290	PNSY-15	2	100	150	97	149	2995	20,6	22,4	10				23,80	550
291	PNSY-16	2	100	150	97	147	2993	21,2	22,1	10				23,72	556
292	PNSY-17	2	100	150	97	149	2995	19,8	20,5	10				22,30	515
293	PNSY-18	2	100	150	98	148	2995	25,8	35,6	10				23,94	551
294	PNSY-19	2	100	150	98	148	2994	20,2	21,4	10				22,16	510
295	PNSY-20	2	100	150	97	150	2995	21,0	21,4	10				23,48	539
296	PNSY-21	2	100	150	98	148	2994	20,8	20,6	10				22,94	528
297	PNSY-22	2	100	150	97	149	2994	19,5	20,3	10				20,68	478
298	PNSY-23	2	100	150	98	147	2994	21,8	21,6	10				27,06	627
299	PNSY-24	2	100	150	98	149	2995	20,9	21,1	10				22,70	519
300	PNSY-25	2	100	150	98	148	2996	20,5	20,7	10				21,08	485
301	PNSY-01	2	100	150	98	145	2992	18,0	17,8	31				21,88	515
302	PNSY-02	2	100	150	97	147	2994	18,7	18,6	31				21,68	508
303	PNSY-03	2	100	150	98	147	2996	21,6	22,1	31				22,50	521
304	PNSY-04	2	100	150	98	149	2995	18,9	18,5	31				22,08	505
305	PNSY-05	2	100	150	97	147	2994	18,2	18,0	31				22,78	534
306	PNSY-06	2	100	150	98	146	2994	17,7	18,1	31				21,94	512
307	PNSY-07	2	100	150	96	146	2994	19,0	19,2	31				23,74	566
308	PNSY-08	2	100	150	97	148	2995	20,3	18,5	31				24,34	566
309	PNSY-09	2	100	150	97	146	2995	19,6	19,8	31				23,36	551
310	PNSY-10	2	100	150	98	148	2993	18,5	18,2	31				22,04	508
311	PNSY-11	2	100	150	97	146	2995	18,5	18,4	31				23,44	553
312	PNSY-12	2	100	150	97	145	2996	17,7	16,9	31				21,06	500
313	PNSY-13	2	100	150	96	146	2990	17,4	16,8	31				20,40	487
314	PNSY-14	2	100	150	98	146	2989	19,2	18,6	31				23,06	539
315	PNSY-15	2	100	150	96	145	2995	17,5	17,8	31				22,90	549
316	PNSY-16	2	100	150	97	147	2993	18,5	17,5	31				22,82	535
317	PNSY-17	2	100	150	97	146	2995	17,8	18,5	31				21,94	517
318	PNSY-18	2	100	150	98	146	2994	21,5	21,9	31				21,52	502
319	PNSY-19	2	100	150	97	146	2994	17,8	17,7	31				21,48	507
320	PNSY-20	2	100	150	96	149	2995	18,1	17,9	31				22,80	532
321	PNSY-21	2	100	150	97	147	2993	18,0	17,7	31				22,40	525
322	PNSY-22	2	100	150	97	149	2993	16,2	16,6	31				20,04	463
323	PNSY-23	2	100	150	97	147	2995	19,0	19,0	31				26,50	621
324	PNSY-24	2	100	150	96	149	2994	17,2	16,6	31				21,86	510
325	PNSY-25	2	100	150	96	145	2996	16,6	16,7	31				20,38	489
326	PNSY-01	2	100	150	97	146	2994	15,4	14,8	46				21,32	503
327	PNSY-02	2	100	150	97	147	2995	15,5	15,2	46				21,06	493
328	PNSY-03	2	100	150	98	145	2996	17,9	16,9	46				21,54	506
329	PNSY-04	2	100	150	98	149	2996	16,4	15,2	46				21,46	491
330	PNSY-05	2	100	150	98	147	2997	15,9	15,3	46				22,26	516
331	PNSY-06	2	100	150	98	148	2994	15,5	15,1	46				21,38	492
332	PNSY-07	2	100	150	98	145	2994	16,6	15,6	46				23,02	541
333	PNSY-08	2	100	150	98	146	2995	18,2	15,8	46				23,78	555
334	PNSY-09	2	100	150	97	145	2994	16,5	15,9	46				22,60	537
335	PNSY-10	2	100	150	98	148	2994	15,9	14,6	46				21,38	492
336	PNSY-11	2	100	150	98	147	2995	16,0	15,5	46				22,86	530
337	PNSY-12	2	100	150	97	146	2998	15,6	14,4	46				20,62	486
338	PNSY-13	2	100	150	96	148	2991	14,8	14,3	46				19,96	470
339	PNSY-14	2	100	150	98	146	2989	16,7	15,9	46				22,54	527
340	PNSY-15	2	100	150	97	145	2995	15,4	15,4	46				22,44	533
341	PNSY-16	2	100	150	98	149	2994	16,7	15,8	46				22,50	515
342	PNSY-17	2	100	150	98	148	2995	16,4	15,6	46				21,40	493
343	PNSY-18	2	100	150	97	144	2995	16,5	16,0	46				20,48	490
344	PNSY-19	2	100	150	98	145	2995	16,0	14,8	46				20,96	492
345	PNSY-20	2	100	150	97	148	2994	16,1	14,8	46				22,20	516
346	PNSY-21	2	100	150	97	146	2994	16,0	15,0	46				21,88	516
347	PNSY-22	2	100	150	97	149	2994	14,1	13,9	46				19,58	452
348	PNSY-23	2	100	150	97	146	2994	16,8	16,6	46				25,96	612
349	PNSY-24	2	100	150	98	148	2994	14,9	13,7	46				21,32	491
350	PNSY-25	2	100	150	98	147	2995	14,4	14,1	46				19,92	462
351	PNSY-01	2	100	150	96	146	2993	13,2	13,1	65				21,00	501
352	PNSY-02	2	100	150	96	143	2993	13,0	13,1	65				20,68	503
353	PNSY-03	2	100	150	95	145	2994	14,5	14,0	65				21,00	509
354	PNSY-04	2	100	150	95	148	2993	13,4	13,2	65				21,08	501

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
355	PNSY-05	2	100	150	96	144	2995	13,3	13,1	65				21,84	527
356	PNSY-06	2	100	150	97	144	2994	13,0	13,4	65				21,06	504
357	PNSY-07	2	100	150	95	144	2994	14,0	13,4	65				22,58	551
358	PNSY-08	2	100	150	95	146	2993	15,5	14,0	65				23,42	564
359	PNSY-09	2	100	150	94	145	2993	13,9	13,8	65				22,18	544
360	PNSY-10	2	100	150	97	146	2992	13,1	12,8	65				21,04	497
361	PNSY-11	2	100	150	96	145	2994	13,2	13,6	65				22,48	539
362	PNSY-12	2	100	150	95	145	2995	13,2	12,9	65				20,34	493
363	PNSY-13	2	100	150	95	146	2990	11,5	12,8	65				19,70	475
364	PNSY-14	2	100	150	98	146	2989	14,2	14,3	65				22,22	520
365	PNSY-15	2	100	150	95	145	2993	12,9	13,6	65				22,08	536
366	PNSY-16	2	100	150	96	148	2993	14,3	13,8	65				22,10	520
367	PNSY-17	2	100	150	96	146	2995	13,4	14,1	65				21,12	503
368	PNSY-18	2	100	150	96	144	2994	12,9	13,7	65				20,06	485
369	PNSY-19	2	100	150	96	145	2994	13,6	13,4	65				20,70	497
370	PNSY-20	2	100	150	95	148	2994	13,1	13,5	65				21,96	522
371	PNSY-21	2	100	150	96	147	2994	13,8	13,8	65				21,66	513
372	PNSY-22	2	100	150	96	145	2994	11,8	12,7	65				19,38	465
373	PNSY-23	2	100	150	97	148	2994	14,3	15,3	65				25,66	597
374	PNSY-24	2	100	150	95	145	2993	12,4	12,2	65				21,04	510
375	PNSY-25	2	100	150	94	144	2995	11,9	12,4	65				19,62	484
376	PNSY-01	2	100	150	96	146	2992	11,7	11,9	79				20,78	496
377	PNSY-02	2	100	150	96	144	2993	11,6	12,0	79				20,48	495
378	PNSY-03	2	100	150	96	146	2994	12,9	12,5	79				20,72	494
379	PNSY-04	2	100	150	95	148	2995	11,8	12,0	79				20,86	495
380	PNSY-05	2	100	150	96	143	2995	11,8	12,2	79				21,66	527
381	PNSY-06	2	100	150	97	144	2995	11,5	12,3	79				20,86	499
382	PNSY-07	2	100	150	95	144	2994	12,2	12,3	79				22,36	546
383	PNSY-08	2	100	150	96	147	2994	14,1	13,1	79				23,22	550
384	PNSY-09	2	100	150	95	145	2994	12,0	12,7	79				21,96	532
385	PNSY-10	2	100	150	96	147	2993	11,7	11,2	79				20,74	491
386	PNSY-11	2	100	150	96	143	2993	11,9	12,4	79				22,24	541
387	PNSY-12	2	100	150	95	143	2995	11,9	11,9	79				20,16	495
388	PNSY-13	2	100	150	95	146	2989	9,8	11,6	79				19,50	470
389	PNSY-14	2	100	150	97	145	2988	12,8	12,8	79				21,94	522
390	PNSY-15	2	100	150	94	143	2995	11,8	12,3	79				21,84	542
391	PNSY-16	2	100	150	96	148	2994	13,3	12,6	79				21,88	514
392	PNSY-17	2	100	150	96	146	2994	12,7	12,7	79				20,86	497
393	PNSY-18	2	100	150	95	143	2995	11,3	11,8	79				19,74	485
394	PNSY-19	2	100	150	96	144	2994	12,5	11,9	79				20,42	493
395	PNSY-20	2	100	150	94	148	2994	11,8	12,1	79				21,68	520
396	PNSY-21	2	100	150	94	148	2993	12,8	12,8	79				21,46	515
397	PNSY-22	2	100	150	96	145	2993	10,7	11,4	79				19,16	460
398	PNSY-23	2	100	150	95	148	2994	13,2	14,1	79				25,40	603
399	PNSY-24	2	100	150	96	144	2993	11,2	10,7	79				20,76	502
400	PNSY-25	2	100	150	95	143	2995	10,7	11,0	79				19,38	476
401	PNSY-01	2	100	150	96	146	2990	9,5	10,3	116	67	324	0,10	20,48	489
402	PNSY-02	2	100	150	95	144	2993	9,2	10,3	116	64	322	0,16	20,16	492
403	PNSY-03	2	100	150	96	145	2993	10,0	10,5	116	67	324	0,16	20,36	489
404	PNSY-04	2	100	150	95	147	2992	9,0	10,3	116	67	324	0,14	20,54	492
405	PNSY-05	2	100	150	95	143	2994	9,4	10,6	116	67	324	0,11	21,34	525
406	PNSY-06	2	100	150	97	142	2993	8,9	10,6	116	64	322	0,10	20,54	498
407	PNSY-07	2	100	150	95	143	2994	9,6	10,6	116	67	324	0,07	22,02	541
408	PNSY-08	2	100	150	95	147	2993	11,5	11,0	116	67	324	0,15	22,80	545
409	PNSY-09	2	100	150	95	145	2992	9,1	10,5	116	64	322	0,08	21,54	523
410	PNSY-10	2	100	150	96	145	2991	9,2	10,2	116	67	324	0,10	20,56	494
411	PNSY-11	2	100	150	95	142	2993	9,8	10,8	116	64	323	0,07	21,92	543
412	PNSY-12	2	100	150	95	142	2994	9,8	10,4	116	64	321	0,14	19,90	493
413	PNSY-13	2	100	150	95	145	2988	6,6	10,0	116	67	324	0,20	19,22	467
414	PNSY-14	2	100	150	97	144	2987	10,3	10,9	116	67	321	0,24	21,56	517
415	PNSY-15	2	100	150	94	142	2994	9,2	10,6	116	64	322	0,13	21,50	538
416	PNSY-16	2	100	150	95	147	2993	10,7	10,9	116	64	322	0,05	21,54	515
417	PNSY-17	2	100	150	95	146	2994	10,6	11,2	116	64	322	0,17	20,58	496
418	PNSY-18	2	100	150	96	142	2993	9,5	10,4	116	67	324	0,05	19,48	477
419	PNSY-19	2	100	150	95	144	2994	10,1	10,5	116	64	322	0,10	20,16	492
420	PNSY-20	2	100	150	95	147	2994	9,2	10,6	116	64	322	0,14	21,40	512
421	PNSY-21	2	100	150	96	148	2993	10,5	11,0	116	64	322	0,19	21,12	497
422	PNSY-22	2	100	150	95	144	2992	8,3	10,2	116	67	324	0,28	18,94	463
423	PNSY-23	2	100	150	95	147	2994	10,9	12,4	116	67	324	0,16	25,02	598
424	PNSY-24	2	100	150	95	144	2993	8,8	9,7	116	64	321	0,25	20,56	502
425	PNSY-25	2	100	150	95	142	2994	8,4	10,0	116	67	322	0,18	19,20	475
426	PNNL-01	3	100	150	99	149	2996	26,8	53,3	0	64	322	0,20	35,30	799

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
427	PNNL-02	3	100	150	99	149	2994	29,9	90,9	0	64	321	0,14	38,80	879
428	PNNL-03	3	100	150	99	149	2997	29,2	104,9	0	67	324	0,22	40,82	923
429	PNNL-04	3	100	150	99	149	2995	30,5	51,8	0	64	321	0,37	35,48	803
430	PNNL-05	3	100	150	99	149	2997	31,8	77,7	0	64	322	0,22	42,84	969
431	PNNL-06	3	100	150	99	150	2996	33,4	72,4	0	64	321	0,31	41,10	924
432	PNNL-07	3	100	150	99	150	2994	31,0	79,9	0	64	322	0,13	36,86	829
433	PNNL-08	3	100	150	99	149	2995	27,8	50,4	0	67	321	0,12	32,04	725
434	PNNL-09	3	100	150	99	150	2995	29,1	89,3	0	64	322	0,16	38,54	867
435	PNNL-10	3	100	150	99	150	2996	27,7	63,7	0	64	322	0,25	35,20	791
436	PNNL-11	3	100	150	99	150	2996	28,7	93,4	0	64	321	0,10	38,98	876
437	PNNL-12	3	100	150	99	149	2995	27,8	48,5	0	64	321	0,12	29,76	674
438	PNNL-13	3	100	150	100	149	2994	28,7	86,7	0	64	322	0,15	42,50	953
439	PNNL-14	3	100	150	99	150	2997	27,0	110,5	0	67	321	0,29	46,00	1034
440	PNNL-15	3	100	150	99	150	2995	28,3	35,4	0	64	321	0,29	28,28	636
441	PNNL-16	3	100	150	99	150	2997	26,1	82,3	0	64	321	0,14	41,72	937
442	PNNL-17	3	100	150	99	150	2996	27,1	27,0	0	64	321	0,19	25,44	572
443	PNNL-18	3	100	150	99	150	2997	30,0	28,1	0	64	321	0,19	25,44	572
444	PNNL-19	3	100	150	99	151	2994	26,3	57,8	0	64	322	0,05	32,68	730
445	PNNL-20	3	100	150	100	150	2994	28,7	28,4	0	67	321	0,29	27,86	620
446	PNNL-21	3	100	150	99	151	2995	33,8	36,2	0	64	324	0,20	30,32	677
447	PNNL-22	3	100	150	99	149	2996	28,6	54,7	0	64	321	0,17	35,08	794
448	PNNL-23	3	100	150	99	150	2997	26,1	65,0	0	67	321	0,17	32,60	732
449	PNNL-24	3	100	150	99	151	2998	27,4	49,7	0	64	322	0,13	32,28	720
450	PNNL-25	3	100	150	99	150	2995	31,7	26,8	0	67	321	0,27	26,66	599
451	PNNL-01	3	100	150	98	149	2994	25,4	44,4	7				33,26	761
452	PNNL-02	3	100	150	98	149	2997	28,5	83,8	7				37,36	854
453	PNNL-03	3	100	150	98	148	2996	28,8	98,4	7				39,52	909
454	PNNL-04	3	100	150	99	150	2995	29,1	46,1	7				34,16	768
455	PNNL-05	3	100	150	99	150	2996	32,1	71,5	7				41,36	930
456	PNNL-06	3	100	150	99	150	2997	30,9	66,8	7				39,76	893
457	PNNL-07	3	100	150	99	150	2993	28,8	73,0	7				35,44	797
458	PNNL-08	3	100	150	101	150	2993	26,5	45,9	7				31,08	685
459	PNNL-09	3	100	150	99	150	2991	29,6	79,5	7				36,54	823
460	PNNL-10	3	100	150	99	150	2995	28,6	55,8	7				33,50	753
461	PNNL-11	3	100	150	99	150	2995	29,6	85,1	7				37,32	839
462	PNNL-12	3	100	150	98	150	2995	27,0	43,8	7				28,82	655
463	PNNL-13	3	100	150	99	150	2994	30,5	78,5	7				40,62	914
464	PNNL-14	3	100	150	99	151	2994	28,1	101,9	7				44,14	986
465	PNNL-15	3	100	150	100	150	2996	27,7	31,9	7				27,56	613
466	PNNL-16	3	100	150	98	150	2994	26,0	73,1	7				39,62	900
467	PNNL-17	3	100	150	98	149	2997	23,8	25,4	7				25,12	574
468	PNNL-18	3	100	150	100	150	2998	26,8	27,5	7				25,32	563
469	PNNL-19	3	100	150	99	150	2993	24,5	50,6	7				31,20	702
470	PNNL-20	3	100	150	100	150	2996	27,9	27,5	7				27,66	615
471	PNNL-21	3	100	150	100	150	2995	32,1	34,4	7				29,90	666
472	PNNL-22	3	100	150	99	150	2995	28,0	53,3	7				34,76	782
473	PNNL-23	3	100	150	100	150	2995	28,6	59,2	7				31,46	700
474	PNNL-24	3	100	150	97	149	3000	25,3	43,7	7				31,00	715
475	PNNL-25	3	100	150	100	150	2997	27,6	25,9	7				26,48	589
476	PNNL-01	3	100	150	99	150	2995	27,1	33,4	14				30,72	691
477	PNNL-02	3	100	150	99	150	2998	28,0	66,7	14				33,88	761
478	PNNL-03	3	100	150	99	149	2999	30,0	79,6	14				35,78	809
479	PNNL-04	3	100	150	99	150	2995	26,9	31,3	14				30,70	690
480	PNNL-05	3	100	150	100	150	2998	30,5	46,2	14				35,26	784
481	PNNL-06	3	100	150	100	149	2998	29,8	48,7	14				35,44	793
482	PNNL-07	3	100	150	100	150	2993	28,6	56,3	14				32,02	713
483	PNNL-08	3	100	150	100	149	2994	26,2	32,9	14				28,30	634
484	PNNL-09	3	100	150	98	149	2991	28,4	66,6	14				33,92	777
485	PNNL-10	3	100	150	98	149	2994	26,1	44,2	14				31,02	710
486	PNNL-11	3	100	150	98	148	2995	27,5	71,1	14				34,50	794
487	PNNL-12	3	100	150	99	149	2994	25,6	33,7	14				26,80	607
488	PNNL-13	3	100	150	100	149	2996	28,3	61,9	14				36,86	826
489	PNNL-14	3	100	150	100	150	2994	26,4	84,2	14				40,26	896
490	PNNL-15	3	100	150	99	150	2995	25,7	24,8	14				26,08	586
491	PNNL-16	3	100	150	98	149	2994	25,6	58,7	14				36,32	831
492	PNNL-17	3	100	150	98	149	2995	23,4	23,1	14				24,66	564
493	PNNL-18	3	100	150	98	149	2994	24,2	24,6	14				24,74	566
494	PNNL-19	3	100	150	98	148	2993	23,1	39,0	14				28,78	663
495	PNNL-20	3	100	150	98	148	2995	26,6	26,0	14				27,34	629
496	PNNL-21	3	100	150	98	149	2994	28,8	28,2	14				28,54	653
497	PNNL-22	3	100	150	99	149	2994	25,9	45,8	14				33,06	749
498	PNNL-23	3	100	150	99	149	2994	25,6	46,6	14				28,96	656

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
499	PNNL-24	3	100	150	98	149	2996	23,5	33,4	14				28,78	658
500	PNNL-25	3	100	150	98	149	2994	22,9	22,9	14				25,84	591
501	PNNL-01	3	100	150	99	150	2995	27,5	28,8	23				29,66	667
502	PNNL-02	3	100	150	100	150	2997	26,7	56,4	23				31,80	707
503	PNNL-03	3	100	150	100	150	2996	29,4	68,0	23				33,48	745
504	PNNL-04	3	100	150	100	150	2995	24,3	27,1	23				29,70	661
505	PNNL-05	3	100	150	100	150	2996	29,9	36,4	23				32,88	732
506	PNNL-06	3	100	150	99	150	2995	28,0	39,9	23				33,36	750
507	PNNL-07	3	100	150	99	150	2994	27,2	47,2	23				30,16	678
508	PNNL-08	3	100	150	99	149	2994	24,6	27,0	23				27,06	613
509	PNNL-09	3	100	150	98	149	2991	27,1	55,0	23				31,56	723
510	PNNL-10	3	100	150	99	151	2997	23,4	33,7	23				28,76	642
511	PNNL-11	3	100	150	99	150	2998	29,2	57,1	23				31,66	711
512	PNNL-12	3	100	150	99	150	2994	24,0	25,9	23				25,24	568
513	PNNL-13	3	100	150	100	150	2996	27,9	45,7	23				33,16	738
514	PNNL-14	3	100	150	100	150	2995	26,0	66,9	23				36,48	812
515	PNNL-15	3	100	150	99	149	2995	22,0	22,3	23				25,54	578
516	PNNL-16	3	100	150	98	149	2994	24,6	46,7	23				33,56	768
517	PNNL-17	3	100	150	98	149	2995	20,6	20,7	23				24,18	553
518	PNNL-18	3	100	150	97	149	2996	21,7	21,2	23				24,06	556
519	PNNL-19	3	100	150	98	149	2993	21,9	28,7	23				26,66	610
520	PNNL-20	3	100	150	98	150	2993	24,3	23,3	23				26,76	608
521	PNNL-21	3	100	150	99	150	2994	25,5	22,5	23				27,26	613
522	PNNL-22	3	100	150	99	150	2995	24,4	36,7	23				31,00	697
523	PNNL-23	3	100	150	98	145	2993	25,4	32,6	23				26,20	616
524	PNNL-24	3	100	150	98	149	2996	22,0	25,5	23				27,08	619
525	PNNL-25	3	100	150	98	148	2999	22,0	20,4	23				25,32	582
526	PNNL-01	3	100	150	96	148	2995	24,2	22,2	35				28,14	661
527	PNNL-02	3	100	150	98	151	2996	26,0	38,7	35				28,20	636
528	PNNL-03	3	100	150	97	149	2995	31,7	45,9	35				29,06	671
529	PNNL-04	3	100	150	97	149	2994	21,7	20,8	35				28,24	653
530	PNNL-05	3	100	150	98	149	2996	26,5	25,2	35				30,20	690
531	PNNL-06	3	100	150	97	149	2994	25,7	27,1	35				30,30	700
532	PNNL-07	3	100	150	99	148	2997	26,1	30,5	35				26,74	609
533	PNNL-08	3	100	150	98	150	2991	21,5	19,1	35				25,36	577
534	PNNL-09	3	100	150	97	149	2991	25,7	40,1	35				28,52	660
535	PNNL-10	3	100	150	98	149	2996	25,5	24,3	35				26,74	611
536	PNNL-11	3	100	150	98	150	2996	31,3	38,8	35				27,98	635
537	PNNL-12	3	100	150	98	149	2994	21,4	19,4	35				23,94	548
538	PNNL-13	3	100	150	98	149	2993	28,5	28,5	35				29,26	670
539	PNNL-14	3	100	150	100	149	2996	27,5	44,3	35				31,54	707
540	PNNL-15	3	100	150	99	148	2993	19,4	18,7	35				24,80	566
541	PNNL-16	3	100	150	98	149	2994	25,4	33,0	35				30,44	696
542	PNNL-17	3	100	150	97	147	2994	18,6	17,8	35				23,60	553
543	PNNL-18	3	100	150	97	149	2994	19,2	19,1	35				23,64	546
544	PNNL-19	3	100	150	97	151	2991	20,0	22,6	35				25,40	580
545	PNNL-20	3	100	150	98	150	2993	21,4	20,8	35				26,22	596
546	PNNL-21	3	100	150	99	149	2991	21,8	19,4	35				26,58	602
547	PNNL-22	3	100	150	98	148	2996	22,5	30,4	35				29,56	680
548	PNNL-23	3	100	150	98	148	2993	25,6	24,2	35				24,54	565
549	PNNL-24	3	100	150	97	148	2995	20,0	20,4	35				25,98	604
550	PNNL-25	3	100	150	97	146	2993	20,0	17,9	35				24,78	585
551	PNNL-01	3	100	150	95	147	2994	20,2	19,7	49				27,56	659
552	PNNL-02	3	100	150	98	149	2994	24,8	29,6	49				26,34	602
553	PNNL-03	3	100	150	98	150	2995	32,7	36,5	49				27,20	618
554	PNNL-04	3	100	150	96	149	2994	19,2	18,5	49				27,70	647
555	PNNL-05	3	100	150	97	149	2995	22,7	21,5	49				29,30	677
556	PNNL-06	3	100	150	97	148	2994	24,2	21,2	49				28,88	672
557	PNNL-07	3	100	150	98	148	2990	22,2	23,3	49				25,26	582
558	PNNL-08	3	100	150	97	148	2990	17,7	17,7	49				25,06	584
559	PNNL-09	3	100	150	97	148	2988	25,8	31,5	49				26,76	624
560	PNNL-10	3	100	150	96	150	2994	21,5	19,2	49				25,64	595
561	PNNL-11	3	100	150	97	149	2990	29,9	27,3	49				25,66	594
562	PNNL-12	3	100	150	98	149	2991	18,3	16,8	49				23,42	536
563	PNNL-13	3	100	150	98	149	2990	27,1	19,2	49				27,14	622
564	PNNL-14	3	100	150	98	149	2991	27,6	27,3	49				27,82	637
565	PNNL-15	3	100	150	99	149	2989	17,4	16,2	49				24,28	551
566	PNNL-16	3	100	150	95	144	2993	24,3	25,2	49				28,66	700
567	PNNL-17	3	100	150	96	145	2991	16,5	15,3	49				23,10	555
568	PNNL-18	3	100	150	95	149	2994	17,4	16,2	49				23,06	544
569	PNNL-19	3	100	150	96	147	2991	18,5	18,0	49				24,44	579
570	PNNL-20	3	100	150	96	147	2991	19,8	18,4	49				25,68	608

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
571	PNNL-21	3	100	150	98	147	2989	19,6	16,5	49				25,92	602
572	PNNL-22	3	100	150	98	148	2993	22,2	24,5	49				28,24	651
573	PNNL-23	3	100	150	95	146	2991	21,2	18,8	49				23,48	566
574	PNNL-24	3	100	150	96	147	2994	18,2	17,8	49				25,40	601
575	PNNL-25	3	100	150	96	146	2991	18,1	16,1	49				24,42	583
576	PNNL-01	3	100	150	95	148	2994	16,6	15,9	70				26,68	634
577	PNNL-02	3	100	150	97	144	2995	24,2	20,9	70				24,58	588
578	PNNL-03	3	100	150	97	148	2995	34,8	24,9	70				24,88	579
579	PNNL-04	3	100	150	96	148	2994	16,2	14,9	70				26,86	631
580	PNNL-05	3	100	150	96	148	2995	18,0	16,0	70				27,96	657
581	PNNL-06	3	100	150	96	148	2995	16,9	15,5	70				27,54	647
582	PNNL-07	3	100	150	98	148	2991	19,8	16,2	70				23,80	549
583	PNNL-08	3	100	150	97	148	2990	15,1	13,6	70				24,20	564
584	PNNL-09	3	100	150	97	148	2989	24,5	23,0	70				25,04	584
585	PNNL-10	3	100	150	96	148	2992	17,0	14,9	70				24,72	582
586	PNNL-11	3	100	150	98	148	2995	21,0	18,3	70				23,84	549
587	PNNL-12	3	100	150	98	147	2992	15,3	14,2	70				22,90	531
588	PNNL-13	3	100	150	98	147	2991	18,3	14,1	70				25,96	602
589	PNNL-14	3	100	150	98	148	2990	20,7	18,4	70				25,88	597
590	PNNL-15	3	100	150	98	147	2989	15,3	13,8	70				23,78	552
591	PNNL-16	3	100	150	96	147	2994	18,6	18,8	70				27,18	643
592	PNNL-17	3	100	150	95	146	2990	15,1	13,7	70				22,78	549
593	PNNL-18	3	100	150	96	148	2994	15,4	14,3	70				22,70	534
594	PNNL-19	3	100	150	97	146	2992	16,2	15,2	70				23,86	563
595	PNNL-20	3	100	150	96	148	2991	17,6	16,8	70				25,34	596
596	PNNL-21	3	100	150	98	148	2989	17,0	14,0	70				25,38	585
597	PNNL-22	3	100	150	98	148	2994	21,0	19,3	70				27,06	623
598	PNNL-23	3	100	150	97	147	2990	16,2	14,8	70				22,68	532
599	PNNL-24	3	100	150	97	148	2995	16,1	14,7	70				24,74	575
600	PNNL-25	3	100	150	96	147	2990	16,1	14,0	70				23,96	568
601	PNNL-01	3	100	150	94	146	2994	15,1	13,9	93				26,24	639
602	PNNL-02	3	100	150	97	147	2994	19,4	16,0	93				23,58	552
603	PNNL-03	3	100	150	97	148	2995	26,6	18,3	93				23,56	548
604	PNNL-04	3	100	150	95	146	2994	14,4	13,5	93				26,54	639
605	PNNL-05	3	100	150	96	146	2995	15,8	14,0	93				27,48	655
606	PNNL-06	3	100	150	96	148	2995	17,7	13,8	93				27,12	637
607	PNNL-07	3	100	150	97	148	2991	16,5	13,9	93				23,34	544
608	PNNL-08	3	100	150	97	146	2990	13,5	12,6	93				23,98	566
609	PNNL-09	3	100	150	96	148	2992	21,0	17,9	93				24,00	565
610	PNNL-10	3	100	150	95	148	2991	15,0	12,9	93				24,28	577
611	PNNL-11	3	100	150	96	146	2994	16,6	14,6	93				23,10	550
612	PNNL-12	3	100	150	97	147	2991	13,5	12,5	93				22,56	529
613	PNNL-13	3	100	150	97	147	2989	15,3	11,9	93				25,48	598
614	PNNL-14	3	100	150	97	147	2987	16,8	14,3	93				24,98	587
615	PNNL-15	3	100	150	98	146	2989	13,9	12,5	93				23,50	549
616	PNNL-16	3	100	150	95	146	2992	16,3	15,7	93				26,48	638
617	PNNL-17	3	100	150	95	145	2990	14,0	12,2	93				22,48	546
618	PNNL-18	3	100	150	95	148	2993	14,5	12,7	93				22,38	532
619	PNNL-19	3	100	150	95	145	2991	15,0	13,2	93				23,44	569
620	PNNL-20	3	100	150	97	148	2990	16,1	14,9	93				24,94	581
621	PNNL-21	3	100	150	98	147	2987	15,7	12,4	93				25,02	581
622	PNNL-22	3	100	150	97	147	2993	20,7	15,4	93				26,16	613
623	PNNL-23	3	100	150	95	144	2987	14,2	12,8	93				22,28	545
624	PNNL-24	3	100	150	96	145	2995	15,0	13,0	93				24,38	585
625	PNNL-25	3	100	150	95	145	2989	14,9	12,2	93				23,60	573
626	PNNL-01	3	100	150	95	145	2994	14,1	13,0	108				26,02	631
627	PNNL-02	3	100	150	96	148	2993	17,0	14,0	108				23,18	545
628	PNNL-03	3	100	150	98	147	2994	18,5	14,8	108				22,88	530
629	PNNL-04	3	100	150	95	147	2993	13,3	12,2	108				26,22	627
630	PNNL-05	3	100	150	96	147	2995	14,2	12,4	108				27,10	641
631	PNNL-06	3	100	150	96	147	2994	16,0	12,2	108				26,74	633
632	PNNL-07	3	100	150	97	148	2991	14,9	12,1	108				22,96	535
633	PNNL-08	3	100	150	98	107	2989	12,6	11,6	108				23,76	758
634	PNNL-09	3	100	150	97	148	2988	17,4	15,0	108				23,40	546
635	PNNL-10	3	100	150	96	148	2991	13,8	12,0	108				24,08	567
636	PNNL-11	3	100	150	98	147	2993	14,7	13,1	108				22,80	529
637	PNNL-12	3	100	150	99	147	2991	12,2	11,6	108				22,38	514
638	PNNL-13	3	100	150	98	146	2988	13,6	10,8	108				25,22	590
639	PNNL-14	3	100	150	99	147	2986	15,0	12,7	108				24,64	567
640	PNNL-15	3	100	150	100	146	2986	13,0	11,5	108				23,30	534
641	PNNL-16	3	100	150	95	146	2992	14,9	14,1	108				26,12	629
642	PNNL-17	3	100	150	96	145	2991	12,7	11,6	108				22,36	537

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
643	PNNL-18	3	100	150	96	149	2993	13,3	12,2	108				22,28	520
644	PNNL-19	3	100	150	96	147	2992	13,6	12,7	108				23,34	553
645	PNNL-20	3	100	150	97	148	2991	14,3	14,6	108				24,86	579
646	PNNL-21	3	100	150	99	148	2987	14,4	11,8	108				24,88	568
647	PNNL-22	3	100	150	97	147	2993	18,3	14,0	108				25,84	605
648	PNNL-23	3	100	150	95	146	2987	12,7	11,9	108				22,12	534
649	PNNL-24	3	100	150	96	147	2995	13,9	12,4	108				24,24	574
650	PNNL-25	3	100	150	97	146	2990	13,8	11,9	108				23,52	555
651	PNNL-01	3	100	150	94	143	2994	12,2	10,9	129				25,54	635
652	PNNL-02	3	100	150	96	147	2994	14,0	11,0	129				22,56	534
653	PNNL-03	3	100	150	97	147	2994	14,2	11,6	129				22,24	521
654	PNNL-04	3	100	150	94	146	2992	11,3	10,2	129				25,76	627
655	PNNL-05	3	100	150	95	146	2994	12,0	10,4	129				26,62	641
656	PNNL-06	3	100	150	96	146	2993	13,1	9,9	129				26,20	625
657	PNNL-07	3	100	150	97	148	2990	12,2	10,1	129				22,56	526
658	PNNL-08	3	100	150	97	146	2990	10,6	9,9	129				23,40	553
659	PNNL-09	3	100	150	97	146	2986	14,1	12,0	129				22,80	539
660	PNNL-10	3	100	150	94	148	2991	11,7	9,9	129				23,64	568
661	PNNL-11	3	100	150	95	145	2992	12,2	10,7	129				22,32	542
662	PNNL-12	3	100	150	97	146	2991	10,0	9,7	129				21,98	519
663	PNNL-13	3	100	150	97	145	2988	11,4	9,0	129				24,82	591
664	PNNL-14	3	100	150	97	146	2987	12,5	10,2	129				24,08	569
665	PNNL-15	3	100	150	97	146	2986	11,3	10,0	129				22,98	543
666	PNNL-16	3	100	150	94	144	2993	12,7	12,0	129				25,64	633
667	PNNL-17	3	100	150	94	145	2991	11,2	9,8	129				22,00	540
668	PNNL-18	3	100	150	94	146	2993	11,9	10,6	129				21,96	535
669	PNNL-19	3	100	150	94	147	2995	12,1	10,6	129				22,90	553
670	PNNL-20	3	100	150	96	146	2990	12,4	12,6	129				24,44	583
671	PNNL-21	3	100	150	98	143	2987	12,6	9,7	129				24,42	583
672	PNNL-22	3	100	150	95	146	2992	14,9	11,0	129				25,18	607
673	PNNL-23	3	100	150	94	145	2986	10,8	9,8	129				21,70	533
674	PNNL-24	3	100	150	95	145	2995	12,3	10,4	129				23,82	577
675	PNNL-25	3	100	150	96	146	2989	12,1	10,0	129				23,12	552
676	PNNL-01	3	100	150	93	144	2993	11,4	11,0	142				25,56	638
677	PNNL-02	3	100	150	96	147	2994	12,9	10,8	142				22,52	533
678	PNNL-03	3	100	150	96	145	2993	12,9	11,5	142				22,22	533
679	PNNL-04	3	100	150	94	145	2992	10,6	10,5	142				25,82	633
680	PNNL-05	3	100	150	94	145	2993	11,1	10,6	142				26,66	654
681	PNNL-06	3	100	150	96	146	2992	12,2	10,0	142				26,22	625
682	PNNL-07	3	100	150	97	147	2989	11,4	10,3	142				22,60	530
683	PNNL-08	3	100	150	96	146	2987	9,9	10,0	142				23,44	560
684	PNNL-09	3	100	150	96	146	2987	12,8	11,7	142				22,74	543
685	PNNL-10	3	100	150	94	147	2990	10,8	10,2	142				23,70	574
686	PNNL-11	3	100	150	94	144	2992	11,3	10,8	142				22,34	552
687	PNNL-12	3	100	150	96	148	2990	9,1	10,1	142				22,06	519
688	PNNL-13	3	100	150	96	145	2987	10,8	9,4	142				24,90	599
689	PNNL-14	3	100	150	96	144	2984	11,4	10,5	142				24,16	586
690	PNNL-15	3	100	150	97	146	2986	10,6	10,3	142				23,04	545
691	PNNL-16	3	100	150	94	146	2992	12,1	12,0	142				25,64	624
692	PNNL-17	3	100	150	94	144	2990	9,8	10,2	142				22,08	546
693	PNNL-18	3	100	150	95	146	2993	11,0	10,7	142				21,98	529
694	PNNL-19	3	100	150	95	147	2991	11,3	10,9	142				22,98	550
695	PNNL-20	3	100	150	97	147	2991	11,2	12,8	142				24,48	574
696	PNNL-21	3	100	150	96	144	2987	11,7	10,3	142				24,54	594
697	PNNL-22	3	100	150	95	145	2992	13,4	11,0	142				25,18	611
698	PNNL-23	3	100	150	95	143	2987	9,5	10,2	142				21,78	537
699	PNNL-24	3	100	150	94	143	2994	11,5	10,7	142				23,88	593
700	PNNL-25	3	100	150	95	146	2988	11,2	10,2	142				23,18	559
701	PNNL-01	3	100	150	93	143	2992	9,8	10,2	171	67	324	0,20	25,38	638
702	PNNL-02	3	100	150	95	147	2992	10,5	9,7	171	67	324	0,14	22,30	534
703	PNNL-03	3	100	150	96	144	2992	10,4	10,2	171	67	324	0,32	21,96	531
704	PNNL-04	3	100	150	94	146	2991	8,9	9,7	171	67	324	0,55	25,64	625
705	PNNL-05	3	100	150	95	144	2993	9,2	9,6	171	67	324	0,20	26,42	645
706	PNNL-06	3	100	150	95	147	2992	9,8	9,4	171	67	324	0,22	26,08	624
707	PNNL-07	3	100	150	97	147	2989	9,1	9,4	171	67	324	0,14	22,42	526
708	PNNL-08	3	100	150	97	145	2989	7,1	9,0	171	67	324	0,16	23,22	552
709	PNNL-09	3	100	150	95	146	2986	10,4	10,1	171	64	324	0,16	22,42	541
710	PNNL-10	3	100	150	94	146	2987	9,0	9,2	171	67	324	0,19	23,48	573
711	PNNL-11	3	100	150	94	144	2992	9,5	9,7	171	67	324	0,20	22,12	546
712	PNNL-12	3	100	150	97	145	2989	7,1	8,9	171	67	324	0,13	21,82	519
713	PNNL-13	3	100	150	95	144	2985	8,6	8,5	171	67	324	0,18	24,70	605
714	PNNL-14	3	100	150	96	145	2983	9,5	9,3	171	67	324	0,24	23,88	575

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
715	PNNL-15	3	100	150	97	145	2984	9,3	9,1	171	67	324	0,24	22,80	543
716	PNNL-16	3	100	150	94	145	2992	10,2	10,8	171	67	324	0,14	25,36	622
717	PNNL-17	3	100	150	94	143	2989	8,3	9,3	171	67	324	0,23	21,90	545
718	PNNL-18	3	100	150	94	145	2990	9,7	9,8	171	64	324	0,19	21,80	535
719	PNNL-19	3	100	150	95	147	2990	9,9	10,0	171	67	324	0,05	22,78	546
720	PNNL-20	3	100	150	96	146	2989	9,7	11,7	171	67	324	0,30	24,24	579
721	PNNL-21	3	100	150	97	144	2985	10,2	9,2	171	67	324	0,18	24,30	583
722	PNNL-22	3	100	150	95	144	2991	11,2	10,3	171	64	321	0,22	25,00	611
723	PNNL-23	3	100	150	94	143	2985	8,1	9,3	171	67	324	0,23	21,60	538
724	PNNL-24	3	100	150	95	143	2994	10,3	10,0	171	64	324	0,13	23,72	583
725	PNNL-25	3	100	150	94	145	2987	9,9	9,6	171	67	324	0,30	23,04	566
726	PNPN-01	4	100	150	100	151	2994	27,5	37,6	0	64	322	0,24	31,26	691
727	PNPN-02	4	100	150	100	151	2996	26,2	42,0	0	67	321	0,30	28,78	636
728	PNPN-03	4	100	150	99	150	2998	27,0	36,5	0	64	322	0,25	28,52	641
729	PNPN-04	4	100	150	99	150	2996	31,8	29,7	0	64	322	0,31	28,16	633
730	PNPN-05	4	100	150	99	150	2997	26,1	50,0	0	64	324	0,29	31,84	715
731	PNPN-06	4	100	150	99	150	2997	31,8	41,0	0	64	322	0,26	30,24	679
732	PNPN-07	4	100	150	99	149	2992	28,5	31,1	0	64	321	0,31	28,58	648
733	PNPN-08	4	100	150	97	149	2997	28,9	29,7	0	64	321	0,15	26,74	617
734	PNPN-09	4	100	150	98	149	2994	36,5	67,1	0	64	321	0,29	31,98	731
735	PNPN-10	4	100	150	98	147	3002	28,0	39,4	0	67	321	0,24	26,86	621
736	PNPN-11	4	100	150	97	149	2996	34,8	31,6	0	64	322	0,37	28,24	652
737	PNPN-12	4	100	150	97	149	2998	31,7	31,1	0	64	324	0,25	28,10	649
738	PNPN-13	4	100	150	96	149	2989	34,9	33,0	0	64	322	0,22	27,24	637
739	PNPN-14	4	100	150	98	149	2995	28,6	31,8	0	64	321	0,20	25,16	575
740	PNPN-15	4	100	150	97	148	2993	42,1	38,1	0	64	321	0,34	31,70	738
741	PNPN-16	4	100	150	97	148	2995	31,6	31,4	0	64	322	0,21	28,22	656
742	PNPN-17	4	100	150	97	147	2995	25,2	73,3	0	64	322	0,17	38,44	900
743	PNPN-18	4	100	150	96	146	2995	28,2	60,6	0	67	322	0,24	31,90	760
744	PNPN-19	4	100	150	97	147	2993	28,4	38,7	0	64	321	0,39	28,44	666
745	PNPN-20	4	100	150	95	146	2995	30,0	31,7	0	64	322	0,29	27,50	662
746	PNPN-21	4	100	150	96	147	2994	25,3	29,3	0	64	322	0,25	26,30	622
747	PNPN-22	4	100	150	95	147	2992	24,8	47,2	0	64	322	0,17	29,14	697
748	PNPN-23	4	100	150	95	146	2997	29,1	31,4	0	64	322	0,14	29,24	703
749	PNPN-24	4	100	150	95	146	2998	29,5	59,4	0	64	322	0,15	34,34	826
750	PNPN-25	4	100	150	97	149	2993	29,9	34,4	0	64	321	0,28	27,24	630
751	PNPN-01	4	100	150	98	149	2994	21,4	24,2	22				28,22	645
752	PNPN-02	4	100	150	97	149	2994	20,4	22,2	22				24,76	572
753	PNPN-03	4	100	150	98	150	2997	22,0	23,6	22				25,82	586
754	PNPN-04	4	100	150	98	150	2993	21,0	23,3	22				26,76	608
755	PNPN-05	4	100	150	98	150	2997	22,3	26,4	22				26,82	609
756	PNPN-06	4	100	150	97	149	2995	23,4	26,1	22				27,04	625
757	PNPN-07	4	100	150	98	149	2992	22,0	24,1	22				27,06	619
758	PNPN-08	4	100	150	97	149	2999	21,8	22,9	22				25,34	585
759	PNPN-09	4	100	150	98	150	2995	24,4	30,0	22				24,88	565
760	PNPN-10	4	100	150	97	149	3005	21,1	22,5	22				23,60	543
761	PNPN-11	4	100	150	98	149	2996	24,7	23,3	22				26,46	605
762	PNPN-12	4	100	150	97	150	2998	21,9	22,9	22				26,34	604
763	PNPN-13	4	100	150	96	149	2990	24,7	23,7	22				25,34	592
764	PNPN-14	4	100	150	97	149	2996	21,8	22,0	22				23,28	538
765	PNPN-15	4	100	150	98	150	2995	28,3	28,6	22				29,54	671
766	PNPN-16	4	100	150	98	149	2996	23,6	23,6	22				26,54	607
767	PNPN-17	4	100	150	98	148	2997	23,1	43,8	22				31,90	734
768	PNPN-18	4	100	150	97	148	2997	24,1	25,5	22				24,94	580
769	PNPN-19	4	100	150	97	148	2993	22,8	25,1	22				25,66	597
770	PNPN-20	4	100	150	95	148	2996	23,5	22,2	22				25,52	606
771	PNPN-21	4	100	150	95	147	2993	21,5	21,4	22				24,70	591
772	PNPN-22	4	100	150	96	148	2993	21,3	22,4	22				24,22	570
773	PNPN-23	4	100	150	96	148	2999	23,1	23,0	22				27,36	642
774	PNPN-24	4	100	150	96	147	2999	23,0	24,3	22				26,78	633
775	PNPN-25	4	100	150	97	149	2994	22,9	24,0	22				25,12	581
776	PNPN-01	4	100	150	97	149	2993	20,5	20,9	35				27,46	635
777	PNPN-02	4	100	150	96	148	2992	18,4	18,4	35				24,00	565
778	PNPN-03	4	100	150	97	149	2996	21,4	20,0	35				25,08	579
779	PNPN-04	4	100	150	98	150	2991	19,7	19,7	35				25,98	591
780	PNPN-05	4	100	150	98	147	2995	20,2	20,0	35				25,46	590
781	PNPN-06	4	100	150	97	149	2994	22,7	22,0	35				26,16	605
782	PNPN-07	4	100	150	98	147	2991	21,2	21,0	35				26,38	612
783	PNPN-08	4	100	150	97	149	2995	20,9	19,8	35				24,70	571
784	PNPN-09	4	100	150	97	149	2995	20,2	22,8	35				23,50	543
785	PNPN-10	4	100	150	98	149	3002	19,8	19,3	35				23,00	525
786	PNPN-11	4	100	150	98	149	2996	22,8	20,3	35				25,82	590

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
787	PNPN-12	4	100	150	96	150	2998	20,7	20,1	35				25,74	596
788	PNPN-13	4	100	150	96	149	2992	23,0	20,5	35				24,68	577
789	PNPN-14	4	100	150	97	148	2996	19,8	19,0	35				22,72	528
790	PNPN-15	4	100	150	98	150	2993	26,4	24,8	35				28,66	651
791	PNPN-16	4	100	150	98	148	2995	22,0	20,2	35				25,82	594
792	PNPN-17	4	100	150	99	148	2997	26,6	34,6	35				29,86	680
793	PNPN-18	4	100	150	97	148	2996	23,0	22,1	35				24,26	564
794	PNPN-19	4	100	150	98	149	2992	21,5	22,3	35				25,08	574
795	PNPN-20	4	100	150	96	147	2995	21,9	20,2	35				25,10	594
796	PNPN-21	4	100	150	95	147	2994	20,3	19,6	35				24,32	582
797	PNPN-22	4	100	150	95	147	2994	20,3	19,6	35				23,68	566
798	PNPN-23	4	100	150	95	147	2999	21,6	20,9	35				26,90	642
799	PNPN-24	4	100	150	95	146	2999	21,2	21,3	35				26,14	628
800	PNPN-25	4	100	150	97	150	2992	21,2	21,1	35				24,54	564
801	PNPN-01	4	100	150	97	148	2994	18,8	18,5	47				26,92	626
802	PNPN-02	4	100	150	96	148	2992	16,8	16,3	47				23,58	555
803	PNPN-03	4	100	150	97	149	2996	19,6	17,8	47				24,62	569
804	PNPN-04	4	100	150	98	149	2992	18,2	17,7	47				25,54	585
805	PNPN-05	4	100	150	98	147	2995	18,0	17,4	47				24,92	578
806	PNPN-06	4	100	150	97	149	2994	20,5	19,3	47				25,58	591
807	PNPN-07	4	100	150	97	147	2990	19,7	18,9	47				25,92	608
808	PNPN-08	4	100	150	97	147	2995	19,0	17,7	47				24,26	568
809	PNPN-09	4	100	150	96	148	2994	18,4	19,0	47				22,78	536
810	PNPN-10	4	100	150	98	149	3003	18,0	16,8	47				22,50	513
811	PNPN-11	4	100	150	98	149	2996	20,5	17,8	47				25,28	578
812	PNPN-12	4	100	150	96	149	2998	19,1	17,6	47				25,22	588
813	PNPN-13	4	100	150	95	149	2989	20,5	17,9	47				24,14	571
814	PNPN-14	4	100	150	97	148	2995	18,1	16,7	47				22,28	518
815	PNPN-15	4	100	150	98	149	2993	23,5	21,7	47				27,94	639
816	PNPN-16	4	100	150	98	147	2995	19,7	17,8	47				25,30	586
817	PNPN-17	4	100	150	98	147	2997	23,8	26,9	47				28,16	652
818	PNPN-18	4	100	150	97	147	2996	20,6	18,8	47				23,60	552
819	PNPN-19	4	100	150	98	148	2991	19,8	19,0	47				24,40	562
820	PNPN-20	4	100	150	96	148	2995	20,4	17,6	47				24,56	577
821	PNPN-21	4	100	150	95	145	2994	18,9	17,2	47				23,84	578
822	PNPN-22	4	100	150	95	146	2994	18,7	16,9	47				23,14	557
823	PNPN-23	4	100	150	95	147	2999	20,0	18,3	47				26,32	628
824	PNPN-24	4	100	150	95	145	2999	19,4	18,3	47				25,50	617
825	PNPN-25	4	100	150	97	149	2992	19,2	18,0	47				23,90	553
826	PNPN-01	4	100	150	96	147	2994	17,5	16,5	61				26,46	626
827	PNPN-02	4	100	150	95	147	2992	15,7	14,7	61				23,24	556
828	PNPN-03	4	100	150	97	148	2995	18,4	15,8	61				24,20	563
829	PNPN-04	4	100	150	97	148	2990	17,4	15,6	61				25,10	585
830	PNPN-05	4	100	150	97	145	2995	16,4	15,3	61				24,46	581
831	PNPN-06	4	100	150	95	147	2993	17,9	17,1	61				25,12	601
832	PNPN-07	4	100	150	97	146	2990	17,1	16,8	61				25,46	601
833	PNPN-08	4	100	150	96	146	2994	17,8	15,8	61				23,86	569
834	PNPN-09	4	100	150	96	147	2994	16,5	16,4	61				22,28	527
835	PNPN-10	4	100	150	96	147	3003	16,9	15,1	61				22,18	523
836	PNPN-11	4	100	150	97	149	2995	18,7	16,0	61				24,90	575
837	PNPN-12	4	100	150	96	149	2998	17,9	16,0	61				24,86	580
838	PNPN-13	4	100	150	95	148	2988	18,7	16,1	61				23,78	566
839	PNPN-14	4	100	150	96	147	2995	17,0	15,1	61				21,98	520
840	PNPN-15	4	100	150	97	149	2992	21,2	19,2	61				27,36	633
841	PNPN-16	4	100	150	97	146	2994	18,0	15,8	61				24,86	586
842	PNPN-17	4	100	150	98	146	2996	21,6	21,1	61				26,86	627
843	PNPN-18	4	100	150	96	146	2995	18,6	17,3	61				23,30	555
844	PNPN-19	4	100	150	97	147	2990	17,9	17,3	61				24,06	564
845	PNPN-20	4	100	150	95	147	2995	19,1	16,4	61				24,30	581
846	PNPN-21	4	100	150	94	145	2992	17,8	16,1	61				23,62	579
847	PNPN-22	4	100	150	95	145	2992	17,5	15,6	61				22,88	555
848	PNPN-23	4	100	150	94	145	2999	18,7	17,1	61				26,06	638
849	PNPN-24	4	100	150	95	145	2999	18,2	17,0	61				25,20	610
850	PNPN-25	4	100	150	97	148	2992	17,5	16,2	61				23,54	548
851	PNPN-01	4	100	150	96	147	2994	16,1	14,6	75				26,04	616
852	PNPN-02	4	100	150	95	147	2991	14,2	13,1	75				22,92	549
853	PNPN-03	4	100	150	97	148	2995	17,0	14,1	75				23,84	554
854	PNPN-04	4	100	150	97	148	2990	16,1	14,1	75				24,76	577
855	PNPN-05	4	100	150	97	145	2994	14,4	13,8	75				24,16	574
856	PNPN-06	4	100	150	96	146	2993	17,1	15,3	75				24,72	589
857	PNPN-07	4	100	150	96	146	2990	17,1	15,2	75				25,12	599
858	PNPN-08	4	100	150	96	146	2994	16,4	14,1	75				23,52	560

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
859	PNPN-09	4	100	150	96	147	2993	14,4	13,8	75				21,78	516
860	PNPN-10	4	100	150	96	147	3002	15,5	13,4	75				21,86	516
861	PNPN-11	4	100	150	97	148	2994	17,5	14,1	75				24,50	570
862	PNPN-12	4	100	150	95	149	2998	16,5	13,9	75				24,42	575
863	PNPN-13	4	100	150	95	148	2988	17,1	13,9	75				23,32	555
864	PNPN-14	4	100	150	96	146	2995	15,4	13,4	75				21,64	516
865	PNPN-15	4	100	150	97	149	2991	18,9	16,2	75				26,68	617
866	PNPN-16	4	100	150	97	146	2994	16,5	13,7	75				24,42	576
867	PNPN-17	4	100	150	97	145	2994	18,7	16,2	75				25,78	612
868	PNPN-18	4	100	150	95	146	2995	17,1	14,9	75				22,82	549
869	PNPN-19	4	100	150	97	147	2990	16,4	15,0	75				23,58	553
870	PNPN-20	4	100	150	95	147	2995	17,5	14,3	75				23,86	570
871	PNPN-21	4	100	150	94	144	2992	16,5	14,0	75				23,20	573
872	PNPN-22	4	100	150	94	145	2992	16,1	13,6	75				22,48	551
873	PNPN-23	4	100	150	94	145	2999	17,5	14,7	75				25,52	624
874	PNPN-24	4	100	150	95	144	2998	16,9	14,7	75				24,72	603
875	PNPN-25	4	100	150	97	148	2990	16,2	14,1	75				23,12	539
876	PNPN-01	4	100	150	96	146	2991	14,8	13,4	89				25,76	614
877	PNPN-02	4	100	150	95	147	2991	12,9	11,7	89				22,64	542
878	PNPN-03	4	100	150	96	148	2995	15,9	12,7	89				23,54	553
879	PNPN-04	4	100	150	97	148	2990	15,2	12,8	89				24,48	570
880	PNPN-05	4	100	150	97	144	2994	13,2	12,1	89				23,80	569
881	PNPN-06	4	100	150	95	145	2992	16,0	13,5	89				24,34	591
882	PNPN-07	4	100	150	96	145	2990	16,0	14,0	89				24,86	597
883	PNPN-08	4	100	150	95	145	2993	15,3	13,0	89				23,30	565
884	PNPN-09	4	100	150	95	146	2993	13,0	12,5	89				21,52	518
885	PNPN-10	4	100	150	96	147	3002	14,3	12,3	89				21,64	511
886	PNPN-11	4	100	150	97	147	2994	16,3	12,5	89				24,14	565
887	PNPN-12	4	100	150	95	149	2998	15,4	13,0	89				24,22	571
888	PNPN-13	4	100	150	94	148	2987	15,7	12,4	89				23,02	554
889	PNPN-14	4	100	150	96	145	2994	14,3	12,1	89				21,40	513
890	PNPN-15	4	100	150	97	149	2990	17,1	14,4	89				26,26	608
891	PNPN-16	4	100	150	97	145	2993	15,2	12,2	89				24,10	572
892	PNPN-17	4	100	150	97	143	2993	16,1	14,0	89				25,28	609
893	PNPN-18	4	100	150	95	146	2995	15,7	13,4	89				22,52	542
894	PNPN-19	4	100	150	97	147	2988	15,1	12,7	89				23,10	542
895	PNPN-20	4	100	150	95	146	2995	16,4	12,9	89				23,58	568
896	PNPN-21	4	100	150	94	144	2991	15,4	13,1	89				23,00	568
897	PNPN-22	4	100	150	94	145	2992	15,0	12,2	89				22,20	544
898	PNPN-23	4	100	150	94	145	2999	16,3	13,7	89				25,30	619
899	PNPN-24	4	100	150	94	143	2998	15,6	13,4	89				24,44	606
900	PNPN-25	4	100	150	97	148	2990	14,8	12,6	89				22,82	532
901	PNPN-01	4	100	150	96	145	2991	13,5	12,0	110				25,44	611
902	PNPN-02	4	100	150	95	146	2990	11,7	10,7	110				22,44	541
903	PNPN-03	4	100	150	96	148	2994	14,6	11,6	110				23,32	548
904	PNPN-04	4	100	150	97	148	2990	14,1	11,5	110				24,20	564
905	PNPN-05	4	100	150	97	144	2994	11,7	11,0	110				23,56	563
906	PNPN-06	4	100	150	95	145	2992	14,7	11,8	110				23,98	582
907	PNPN-07	4	100	150	96	144	2989	14,6	12,7	110				24,58	595
908	PNPN-08	4	100	150	95	145	2993	14,0	11,8	110				23,04	559
909	PNPN-09	4	100	150	95	146	2992	11,2	10,9	110				21,22	511
910	PNPN-10	4	100	150	96	147	3002	13,1	11,2	110				21,42	506
911	PNPN-11	4	100	150	97	147	2993	15,1	11,3	110				23,88	560
912	PNPN-12	4	100	150	95	149	2996	14,1	11,1	110				23,82	562
913	PNPN-13	4	100	150	94	148	2986	14,2	11,2	110				22,78	548
914	PNPN-14	4	100	150	96	145	2995	13,0	10,7	110				21,14	507
915	PNPN-15	4	100	150	96	148	2989	13,7	12,6	110				25,86	609
916	PNPN-16	4	100	150	96	145	2993	13,8	11,0	110				23,84	572
917	PNPN-17	4	100	150	96	142	2993	13,3	11,5	110				24,74	606
918	PNPN-18	4	100	150	95	145	2995	14,4	11,8	110				22,22	539
919	PNPN-19	4	100	150	97	146	2988	13,8	11,3	110				22,82	539
920	PNPN-20	4	100	150	95	146	2994	15,2	11,5	110				23,28	561
921	PNPN-21	4	100	150	94	143	2990	14,3	11,4	110				22,66	564
922	PNPN-22	4	100	150	94	144	2992	13,7	11,0	110				21,98	543
923	PNPN-23	4	100	150	93	145	2999	15,1	11,9	110				24,90	616
924	PNPN-24	4	100	150	94	143	2998	14,4	11,9	110				24,10	598
925	PNPN-25	4	100	150	97	147	2989	13,4	11,1	110				22,52	528
926	PNPN-01	4	100	150	96	145	2991	12,0	10,9	132				25,20	605
927	PNPN-02	4	100	150	95	146	2989	10,1	9,8	132				22,26	537
928	PNPN-03	4	100	150	96	148	2994	13,2	10,4	132				23,08	543
929	PNPN-04	4	100	150	97	148	2987	13,0	10,7	132				24,02	560
930	PNPN-05	4	100	150	97	143	2993	10,3	10,2	132				23,38	563

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
931	PNPN-06	4	100	150	95	144	2992	13,5	11,3	132				23,86	583
932	PNPN-07	4	100	150	96	144	2989	13,4	11,9	132				24,40	591
933	PNPN-08	4	100	150	95	145	2992	12,9	11,1	132				22,90	556
934	PNPN-09	4	100	150	95	145	2991	9,8	10,0	132				21,04	511
935	PNPN-10	4	100	150	96	146	3000	11,9	10,3	132				21,26	506
936	PNPN-11	4	100	150	97	147	2993	13,8	10,1	132				23,64	554
937	PNPN-12	4	100	150	95	148	2996	12,8	10,3	132				23,64	561
938	PNPN-13	4	100	150	93	148	2986	12,9	10,4	132				22,62	550
939	PNPN-14	4	100	150	96	144	2993	11,8	10,2	132				21,04	509
940	PNPN-15	4	100	150	96	147	2988	13,5	11,5	132				25,60	607
941	PNPN-16	4	100	150	96	145	2992	12,5	9,9	132				23,60	567
942	PNPN-17	4	100	150	95	141	2993	11,3	10,4	132				24,48	611
943	PNPN-18	4	100	150	97	145	2994	12,7	11,1	132				22,08	524
944	PNPN-19	4	100	150	97	146	2986	12,5	11,2	132				22,80	539
945	PNPN-20	4	100	150	94	146	2994	13,9	10,7	132				23,12	563
946	PNPN-21	4	100	150	94	142	2990	13,1	11,1	132				22,60	566
947	PNPN-22	4	100	150	94	144	2992	12,5	10,5	132				21,88	540
948	PNPN-23	4	100	150	93	145	2998	13,9	11,3	132				24,76	612
949	PNPN-24	4	100	150	93	142	2998	13,2	11,2	132				23,96	605
950	PNPN-25	4	100	150	97	147	2988	11,9	10,6	132				22,40	526
951	PNPN-01	4	100	150	95	144	2990	10,4	9,6	159				24,90	609
952	PNPN-02	4	100	150	95	145	2989	8,6	8,8	159				22,06	536
953	PNPN-03	4	100	150	95	147	2994	11,5	9,5	159				22,88	547
954	PNPN-04	4	100	150	97	148	2987	11,6	9,4	159				23,74	554
955	PNPN-05	4	100	150	97	143	2991	8,4	8,9	159				23,12	557
956	PNPN-06	4	100	150	95	144	2990	11,7	9,6	159				25,50	575
957	PNPN-07	4	100	150	95	143	2988	11,8	10,3	159				24,06	593
958	PNPN-08	4	100	150	95	144	2990	11,2	9,6	159				22,60	553
959	PNPN-09	4	100	150	95	145	2990	8,0	8,8	159				20,82	505
960	PNPN-10	4	100	150	96	146	3000	10,2	9,1	159				21,02	500
961	PNPN-11	4	100	150	97	147	2992	12,2	8,7	159				23,34	547
962	PNPN-12	4	100	150	94	148	2996	11,0	8,9	159				23,34	560
963	PNPN-13	4	100	150	93	147	2985	11,2	8,9	159				22,30	546
964	PNPN-14	4	100	150	96	144	2993	10,1	9,0	159				20,80	503
965	PNPN-15	4	100	150	95	147	2986	11,4	10,1	159				25,28	606
966	PNPN-16	4	100	150	96	144	2991	10,7	8,9	159				23,38	565
967	PNPN-17	4	100	150	95	140	2993	8,9	8,6	159				24,08	605
968	PNPN-18	4	100	150	97	145	2994	11,2	9,6	159				21,78	517
969	PNPN-19	4	100	150	97	146	2986	10,8	9,4	159				22,44	531
970	PNPN-20	4	100	150	94	146	2994	12,3	9,4	159				22,84	556
971	PNPN-21	4	100	150	94	142	2990	11,6	9,6	159				22,30	559
972	PNPN-22	4	100	150	94	144	2992	11,0	9,0	159				21,58	533
973	PNPN-23	4	100	150	94	144	2999	12,3	9,8	159				24,44	602
974	PNPN-24	4	100	150	93	142	2998	11,5	9,7	159				23,64	597
975	PNPN-25	4	100	150	97	146	2987	10,1	9,2	159				22,12	523
976	PNPN-01	4	100	150	95	144	2990	10,0	9,5	180	67	324	0,25	24,88	608
977	PNPN-02	4	100	150	94	145	2989	7,8	9,0	180	67	324	0,32	22,10	542
978	PNPN-03	4	100	150	95	146	2994	10,6	9,3	180	67	324	0,26	22,84	550
979	PNPN-04	4	100	150	96	148	2987	7,7	9,2	180	67	324	0,32	23,70	558
980	PNPN-05	4	100	150	96	142	2989	7,7	8,8	180	64	324	0,31	23,10	567
981	PNPN-06	4	100	150	94	143	2990	10,8	9,4	180	67	324	0,27	23,46	584
982	PNPN-07	4	100	150	95	143	2988	11,0	10,5	180	67	324	0,32	24,10	594
983	PNPN-08	4	100	150	95	143	2990	10,3	9,5	180	67	324	0,16	22,58	556
984	PNPN-09	4	100	150	95	144	2990	7,5	8,9	180	67	324	0,30	20,84	509
985	PNPN-10	4	100	150	96	145	2999	9,5	9,3	180	67	321	0,25	21,06	504
986	PNPN-11	4	100	150	96	146	2992	11,3	8,8	180	67	324	0,38	23,36	557
987	PNPN-12	4	100	150	94	148	2995	10,4	9,0	180	67	324	0,26	23,36	561
988	PNPN-13	4	100	150	93	147	2984	10,5	8,7	180	67	324	0,23	22,26	546
989	PNPN-14	4	100	150	95	144	2993	9,6	9,0	180	67	324	0,20	20,80	508
990	PNPN-15	4	100	150	95	147	2986	10,8	9,6	180	67	324	0,35	25,16	603
991	PNPN-16	4	100	150	96	143	2991	10,1	8,8	180	67	324	0,22	23,36	569
992	PNPN-17	4	100	150	95	140	2993	8,1	8,6	180	64	322	0,18	24,10	605
993	PNPN-18	4	100	150	94	145	2994	10,5	9,3	180	64	322	0,24	21,72	532
994	PNPN-19	4	100	150	96	145	2986	10,1	9,4	180	67	324	0,40	22,44	540
995	PNPN-20	4	100	150	94	146	2994	11,6	9,5	180	67	324	0,29	22,86	556
996	PNPN-21	4	100	150	93	142	2989	10,8	9,3	180	67	324	0,25	22,24	563
997	PNPN-22	4	100	150	93	143	2991	10,2	8,9	180	64	322	0,17	21,56	542
998	PNPN-23	4	100	150	91	144	2997	11,4	9,5	180	67	324	0,15	24,36	620
999	PNPN-24	4	100	150	92	142	2997	10,6	9,5	180	67	324	0,16	23,60	603
1000	PNPN-25	4	100	150	96	144	2985	9,3	9,0	180	67	324	0,29	22,08	535

B.2.2 Mediciones con equipos no destructivos

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusi	Vusi	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
1	PNRD-01	1	600	4989	560	5341			600	4985	715	4277	722	4319
2	PNRD-02	1	628	4758	581	5143			633	4720	716	4276	722	4315
3	PNRD-03	1	643	4666	597	5022			641	4681	680	4080	683	4095
4	PNRD-04	1	619	4845	572	5243			625	4798	693	4158	698	4187
5	PNRD-05	1	744	4032	717	4181			733	4090	576	3454	581	3484
6	PNRD-06	1	649	4618	627	4784			636	4712	633	3797	644	3860
7	PNRD-07	1	709	4237	683	4399			691	4348	603	3621	605	3632
8	PNRD-08	1	573	5237	531	5657			576	5215	809	4856	815	4892
9	PNRD-09	1	652	4607	633	4749			640	4697	632	3796	639	3839
10	PNRD-10	1	638	4704	593	5065			625	4805	706	4236	708	4249
11	PNRD-11	1	702	4269	666	4497			681	4398	607	3636	610	3654
12	PNRD-12	1	702	4282	666	4514			697	4313	628	3774	630	3785
13	PNRD-13	1	642	4671	611	4912			641	4682	684	4105	688	4127
14	PNRD-14	1	706	4258	673	4467			698	4307	603	3625	610	3665
15	PNRD-15	1	603	4984	574	5236			598	5026	720	4323	727	4366
16	PNRD-16	1	580	5179	541	5552			579	5188	775	4649	776	4658
17	PNRD-17	1	646	4652	614	4894			638	4710	659	3959	659	3961
18	PNRD-18	1	697	4310	668	4497			667	4504	618	3715	620	3725
19	PNRD-19	1	684	4396	649	4634			674	4458	603	3625	620	3726
20	PNRD-20	1	748	4019	711	4225			737	4079	565	3396	571	3431
21	PNRD-21	1	594	5060	550	5460			599	5013	757	4548	761	4571
22	PNRD-22	1	597	5034	555	5411			601	5001	733	4400	737	4426
23	PNRD-23	1	715	4192	680	4407			706	4245	616	3692	625	3746
24	PNRD-24	1	687	4367	657	4570			659	4552	646	3878	654	3924
25	PNRD-25	1	693	4329	662	4529			673	4458	598	3587	605	3628
26	PNRD-01	1	579	5170	529	5659			575	5202	745	4455	747	4469
27	PNRD-02	1	600	4982	547	5464			593	5040	745	4456	752	4495
28	PNRD-03	1	612	4899	561	5344			599	5009	736	4414	742	4449
29	PNRD-04	1	601	4994	551	5443			588	5105	716	4296	722	4331
30	PNRD-05	1	689	4354	635	4725			659	4549	646	3873	649	3891
31	PNRD-06	1	639	4692	592	5064			619	4843	659	3951	659	3951
32	PNRD-07	1	646	4652	594	5060			606	4955	688	4133	693	4162
33	PNRD-08	1	557	5386	511	5871			540	5561	844	5062	854	5124
34	PNRD-09	1	617	4873	569	5279			598	5028	728	4372	727	4368
35	PNRD-10	1	599	5014	549	5466			572	5247	775	4652	781	4688
36	PNRD-11	1	618	4846	566	5292			595	5038	731	4380	737	4415
37	PNRD-12	1	658	4566	600	5003			642	4676	679	4076	683	4101
38	PNRD-13	1	605	4957	552	5433			588	5105	733	4394	737	4421
39	PNRD-14	1	626	4803	573	5247			602	4994	706	4243	712	4278
40	PNRD-15	1	579	5194	526	5713			555	5414	754	4530	761	4574
41	PNRD-16	1	567	5296	516	5820			545	5505	798	4786	805	4830
42	PNRD-17	1	587	5119	542	5549			575	5231	715	4298	722	4339
43	PNRD-18	1	670	4485	615	4883			631	4763	654	3926	659	3958
44	PNRD-19	1	638	4707	587	5112			603	4981	663	3980	669	4015
45	PNRD-20	1	717	4190	650	4618			673	4464	602	3615	605	3632
46	PNRD-21	1	567	5302	522	5764			549	5475	831	4995	834	5014
47	PNRD-22	1	572	5248	523	5745			557	5390	798	4789	805	4833
48	PNRD-23	1	614	4878	563	5320			588	5094	711	4261	717	4295
49	PNRD-24	1	632	4747	581	5165			608	4935	728	4367	737	4419
50	PNRD-25	1	638	4700	586	5117			616	4864	684	4100	688	4122
51	PNRD-01	1	562	5323	511	5855			550	5439	763	4559	766	4579
52	PNRD-02	1	574	5206	523	5719			561	5326	771	4607	776	4637
53	PNRD-03	1	583	5145	532	5639			567	5290	763	4570	771	4621
54	PNRD-04	1	580	5169	533	5630			565	5311	737	4417	752	4509
55	PNRD-05	1	619	4842	567	5290			609	4925	716	4291	722	4328
56	PNRD-06	1	616	4865	566	5295			611	4909	676	4053	683	4094
57	PNRD-07	1	589	5103	537	5597			581	5173	767	4609	776	4661
58	PNRD-08	1	541	5547	495	6069			536	5604	865	5194	869	5216
59	PNRD-09	1	593	5067	542	5539			590	5092	723	4343	732	4395
60	PNRD-10	1	576	5213	525	5714			565	5310	796	4778	800	4800
61	PNRD-11	1	570	5254	523	5732			565	5306	801	4795	805	4822
62	PNRD-12	1	643	4671	583	5148			637	4711	693	4161	688	4129
63	PNRD-13	1	588	5099	533	5625			589	5094	750	4495	756	4533
64	PNRD-14	1	582	5164	533	5634			582	5160	766	4603	771	4631
65	PNRD-15	1	563	5337	508	5915			557	5395	772	4637	776	4664
66	PNRD-16	1	553	5428	502	5974			548	5478	814	4882	820	4918

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusi	Vusi	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
67	PNRD-17	1	570	5275	523	5749			566	5307	732	4398	737	4428
68	PNRD-18	1	650	4620	602	4993			637	4714	663	3983	669	4018
69	PNRD-19	1	623	4817	571	5256			609	4932	676	4056	678	4069
70	PNRD-20	1	691	4344	638	4705			680	4418	612	3671	615	3692
71	PNRD-21	1	552	5451	506	5947			550	5470	848	5096	854	5134
72	PNRD-22	1	553	5429	505	5950			554	5424	819	4918	825	4953
73	PNRD-23	1	594	5045	541	5534			589	5088	733	4387	737	4413
74	PNRD-24	1	609	4927	555	5407			596	5034	753	4515	756	4533
75	PNRD-25	1	612	4899	559	5360			615	4876	706	4230	712	4266
76	PNRD-01	1	553	5405	506	5907			554	5395	774	4629	781	4669
77	PNRD-02	1	568	5261	521	5741			561	5326	780	4662	786	4697
78	PNRD-03	1	574	5226	527	5692			565	5309	775	4644	781	4681
79	PNRD-04	1	573	5230	526	5698			566	5300	749	4491	756	4531
80	PNRD-05	1	593	5055	545	5495			593	5051	745	4463	752	4504
81	PNRD-06	1	606	4944	559	5360			596	5031	688	4121	693	4152
82	PNRD-07	1	568	5290	522	5756			559	5375	797	4786	805	4833
83	PNRD-08	1	533	5629	491	6110			525	5720	878	5266	883	5298
84	PNRD-09	1	577	5209	535	5618			578	5200	767	4605	771	4631
85	PNRD-10	1	565	5310	520	5775			555	5410	810	4860	815	4890
86	PNRD-11	1	551	5436	509	5890			546	5485	827	4956	834	4996
87	PNRD-12	1	632	4747	577	5204			628	4781	694	4165	698	4188
88	PNRD-13	1	580	5172	528	5682			574	5221	763	4571	771	4621
89	PNRD-14	1	566	5309	521	5768			560	5361	788	4734	795	4773
90	PNRD-15	1	554	5429	508	5915			544	5524	787	4730	791	4754
91	PNRD-16	1	546	5493	500	6004			541	5549	823	4935	830	4978
92	PNRD-17	1	565	5322	519	5794			553	5432	742	4458	747	4488
93	PNRD-18	1	650	4618	598	5020			628	4784	676	4056	678	4071
94	PNRD-19	1	613	4900	564	5321			597	5027	690	4141	698	4189
95	PNRD-20	1	684	4391	636	4722			669	4489	624	3745	630	3781
96	PNRD-21	1	541	5562	499	6024			540	5572	862	5185	869	5224
97	PNRD-22	1	539	5568	496	6057			543	5532	840	5039	844	5066
98	PNRD-23	1	583	5136	534	5607			559	5361	750	4491	756	4527
99	PNRD-24	1	586	5120	541	5542			559	5368	779	4671	786	4713
100	PNRD-25	1	594	5044	545	5497			579	5174	724	4336	727	4356
101	PNRD-01	1	545	5484	497	6020			539	5551	788	4712	761	4549
102	PNRD-02	1	561	5326	511	5853			548	5453	796	4758	800	4781
103	PNRD-03	1	564	5314	514	5831			542	5530	792	4748	800	4795
104	PNRD-04	1	564	5312	515	5817			563	5321	756	4531	766	4590
105	PNRD-05	1	576	5202	524	5714			558	5370	771	4614	776	4647
106	PNRD-06	1	600	4993	542	5533			576	5206	701	4201	708	4242
107	PNRD-07	1	554	5424	506	5939			525	5724	823	4941	830	4983
108	PNRD-08	1	526	5709	482	6231			510	5882	891	5348	898	5388
109	PNRD-09	1	569	5281	522	5756			563	5332	784	4706	791	4749
110	PNRD-10	1	558	5376	510	5888			549	5469	823	4936	830	4980
111	PNRD-11	1	540	5551	495	6057			536	5593	849	5084	854	5115
112	PNRD-12	1	620	4837	563	5327			618	4857	706	4232	708	4247
113	PNRD-13	1	572	5242	517	5801			565	5307	765	4586	771	4620
114	PNRD-14	1	560	5364	508	5913			546	5496	810	4859	815	4892
115	PNRD-15	1	543	5534	496	6065			523	5751	800	4810	805	4838
116	PNRD-16	1	539	5562	490	6118			515	5827	836	5010	839	5031
117	PNRD-17	1	563	5334	508	5917			548	5485	754	4530	756	4541
118	PNRD-18	1	638	4709	582	5158			625	4807	685	4115	693	4161
119	PNRD-19	1	606	4958	551	5453			593	5067	702	4217	708	4251
120	PNRD-20	1	675	4448	618	4858			661	4542	634	3804	639	3834
121	PNRD-21	1	533	5643	490	6139			531	5664	875	5261	883	5307
122	PNRD-22	1	528	5682	484	6205			524	5731	853	5117	859	5154
123	PNRD-23	1	572	5234	521	5747			548	5468	766	4587	771	4617
124	PNRD-24	1	572	5244	521	5752			553	5424	796	4773	800	4795
125	PNRD-25	1	583	5142	531	5640			564	5315	740	4432	742	4445
126	PNRD-01	1	540	5535	493	6063			528	5666	796	4758	771	4609
127	PNRD-02	1	557	5369	509	5870			538	5554	802	4792	810	4841
128	PNRD-03	1	559	5366	512	5854			534	5612	797	4776	786	4711
129	PNRD-04	1	559	5366	513	5842			557	5385	771	4620	771	4621
130	PNRD-05	1	568	5274	519	5767			559	5359	783	4689	786	4705
131	PNRD-06	1	594	5046	541	5541			572	5241	706	4231	712	4265
132	PNRD-07	1	547	5493	502	5980			521	5762	835	5014	839	5037
133	PNRD-08	1	521	5764	480	6257			507	5923	901	5404	908	5448
134	PNRD-09	1	563	5332	517	5807			559	5370	792	4755	795	4773
135	PNRD-10	1	551	5443	506	5927			541	5543	831	4986	839	5032
136	PNRD-11	1	532	5637	490	6121			520	5762	862	5162	869	5207
137	PNRD-12	1	614	4884	562	5336			610	4916	714	4282	727	4361
138	PNRD-13	1	565	5307	515	5817			562	5336	774	4639	781	4680

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
139	PNRD-14	1	547	5491	504	5954			543	5532	819	4916	825	4952
140	PNRD-15	1	540	5563	494	6087			522	5755	809	4863	815	4897
141	PNRD-16	1	534	5614	489	6137			516	5816	844	5062	849	5091
142	PNRD-17	1	549	5475	511	5882			543	5535	763	4581	766	4601
143	PNRD-18	1	635	4726	582	5161			610	4920	694	4166	698	4189
144	PNRD-19	1	598	5018	550	5461			584	5139	714	4285	717	4303
145	PNRD-20	1	676	4443	617	4868			652	4603	645	3871	649	3895
146	PNRD-21	1	528	5697	489	6145			526	5718	887	5330	893	5367
147	PNRD-22	1	524	5731	481	6243			520	5775	863	5175	869	5214
148	PNRD-23	1	568	5271	519	5774			550	5444	776	4644	781	4677
149	PNRD-24	1	567	5284	520	5767			544	5507	809	4849	815	4883
150	PNRD-25	1	577	5195	529	5662			560	5353	749	4485	752	4504
151	PNRD-01	1	536	5580	487	6136			531	5632	801	4789	810	4841
152	PNRD-02	1	553	5403	504	5934			549	5448	809	4835	815	4870
153	PNRD-03	1	556	5393	506	5921			541	5538	805	4825	791	4740
154	PNRD-04	1	556	5393	508	5903			552	5428	784	4698	791	4740
155	PNRD-05	1	560	5349	511	5857			555	5393	793	4749	800	4789
156	PNRD-06	1	589	5085	534	5614			573	5227	712	4265	717	4295
157	PNRD-07	1	542	5542	498	6032			522	5749	847	5085	854	5126
158	PNRD-08	1	516	5814	474	6336			507	5917	909	5455	917	5502
159	PNRD-09	1	558	5378	512	5867			556	5397	797	4783	805	4832
160	PNRD-10	1	548	5473	503	5962			539	5564	836	5016	844	5062
161	PNRD-11	1	525	5710	483	6201			522	5738	871	5216	878	5259
162	PNRD-12	1	608	4935	557	5382			605	4959	719	4314	732	4389
163	PNRD-13	1	560	5353	511	5861			558	5367	780	4670	786	4708
164	PNRD-14	1	541	5552	497	6044			540	5563	828	4970	834	5006
165	PNRD-15	1	538	5584	488	6156			533	5641	814	4893	820	4927
166	PNRD-16	1	530	5657	484	6201			524	5721	852	5109	859	5151
167	PNRD-17	1	550	5458	500	6010			540	5559	766	4601	771	4629
168	PNRD-18	1	630	4767	576	5210			612	4904	698	4192	708	4249
169	PNRD-19	1	595	5040	543	5523			582	5157	719	4312	722	4331
170	PNRD-20	1	663	4530	613	4900			646	4649	650	3903	654	3925
171	PNRD-21	1	524	5740	480	6260			517	5812	895	5378	898	5397
172	PNRD-22	1	519	5780	474	6329			511	5877	871	5226	878	5268
173	PNRD-23	1	562	5332	513	5842			544	5504	784	4692	791	4737
174	PNRD-24	1	560	5348	515	5816			534	5614	815	4880	820	4912
175	PNRD-25	1	573	5230	524	5714			555	5399	753	4511	756	4527
176	PNRD-01	1	532	5615	485	6165			528	5663	806	4816	815	4869
177	PNRD-02	1	552	5416	502	5956			538	5552	813	4857	820	4899
178	PNRD-03	1	552	5428	505	5939			531	5648	810	4855	820	4913
179	PNRD-04	1	554	5408	506	5927			537	5584	788	4720	781	4680
180	PNRD-05	1	553	5415	508	5896			546	5485	802	4797	810	4847
181	PNRD-06	1	585	5124	530	5656			569	5264	716	4287	722	4325
182	PNRD-07	1	540	5557	495	6063			513	5850	854	5123	859	5156
183	PNRD-08	1	514	5837	470	6383			496	6048	918	5505	922	5532
184	PNRD-09	1	555	5407	507	5919			545	5506	805	4830	810	4862
185	PNRD-10	1	546	5498	500	6004			532	5637	841	5045	849	5092
186	PNRD-11	1	521	5752	479	6257			508	5894	880	5268	888	5317
187	PNRD-12	1	604	4964	551	5446			594	5047	732	4390	737	4419
188	PNRD-13	1	551	5436	505	5931			555	5396	787	4712	791	4738
189	PNRD-14	1	537	5587	492	6104			535	5613	839	5033	844	5064
190	PNRD-15	1	529	5679	634	4742			524	5738	822	4936	825	4957
191	PNRD-16	1	527	5692	481	6237			516	5808	858	5140	864	5179
192	PNRD-17	1	547	5493	498	6034			530	5664	771	4630	776	4659
193	PNRD-18	1	625	4804	572	5245			599	5013	705	4232	712	4272
194	PNRD-19	1	589	5090	539	5567			578	5191	724	4344	732	4389
195	PNRD-20	1	656	4572	605	4961			640	4690	655	3931	664	3983
196	PNRD-21	1	518	5807	476	6313			515	5835	904	5430	908	5457
197	PNRD-22	1	515	5823	470	6388			510	5880	879	5274	883	5296
198	PNRD-23	1	557	5378	508	5898			542	5527	792	4743	800	4789
199	PNRD-24	1	556	5388	509	5886			528	5674	823	4927	830	4968
200	PNRD-25	1	567	5285	518	5786			553	5414	761	4559	766	4587
201	PNRD-01	1	528	5663	482	6197			523	5717	815	4870	820	4899
202	PNRD-02	1	547	5461	499	5992			525	5695	819	4892	825	4929
203	PNRD-03	1	546	5487	501	5986			526	5696	814	4878	820	4913
204	PNRD-04	1	548	5465	502	5972			532	5635	780	4670	800	4792
205	PNRD-05	1	547	5475	504	5937			537	5577	810	4849	815	4877
206	PNRD-06	1	581	5158	526	5692			561	5342	722	4325	727	4353
207	PNRD-07	1	534	5625	491	6112			504	5954	862	5176	869	5216
208	PNRD-08	1	507	5919	466	6433			487	6162	926	5555	932	5588
209	PNRD-09	1	549	5469	503	5964			534	5618	813	4877	820	4920
210	PNRD-10	1	542	5531	498	6026			519	5782	849	5088	854	5121

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
211	PNRD-11	1	516	5808	475	6303			497	6024	888	5319	893	5347
212	PNRD-12	1	599	5008	544	5509			585	5123	740	4438	747	4478
213	PNRD-13	1	546	5485	503	5960			536	5593	793	4751	800	4792
214	PNRD-14	1	531	5655	488	6148			519	5780	845	5070	849	5094
215	PNRD-15	1	531	5655	482	6230			507	5929	828	4970	834	5009
216	PNRD-16	1	522	5739	476	6294			506	5927	866	5188	874	5237
217	PNRD-17	1	541	5547	494	6075			520	5771	776	4658	781	4688
218	PNRD-18	1	620	4843	567	5291			592	5072	711	4265	717	4302
219	PNRD-19	1	585	5125	536	5599			562	5339	732	4387	737	4419
220	PNRD-20	1	650	4615	598	5017			630	4766	663	3977	669	4014
221	PNRD-21	1	513	5861	473	6358			494	6081	912	5477	917	5509
222	PNRD-22	1	508	5909	466	6443			495	6059	888	5326	893	5356
223	PNRD-23	1	548	5467	502	5968			527	5679	801	4793	805	4819
224	PNRD-24	1	547	5477	503	5956			519	5767	831	4975	839	5022
225	PNRD-25	1	564	5311	513	5834			542	5522	768	4599	776	4645
226	PNRD-01	1	527	5668	480	6229			515	5806	818	4884	825	4929
227	PNRD-02	1	545	5481	497	6010			521	5733	819	4894	830	4958
228	PNRD-03	1	549	5460	498	6014			525	5710	817	4895	820	4912
229	PNRD-04	1	547	5480	500	5996			531	5640	784	4697	800	4792
230	PNRD-05	1	546	5482	500	5992			536	5584	813	4867	815	4879
231	PNRD-06	1	582	5149	524	5719			558	5370	724	4337	732	4383
232	PNRD-07	1	534	5625	487	6162			504	5960	865	5192	874	5246
233	PNRD-08	1	504	5948	465	6447			486	6175	930	5575	937	5618
234	PNRD-09	1	547	5488	502	5980			530	5664	816	4891	820	4918
235	PNRD-10	1	541	5545	495	6055			520	5763	850	5093	854	5119
236	PNRD-11	1	514	5825	474	6323			500	5988	891	5332	898	5377
237	PNRD-12	1	596	5033	544	5509			587	5106	744	4460	747	4478
238	PNRD-13	1	549	5454	499	6000			536	5591	797	4773	805	4820
239	PNRD-14	1	529	5675	486	6171			518	5790	848	5086	854	5122
240	PNRD-15	1	529	5677	481	6243			506	5941	831	4988	834	5009
241	PNRD-16	1	520	5767	475	6307			506	5927	869	5207	874	5237
242	PNRD-17	1	540	5557	494	6075			520	5771	779	4677	791	4748
243	PNRD-18	1	619	4849	567	5294			589	5092	714	4281	722	4331
244	PNRD-19	1	584	5134	535	5604			560	5354	733	4394	742	4449
245	PNRD-20	1	650	4617	596	5032			624	4810	665	3986	669	4013
246	PNRD-21	1	512	5865	470	6389			490	6135	914	5488	917	5508
247	PNRD-22	1	506	5925	465	6454			495	6057	891	5343	898	5384
248	PNRD-23	1	548	5465	503	5954			526	5688	802	4799	810	4847
249	PNRD-24	1	547	5477	501	5974			523	5723	834	4995	839	5022
250	PNRD-25	1	564	5311	514	5823			540	5543	770	4609	776	4645
251	PNSY-01	2	650	4610	593	5053	639	4689	622	4817	681	4078	693	4150
252	PNSY-02	2	640	4683	580	5168	625	4792	611	4902	681	4079	688	4121
253	PNSY-03	2	635	4720	581	5155	627	4777	615	4870	676	4049	688	4121
254	PNSY-04	2	665	4502	606	4941	655	4574	636	4708	688	4120	693	4150
255	PNSY-05	2	637	4705	579	5177	626	4784	616	4862	697	4173	703	4211
256	PNSY-06	2	649	4618	591	5072	638	4694	617	4858	681	4079	688	4121
257	PNSY-07	2	610	4910	558	5367	602	4979	590	5076	737	4414	742	4445
258	PNSY-08	2	651	4603	593	5053	637	4700	622	4814	701	4199	708	4240
259	PNSY-09	2	619	4837	564	5309	607	4937	594	5045	711	4257	717	4293
260	PNSY-10	2	676	4432	623	4810	672	4459	655	4574	654	3916	659	3946
261	PNSY-11	2	580	5168	531	5640	575	5213	561	5343	780	4672	786	4708
262	PNSY-12	2	633	4737	580	5166	627	4778	610	4916	697	4176	708	4242
263	PNSY-13	2	690	4339	628	4771	680	4403	661	4533	642	3844	649	3886
264	PNSY-14	2	752	3981	673	4446	740	4043	693	4317	590	3531	595	3560
265	PNSY-15	2	615	4872	558	5369	601	4985	587	5108	724	4338	732	4386
266	PNSY-16	2	566	5294	518	5786	561	5337	536	5586	789	4725	795	4760
267	PNSY-17	2	638	4694	583	5137	629	4762	616	4866	701	4199	703	4211
268	PNSY-18	2	638	4700	585	5126	622	4817	628	4775	676	4051	683	4093
269	PNSY-19	2	627	4775	572	5239	618	4849	605	4949	711	4257	717	4293
270	PNSY-20	2	588	5098	536	5593	579	5177	568	5278	741	4439	747	4475
271	PNSY-21	2	625	4790	573	5225	619	4837	605	4953	699	4186	703	4210
272	PNSY-22	2	651	4599	597	5015	665	4506	629	4760	685	4102	693	4150
273	PNSY-23	2	667	4489	611	4900	662	4523	647	4631	676	4048	683	4090
274	PNSY-24	2	704	4254	648	4625	710	4221	684	4382	624	3738	630	3774
275	PNSY-25	2	622	4819	567	5282	612	4894	605	4950	715	4283	722	4325
276	PNSY-01	2	616	4859	557	5373	605	4947	605	4947	724	4334	732	4382
277	PNSY-02	2	607	4934	544	5506	591	5072	589	5085	715	4283	727	4355
278	PNSY-03	2	611	4904	553	5419	600	4990	602	4978	741	4437	752	4503
279	PNSY-04	2	624	4802	559	5361	610	4912	600	4994	728	4359	732	4383
280	PNSY-05	2	604	4963	546	5485	593	5055	589	5089	732	4386	737	4415
281	PNSY-06	2	623	4810	566	5290	617	4853	604	4961	710	4253	717	4293
282	PNSY-07	2	573	5230	521	5747	568	5271	563	5318	788	4719	791	4737

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
283	PNSY-08	2	614	4880	554	5404	602	4978	598	5011	729	4362	732	4383
284	PNSY-09	2	586	5114	532	5628	580	5162	573	5225	775	4641	781	4677
285	PNSY-10	2	641	4673	572	5233	621	4824	628	4770	711	4256	712	4262
286	PNSY-11	2	559	5361	508	5894	555	5399	548	5468	822	4922	825	4940
287	PNSY-12	2	600	4996	548	5465	590	5081	588	5094	728	4361	737	4415
288	PNSY-13	2	636	4703	581	5146	621	4820	615	4867	681	4074	688	4116
289	PNSY-14	2	702	4259	645	4634	714	4191	679	4407	612	3658	620	3708
290	PNSY-15	2	576	5200	521	5751	568	5278	561	5339	753	4510	761	4558
291	PNSY-16	2	555	5393	503	5947	548	5462	543	5517	809	4844	815	4879
292	PNSY-17	2	617	4858	559	5360	608	4930	605	4950	724	4334	732	4385
293	PNSY-18	2	619	4842	557	5379	606	4942	606	4946	750	4490	756	4528
294	PNSY-19	2	609	4920	554	5409	602	4978	594	5040	736	4406	742	4443
295	PNSY-20	2	569	5264	515	5821	559	5358	559	5363	766	4588	771	4618
296	PNSY-21	2	614	4880	557	5380	602	4978	600	4994	719	4305	722	4323
297	PNSY-22	2	626	4783	568	5271	618	4845	610	4912	715	4281	722	4323
298	PNSY-23	2	653	4585	594	5045	646	4635	638	4696	690	4132	698	4180
299	PNSY-24	2	666	4497	614	4882	648	4625	648	4622	659	3947	659	3947
300	PNSY-25	2	589	5091	533	5626	579	5174	578	5183	753	4512	756	4530
301	PNSY-01	2	595	5029	540	5546	584	5128	579	5168	749	4482	752	4500
302	PNSY-02	2	591	5066	536	5586	579	5175	575	5207	737	4413	742	4443
303	PNSY-03	2	578	5188	530	5653	575	5215	558	5374	796	4770	800	4794
304	PNSY-04	2	596	5029	542	5531	593	5051	578	5186	749	4489	752	4504
305	PNSY-05	2	592	5062	539	5560	581	5153	576	5202	746	4465	752	4503
306	PNSY-06	2	610	4912	558	5370	595	5036	590	5075	724	4334	732	4383
307	PNSY-07	2	550	5444	504	5940	550	5449	532	5633	818	4899	820	4910
308	PNSY-08	2	595	5034	530	5656	590	5081	576	5200	750	4491	752	4504
309	PNSY-09	2	548	5465	505	5937	547	5480	528	5672	815	4882	820	4912
310	PNSY-10	2	604	4955	555	5393	589	5086	592	5060	745	4460	747	4472
311	PNSY-11	2	541	5541	497	6026	539	5562	527	5689	844	5056	849	5086
312	PNSY-12	2	587	5108	533	5626	575	5210	572	5242	749	4488	756	4530
313	PNSY-13	2	627	4773	564	5306	590	5072	589	5076	703	4203	708	4234
314	PNSY-14	2	682	4386	632	4732	700	4270	650	4598	629	3758	639	3820
315	PNSY-15	2	562	5334	511	5859	553	5416	536	5588	775	4643	781	4678
316	PNSY-16	2	538	5568	493	6074	535	5600	514	5829	830	4971	834	4992
317	PNSY-17	2	612	4898	538	5572	602	4975	587	5107	732	4385	737	4415
318	PNSY-18	2	581	5158	530	5649	575	5211	562	5332	797	4772	800	4790
319	PNSY-19	2	595	5032	542	5520	589	5088	570	5253	753	4511	756	4527
320	PNSY-20	2	559	5363	507	5913	549	5455	541	5536	784	4696	791	4738
321	PNSY-21	2	604	4959	549	5457	602	4976	589	5081	732	4382	737	4412
322	PNSY-22	2	612	4891	557	5378	604	4959	588	5090	736	4406	742	4442
323	PNSY-23	2	639	4687	586	5115	635	4720	621	4827	705	4223	712	4265
324	PNSY-24	2	643	4660	592	5057	630	4752	617	4856	685	4102	693	4150
325	PNSY-25	2	570	5256	518	5784	561	5340	555	5403	774	4638	781	4680
326	PNSY-01	2	577	5193	529	5660	573	5230	564	5313	763	4569	771	4617
327	PNSY-02	2	575	5209	523	5732	564	5310	559	5363	754	4516	761	4558
328	PNSY-03	2	554	5413	509	5886	551	5437	540	5553	826	4949	830	4973
329	PNSY-04	2	583	5139	529	5664	579	5174	565	5307	770	4614	776	4650
330	PNSY-05	2	577	5194	526	5698	569	5272	561	5347	764	4579	771	4621
331	PNSY-06	2	597	5015	545	5494	586	5114	577	5193	737	4413	747	4473
332	PNSY-07	2	535	5596	492	6085	532	5633	521	5752	835	5000	839	5024
333	PNSY-08	2	581	5155	531	5640	573	5227	559	5358	763	4570	771	4618
334	PNSY-09	2	534	5607	492	6092	534	5612	521	5747	839	5024	844	5054
335	PNSY-10	2	585	5122	537	5581	574	5216	580	5162	767	4593	771	4617
336	PNSY-11	2	528	5672	486	6169	526	5694	516	5804	861	5157	869	5205
337	PNSY-12	2	573	5232	523	5738	564	5316	558	5378	767	4599	771	4623
338	PNSY-13	2	598	5002	554	5399	576	5193	581	5152	718	4295	727	4349
339	PNSY-14	2	665	4495	618	4837	680	4396	641	4663	642	3838	654	3910
340	PNSY-15	2	549	5455	503	5954	544	5511	542	5531	788	4720	795	4762
341	PNSY-16	2	532	5633	488	6135	529	5665	521	5747	843	5048	849	5084
342	PNSY-17	2	595	5038	545	5495	591	5072	583	5137	749	4487	756	4528
343	PNSY-18	2	554	5411	510	5873	553	5416	543	5516	830	4972	834	4996
344	PNSY-19	2	582	5146	533	5619	576	5204	572	5241	770	4612	776	4648
345	PNSY-20	2	544	5504	498	6018	537	5581	531	5638	800	4790	805	4820
346	PNSY-21	2	589	5083	541	5534	590	5079	575	5207	745	4461	747	4473
347	PNSY-22	2	596	5023	545	5499	593	5049	580	5162	749	4485	756	4527
348	PNSY-23	2	626	4787	576	5202	621	4825	614	4876	718	4299	722	4323
349	PNSY-24	2	623	4810	573	5225	614	4876	608	4924	702	4204	708	4240
350	PNSY-25	2	558	5367	509	5884	550	5445	547	5475	791	4738	795	4762
351	PNSY-01	2	569	5260	521	5745	565	5297	553	5412	775	4639	781	4675
352	PNSY-02	2	568	5269	516	5806	557	5378	551	5437	767	4591	771	4615
353	PNSY-03	2	541	5534	498	6018	540	5550	525	5703	844	5054	849	5084
354	PNSY-04	2	573	5228	520	5756	563	5316	554	5407	783	4687	786	4705

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
355	PNSY-05	2	570	5259	518	5782	562	5329	555	5401	776	4648	781	4678
356	PNSY-06	2	591	5070	536	5591	589	5088	572	5234	749	4485	756	4527
357	PNSY-07	2	527	5681	483	6199	524	5714	517	5797	848	5078	854	5114
358	PNSY-08	2	573	5223	522	5734	565	5297	557	5378	775	4639	776	4645
359	PNSY-09	2	525	5701	484	6190	526	5690	509	5886	851	5094	854	5112
360	PNSY-10	2	578	5181	524	5710	567	5282	564	5310	778	4656	781	4674
361	PNSY-11	2	522	5741	479	6251	521	5752	507	5911	871	5216	878	5257
362	PNSY-12	2	566	5292	516	5804	558	5372	549	5460	775	4642	781	4678
363	PNSY-13	2	594	5038	546	5481	571	5236	564	5306	727	4347	732	4377
364	PNSY-14	2	658	4546	605	4945	666	4491	627	4771	654	3910	659	3940
365	PNSY-15	2	544	5502	497	6022	538	5563	522	5739	798	4777	805	4819
366	PNSY-16	2	524	5712	481	6222	522	5734	505	5933	852	5100	859	5142
367	PNSY-17	2	591	5068	540	5551	585	5120	574	5222	758	4540	766	4588
368	PNSY-18	2	545	5494	502	5970	545	5494	529	5660	844	5054	854	5114
369	PNSY-19	2	575	5207	527	5687	568	5276	557	5380	776	4647	786	4707
370	PNSY-20	2	541	5534	492	6092	532	5628	526	5697	809	4844	815	4880
371	PNSY-21	2	586	5114	532	5633	572	5234	569	5266	752	4503	756	4527
372	PNSY-22	2	594	5045	541	5539	587	5105	570	5257	756	4527	766	4587
373	PNSY-23	2	620	4833	565	5299	615	4868	600	4994	725	4341	732	4383
374	PNSY-24	2	617	4851	565	5302	611	4903	598	5009	710	4250	712	4262
375	PNSY-25	2	554	5411	505	5937	547	5475	535	5603	798	4780	805	4822
376	PNSY-01	2	566	5291	516	5798	560	5343	545	5495	780	4668	786	4703
377	PNSY-02	2	565	5302	511	5863	553	5417	550	5447	776	4645	786	4705
378	PNSY-03	2	536	5586	492	6085	534	5607	528	5670	856	5126	859	5144
379	PNSY-04	2	569	5268	516	5810	558	5372	555	5401	791	4738	795	4762
380	PNSY-05	2	563	5320	514	5833	556	5387	549	5460	784	4696	791	4738
381	PNSY-06	2	585	5120	531	5640	573	5227	570	5259	755	4522	761	4558
382	PNSY-07	2	522	5736	478	6264	520	5763	510	5871	856	5126	864	5174
383	PNSY-08	2	567	5285	518	5786	561	5342	554	5409	784	4695	791	4737
384	PNSY-09	2	523	5730	479	6257	521	5747	508	5900	861	5156	869	5204
385	PNSY-10	2	572	5233	519	5767	561	5340	564	5311	788	4717	791	4735
386	PNSY-11	2	518	5784	475	6308	516	5806	506	5921	881	5274	888	5316
387	PNSY-12	2	562	5329	511	5861	553	5421	548	5470	784	4696	791	4738
388	PNSY-13	2	588	5088	541	5530	565	5290	561	5328	735	4394	742	4436
389	PNSY-14	2	650	4600	596	5018	650	4597	619	4827	663	3962	669	3998
390	PNSY-15	2	541	5541	492	6087	534	5614	523	5732	806	4828	815	4882
391	PNSY-16	2	523	5730	477	6277	519	5774	502	5970	860	5150	864	5174
392	PNSY-17	2	586	5109	534	5612	580	5162	568	5276	767	4593	776	4647
393	PNSY-18	2	536	5588	495	6057	538	5572	522	5743	856	5127	859	5145
394	PNSY-19	2	570	5253	520	5758	564	5313	559	5361	784	4695	791	4737
395	PNSY-20	2	535	5596	487	6148	527	5687	519	5774	815	4880	820	4910
396	PNSY-21	2	580	5160	527	5685	568	5269	563	5321	761	4555	766	4585
397	PNSY-22	2	585	5121	535	5600	580	5160	566	5288	766	4585	771	4615
398	PNSY-23	2	613	4884	561	5337	609	4920	593	5049	733	4389	737	4413
399	PNSY-24	2	613	4887	560	5349	604	4959	588	5090	718	4298	727	4352
400	PNSY-25	2	550	5445	500	5996	542	5531	530	5656	806	4828	810	4852
401	PNSY-01	2	562	5325	513	5828	554	5397	544	5501	788	4712	795	4754
402	PNSY-02	2	561	5335	508	5892	548	5467	541	5537	787	4711	791	4735
403	PNSY-03	2	530	5647	488	6133	528	5669	515	5817	867	5190	874	5232
404	PNSY-04	2	565	5296	513	5832	554	5406	545	5490	800	4787	805	4817
405	PNSY-05	2	559	5361	512	5853	551	5439	541	5539	793	4748	800	4790
406	PNSY-06	2	582	5143	527	5679	568	5269	560	5349	766	4585	771	4615
407	PNSY-07	2	518	5780	476	6297	514	5825	504	5940	866	5186	874	5234
408	PNSY-08	2	563	5321	514	5829	555	5398	546	5482	795	4759	800	4789
409	PNSY-09	2	517	5787	476	6292	516	5798	498	6008	871	5212	878	5254
410	PNSY-10	2	567	5275	516	5797	555	5389	556	5379	797	4768	800	4786
411	PNSY-11	2	512	5846	472	6348	511	5857	499	5998	890	5328	898	5375
412	PNSY-12	2	559	5356	509	5888	548	5464	543	5519	792	4742	800	4790
413	PNSY-13	2	582	5134	538	5554	562	5321	559	5345	742	4434	747	4464
414	PNSY-14	2	642	4653	590	5063	641	4664	614	4869	676	4038	678	4050
415	PNSY-15	2	537	5581	490	6110	529	5660	519	5774	817	4892	825	4940
416	PNSY-16	2	517	5789	474	6314	514	5829	499	5998	871	5214	874	5232
417	PNSY-17	2	583	5140	531	5638	574	5221	563	5318	775	4641	781	4677
418	PNSY-18	2	534	5605	491	6096	533	5621	518	5778	865	5178	869	5202
419	PNSY-19	2	567	5280	518	5786	558	5370	554	5404	794	4754	800	4790
420	PNSY-20	2	532	5633	485	6180	523	5730	516	5808	824	4934	830	4970
421	PNSY-21	2	575	5210	523	5723	562	5326	557	5378	770	4609	776	4645
422	PNSY-22	2	584	5128	533	5619	579	5168	563	5319	771	4614	781	4674
423	PNSY-23	2	608	4928	556	5390	596	5023	588	5092	744	4455	752	4503
424	PNSY-24	2	608	4927	556	5388	601	4980	586	5108	725	4340	732	4382
425	PNSY-25	2	547	5473	498	6012	539	5560	526	5692	814	4874	820	4910
426	PNNL-01	3	715	4193	661	4536			690	4342	607	3637	615	3685

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Ts _{yl}	Vs _{yl}	Tu _{sl}	Vu _{sl}	Tb _{pv}	Vb _{pv}	Tm _{st}	Vm _{st}	Fp _{lg}	Vp _{lg}	Fm _{tg}	Vm _{tg}
427	PNNL-02	3	847	3535	794	3771			819	3656	487	2916	493	2952
428	PNNL-03	3	932	3216	890	3367			891	3364	447	2679	444	2661
429	PNNL-04	3	783	3827	726	4128			758	3951	556	3330	561	3360
430	PNNL-05	3	809	3707	756	3967			778	3855	525	3147	532	3189
431	PNNL-06	3	814	3683	757	3960			792	3785	518	3104	527	3158
432	PNNL-07	3	828	3616	772	3881			803	3731	508	3042	512	3066
433	PNNL-08	3	866	3458	805	3720			843	3555	504	3019	508	3043
434	PNNL-09	3	803	3730	745	4020			781	3837	514	3079	522	3127
435	PNNL-10	3	902	3323	842	3558			867	3458	457	2738	464	2780
436	PNNL-11	3	808	3708	756	3966			777	3856	512	3068	517	3098
437	PNNL-12	3	859	3489	795	3767			832	3600	495	2965	498	2983
438	PNNL-13	3	938	3194	878	3410			897	3340	448	2683	449	2689
439	PNNL-14	3	980	3058	924	3244			938	3197	414	2482	420	2517
440	PNNL-15	3	863	3472	799	3751			836	3585	534	3199	532	3187
441	PNNL-16	3	739	4055	688	4359			719	4171	573	3435	586	3512
442	PNNL-17	3	731	4098	680	4406			700	4280	573	3433	576	3451
443	PNNL-18	3	670	4473	612	4901			664	4517	645	3866	654	3920
444	PNNL-19	3	642	4664	590	5079			631	4749	684	4096	688	4120
445	PNNL-20	3	740	4049	689	4345			722	4147	560	3353	566	3389
446	PNNL-21	3	784	3823	734	4083			759	3949	533	3193	537	3217
447	PNNL-22	3	771	3886	723	4147			739	4054	556	3332	542	3248
448	PNNL-23	3	896	3347	843	3557			867	3459	453	2715	459	2751
449	PNNL-24	3	667	4495	610	4915			646	4644	637	3819	630	3777
450	PNNL-25	3	763	3925	707	4236			726	4125	560	3354	566	3390
451	PNNL-01	3	698	4292	645	4645			686	4364	632	3784	639	3826
452	PNNL-02	3	838	3576	779	3850			812	3691	500	2997	508	3045
453	PNNL-03	3	925	3241	875	3424			865	3464	453	2714	459	2750
454	PNNL-04	3	773	3875	717	4180			748	4007	568	3402	571	3420
455	PNNL-05	3	799	3750	747	4011			769	3899	538	3224	542	3248
456	PNNL-06	3	806	3718	746	4017			775	3870	530	3177	537	3219
457	PNNL-07	3	822	3643	765	3915			787	3803	521	3119	527	3155
458	PNNL-08	3	858	3490	796	3762			832	3600	495	2963	522	3125
459	PNNL-09	3	785	3810	726	4120			760	3936	539	3224	542	3242
460	PNNL-10	3	911	3289	823	3641			869	3448	469	2809	478	2863
461	PNNL-11	3	801	3741	736	4069			764	3920	521	3121	527	3157
462	PNNL-12	3	853	3511	785	3815			824	3637	500	2995	508	3043
463	PNNL-13	3	929	3223	863	3471			893	3355	456	2731	459	2748
464	PNNL-14	3	972	3080	913	3281			946	3167	418	2503	425	2545
465	PNNL-15	3	868	3454	782	3831			838	3575	521	3122	532	3188
466	PNNL-16	3	729	4107	667	4489			719	4164	594	3557	595	3563
467	PNNL-17	3	732	4094	671	4470			709	4227	577	3459	586	3512
468	PNNL-18	3	668	4488	601	4993			657	4567	646	3873	654	3921
469	PNNL-19	3	639	4688	575	5210			626	4781	698	4178	703	4208
470	PNNL-20	3	743	4032	678	4419			709	4229	564	3379	571	3421
471	PNNL-21	3	774	3870	721	4154			735	4075	542	3247	547	3277
472	PNNL-22	3	772	3880	710	4221			730	4106	565	3384	571	3420
473	PNNL-23	3	894	3352	826	3628			823	3641	465	2785	473	2833
474	PNNL-24	3	665	4515	601	4996			631	4758	654	3924	659	3954
475	PNNL-25	3	764	3925	699	4291			712	4212	564	3381	571	3423
476	PNNL-01	3	665	4504	609	4918			637	4705	660	3953	669	4007
477	PNNL-02	3	802	3740	742	4040			765	3922	530	3178	542	3250
478	PNNL-03	3	877	3420	817	3671			821	3655	479	2873	488	2927
479	PNNL-04	3	727	4120	669	4477			703	4263	607	3636	610	3654
480	PNNL-05	3	741	4049	685	4377			699	4292	586	3514	590	3538
481	PNNL-06	3	762	3937	700	4286			731	4104	566	3394	566	3394
482	PNNL-07	3	785	3813	725	4131			754	3969	555	3322	561	3358
483	PNNL-08	3	826	3627	765	3914			801	3738	521	3120	527	3156
484	PNNL-09	3	761	3930	699	4282			734	4078	598	3577	571	3416
485	PNNL-10	3	861	3479	790	3792			817	3665	495	2964	503	3012
486	PNNL-11	3	771	3887	713	4201			733	4086	547	3277	551	3300
487	PNNL-12	3	823	3638	756	3960			791	3787	526	3150	532	3186
488	PNNL-13	3	890	3368	827	3625			855	3506	482	2888	483	2894
489	PNNL-14	3	929	3223	866	3457			891	3362	444	2659	449	2689
490	PNNL-15	3	814	3682	751	3988			787	3806	551	3300	556	3330
491	PNNL-16	3	703	4259	645	4642			675	4436	624	3737	620	3713
492	PNNL-17	3	715	4192	659	4548			677	4427	593	3552	600	3594
493	PNNL-18	3	655	4571	596	5023			640	4682	667	3994	688	4120
494	PNNL-19	3	629	4758	565	5297			605	4947	731	4376	737	4412
495	PNNL-20	3	729	4111	671	4467			692	4328	577	3456	581	3480
496	PNNL-21	3	752	3981	697	4299			725	4130	560	3353	566	3389
497	PNNL-22	3	750	3992	693	4320			710	4220	590	3533	595	3563
498	PNNL-23	3	857	3496	795	3768			822	3642	491	2940	498	2982

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
499	PNNL-24	3	645	4645	591	5074			616	4868	684	4099	688	4122
500	PNNL-25	3	743	4032	686	4368			684	4380	578	3461	581	3479
501	PNNL-01	3	655	4573	599	5000			629	4765	675	4043	678	4061
502	PNNL-02	3	794	3775	728	4117			749	4001	547	3279	551	3303
503	PNNL-03	3	866	3462	807	3713			803	3733	495	2966	503	3014
504	PNNL-04	3	715	4192	661	4531			686	4366	616	3690	620	3714
505	PNNL-05	3	719	4170	663	4519			669	4478	603	3613	610	3655
506	PNNL-06	3	750	3996	686	4369			715	4189	587	3516	590	3534
507	PNNL-07	3	772	3881	712	4205			729	4107	569	3407	571	3419
508	PNNL-08	3	809	3703	745	4021			769	3896	534	3198	542	3245
509	PNNL-09	3	744	4023	681	4395			708	4228	612	3661	595	3559
510	PNNL-10	3	843	3557	771	3890			800	3749	517	3099	522	3129
511	PNNL-11	3	750	4000	689	4351			711	4217	572	3430	581	3484
512	PNNL-12	3	804	3726	734	4079			765	3914	543	3251	551	3299
513	PNNL-13	3	858	3492	794	3776			815	3676	505	3026	508	3044
514	PNNL-14	3	898	3337	834	3593			847	3536	465	2785	468	2803
515	PNNL-15	3	798	3753	734	4083			753	3977	556	3330	561	3360
516	PNNL-16	3	686	4368	627	4775			650	4606	633	3790	649	3886
517	PNNL-17	3	707	4239	644	4651			653	4590	603	3612	610	3654
518	PNNL-18	3	646	4638	587	5104			625	4797	680	4075	683	4093
519	PNNL-19	3	605	4951	551	5437			583	5134	762	4561	766	4585
520	PNNL-20	3	723	4143	661	4528			681	4398	589	3526	586	3508
521	PNNL-21	3	730	4101	674	4445			688	4355	577	3455	581	3479
522	PNNL-22	3	731	4097	670	4473			706	4245	581	3480	595	3564
523	PNNL-23	3	829	3613	762	3930			794	3772	517	3095	522	3125
524	PNNL-24	3	633	4737	573	5233			612	4899	706	4230	712	4266
525	PNNL-25	3	730	4108	672	4463			678	4427	589	3533	595	3569
526	PNNL-01	3	626	4788	573	5231			590	5081	701	4199	708	4241
527	PNNL-02	3	748	4008	686	4367			719	4170	586	3511	600	3595
528	PNNL-03	3	816	3673	754	3972			789	3798	530	3175	542	3247
529	PNNL-04	3	688	4352	632	4741			656	4564	643	3850	649	3886
530	PNNL-05	3	679	4412	632	4741			649	4620	636	3811	639	3829
531	PNNL-06	3	710	4217	655	4571			690	4339	624	3737	630	3772
532	PNNL-07	3	730	4105	672	4460			697	4303	603	3614	610	3656
533	PNNL-08	3	771	3882	708	4228			735	4069	555	3320	551	3296
534	PNNL-09	3	707	4234	647	4623			680	4399	623	3727	659	3942
535	PNNL-10	3	800	3747	736	4073			758	3955	546	3272	551	3302
536	PNNL-11	3	714	4199	657	4560			684	4383	612	3667	615	3685
537	PNNL-12	3	768	3898	704	4256			730	4104	568	3401	576	3449
538	PNNL-13	3	810	3697	742	4036			761	3933	542	3244	547	3274
539	PNNL-14	3	866	3462	790	3792			820	3656	503	3014	512	3068
540	PNNL-15	3	775	3862	710	4218			731	4094	573	3430	586	3508
541	PNNL-16	3	659	4543	603	4969			629	4764	689	4126	683	4090
542	PNNL-17	3	687	4361	630	4756			646	4635	619	3707	625	3743
543	PNNL-18	3	631	4749	572	5239			618	4845	693	4150	703	4210
544	PNNL-19	3	580	5161	526	5686			564	5308	788	4714	795	4756
545	PNNL-20	3	700	4279	644	4648			689	4344	599	3586	605	3622
546	PNNL-21	3	705	4243	657	4556			704	4252	594	3553	600	3589
547	PNNL-22	3	710	4220	656	4567			693	4323	603	3613	630	3775
548	PNNL-23	3	794	3770	733	4086			782	3830	546	3268	547	3274
549	PNNL-24	3	613	4890	554	5411			584	5133	727	4355	732	4385
550	PNNL-25	3	715	4186	658	4552			674	4444	599	3586	600	3592
551	PNNL-01	3	619	4837	559	5361			589	5088	715	4281	722	4323
552	PNNL-02	3	724	4135	661	4533			685	4374	607	3635	615	3683
553	PNNL-03	3	788	3801	721	4154			755	3970	559	3348	561	3360
554	PNNL-04	3	673	4449	615	4868			643	4656	658	3940	664	3976
555	PNNL-05	3	666	4497	610	4910			638	4694	651	3899	659	3947
556	PNNL-06	3	693	4320	632	4741			661	4530	646	3868	649	3886
557	PNNL-07	3	701	4265	646	4628			665	4500	628	3755	630	3767
558	PNNL-08	3	749	3995	687	4352			717	4170	565	3379	571	3415
559	PNNL-09	3	683	4378	621	4815			652	4583	631	3771	630	3765
560	PNNL-10	3	774	3868	707	4238			742	4038	565	3383	576	3449
561	PNNL-11	3	679	4407	618	4842			657	4551	643	3845	649	3881
562	PNNL-12	3	748	4001	681	4395			708	4225	582	3482	586	3505
563	PNNL-13	3	762	3926	698	4287			725	4127	568	3397	571	3415
564	PNNL-14	3	804	3722	737	4058			768	3897	539	3224	542	3242
565	PNNL-15	3	775	3857	695	4301			716	4175	586	3503	595	3557
566	PNNL-16	3	635	4713	577	5192			605	4947	711	4256	712	4262
567	PNNL-17	3	680	4402	618	4840			643	4655	629	3763	634	3793
568	PNNL-18	3	622	4814	561	5337			601	4982	702	4204	717	4293
569	PNNL-19	3	561	5332	507	5899			542	5524	809	4839	815	4875
570	PNNL-20	3	690	4335	631	4740			661	4528	612	3661	615	3679

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
571	PNNL-21	3	699	4279	645	4638			662	4519	607	3629	610	3647
572	PNNL-22	3	689	4344	617	4851			657	4556	624	3735	649	3885
573	PNNL-23	3	762	3925	697	4291			737	4061	568	3398	576	3446
574	PNNL-24	3	598	5011	538	5565			581	5158	745	4461	747	4473
575	PNNL-25	3	702	4261	641	4666			665	4501	611	3655	615	3679
576	PNNL-01	3	592	5057	544	5509			568	5271	737	4413	742	4443
577	PNNL-02	3	684	4379	629	4762			651	4601	638	3822	644	3858
578	PNNL-03	3	745	4020	687	4363			705	4251	586	3510	590	3534
579	PNNL-04	3	651	4603	599	5003			621	4825	680	4072	683	4090
580	PNNL-05	3	638	4698	588	5094			612	4894	677	4055	683	4091
581	PNNL-06	3	664	4514	608	4926			631	4750	672	4025	673	4031
582	PNNL-07	3	658	4546	612	4887			632	4736	659	3942	664	3972
583	PNNL-08	3	720	4153	670	4466			698	4287	585	3498	630	3767
584	PNNL-09	3	657	4549	604	4949			638	4685	659	3940	664	3969
585	PNNL-10	3	742	4035	681	4394			720	4156	590	3531	595	3560
586	PNNL-11	3	640	4680	580	5164			632	4743	681	4079	688	4121
587	PNNL-12	3	724	4135	665	4503			702	4265	602	3602	610	3650
588	PNNL-13	3	717	4172	669	4474			694	4313	598	3577	595	3559
589	PNNL-14	3	745	4013	688	4346			720	4153	576	3444	581	3474
590	PNNL-15	3	740	4039	682	4383			717	4169	617	3688	610	3647
591	PNNL-16	3	608	4928	558	5366			587	5101	738	4419	737	4413
592	PNNL-17	3	666	4489	612	4890			637	4694	642	3839	649	3881
593	PNNL-18	3	611	4904	557	5375			599	4998	711	4257	737	4413
594	PNNL-19	3	550	5445	504	5942			539	5551	826	4943	830	4967
595	PNNL-20	3	679	4408	625	4786			658	4546	624	3733	630	3769
596	PNNL-21	3	678	4412	632	4733			642	4656	620	3706	625	3736
597	PNNL-22	3	662	4526	611	4900			641	4671	638	3820	659	3946
598	PNNL-23	3	732	4085	676	4423			712	4199	590	3528	595	3558
599	PNNL-24	3	585	5120	532	5630			571	5250	759	4546	766	4588
600	PNNL-25	3	689	4343	637	4694			655	4565	624	3732	630	3767
601	PNNL-01	3	591	5066	541	5539			562	5327	746	4467	752	4503
602	PNNL-02	3	662	4526	611	4904			640	4682	659	3946	669	4006
603	PNNL-03	3	721	4154	664	4514			688	4356	607	3636	605	3624
604	PNNL-04	3	647	4631	595	5032			623	4806	686	4108	693	4150
605	PNNL-05	3	632	4739	585	5124			607	4938	689	4127	698	4181
606	PNNL-06	3	654	4583	599	5000			633	4731	684	4097	688	4121
607	PNNL-07	3	642	4663	594	5035			625	4789	672	4020	678	4056
608	PNNL-08	3	718	4167	662	4517			695	4305	591	3534	644	3851
609	PNNL-09	3	641	4671	584	5123			631	4742	676	4045	678	4057
610	PNNL-10	3	725	4126	667	4484			708	4228	599	3583	605	3619
611	PNNL-11	3	618	4849	561	5337			608	4924	702	4204	708	4240
612	PNNL-12	3	714	4192	659	4539			692	4325	611	3655	620	3709
613	PNNL-13	3	705	4243	654	4570			686	4357	606	3623	605	3617
614	PNNL-14	3	710	4210	661	4522			692	4316	595	3555	605	3614
615	PNNL-15	3	732	4086	673	4445			710	4213	622	3718	615	3676
616	PNNL-16	3	596	5024	546	5485			574	5213	749	4482	756	4524
617	PNNL-17	3	659	4541	608	4922			631	4739	649	3881	654	3911
618	PNNL-18	3	605	4951	552	5422			594	5043	715	4280	752	4501
619	PNNL-19	3	544	5498	499	6000			530	5643	837	5007	844	5049
620	PNNL-20	3	668	4479	620	4826			644	4646	630	3767	634	3791
621	PNNL-21	3	665	4492	624	4787			641	4664	628	3752	634	3788
622	PNNL-22	3	648	4622	595	5030			629	4762	655	3921	659	3945
623	PNNL-23	3	720	4149	664	4502			701	4261	603	3602	605	3614
624	PNNL-24	3	581	5155	528	5678			562	5329	770	4612	776	4648
625	PNNL-25	3	681	4389	632	4733			646	4627	629	3760	634	3790
626	PNNL-01	3	582	5149	536	5591			556	5390	755	4521	761	4557
627	PNNL-02	3	643	4658	593	5051			618	4843	676	4047	688	4118
628	PNNL-03	3	694	4314	647	4628			664	4512	624	3737	630	3772
629	PNNL-04	3	638	4691	589	5081			616	4859	694	4154	703	4208
630	PNNL-05	3	622	4815	572	5236			593	5055	699	4187	703	4211
631	PNNL-06	3	643	4656	590	5079			619	4841	693	4150	698	4180
632	PNNL-07	3	632	4733	573	5220			606	4936	686	4104	693	4146
633	PNNL-08	3	704	4249	650	4598			681	4392	599	3581	600	3587
634	PNNL-09	3	621	4815	566	5284			605	4939	692	4138	698	4171
635	PNNL-10	3	717	4172	663	4515			693	4319	607	3631	615	3679
636	PNNL-11	3	605	4951	552	5427			591	5069	714	4274	722	4322
637	PNNL-12	3	706	4237	648	4619			830	3604	616	3685	625	3739
638	PNNL-13	3	696	4296	646	4629			670	4460	611	3651	615	3675
639	PNNL-14	3	699	4275	643	4647			676	4420	606	3619	615	3673
640	PNNL-15	3	721	4144	663	4504			696	4293	628	3750	620	3703
641	PNNL-16	3	586	5110	534	5603			565	5296	762	4560	771	4614
642	PNNL-17	3	651	4594	601	4981			620	4828	653	3906	659	3942

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
643	PNNL-18	3	599	4997	547	5477			585	5121	719	4304	756	4525
644	PNNL-19	3	539	5551	494	6063			526	5688	843	5045	849	5080
645	PNNL-20	3	662	4518	612	4891			635	4714	637	3811	639	3822
646	PNNL-21	3	658	4543	614	4865			630	4741	634	3788	639	3817
647	PNNL-22	3	633	4732	578	5178			605	4947	664	3975	673	4029
648	PNNL-23	3	713	4192	654	4571			684	4367	606	3620	625	3734
649	PNNL-24	3	574	5218	523	5727			548	5470	775	4642	781	4678
650	PNNL-25	3	678	4410	623	4799			629	4754	634	3791	639	3821
651	PNNL-01	3	580	5167	530	5649			557	5375	759	4545	766	4587
652	PNNL-02	3	635	4719	575	5207			614	4876	685	4102	693	4150
653	PNNL-03	3	682	4393	628	4771			650	4606	634	3796	639	3826
654	PNNL-04	3	638	4690	581	5154			611	4901	699	4180	703	4207
655	PNNL-05	3	627	4779	566	5294			588	5092	706	4228	712	4263
656	PNNL-06	3	638	4691	584	5129			615	4867	699	4184	703	4208
657	PNNL-07	3	624	4796	568	5264			600	4987	693	4144	698	4174
658	PNNL-08	3	701	4268	644	4643			673	4446	602	3600	605	3618
659	PNNL-09	3	609	4907	555	5385			591	5052	705	4210	712	4252
660	PNNL-10	3	710	4216	652	4591			683	4382	612	3661	620	3709
661	PNNL-11	3	600	4987	543	5515			583	5136	723	4323	727	4350
662	PNNL-12	3	703	4258	642	4663			672	4454	621	3715	630	3769
663	PNNL-13	3	692	4321	640	4672			659	4534	617	3687	620	3705
664	PNNL-14	3	691	4326	632	4726			661	4522	612	3656	625	3734
665	PNNL-15	3	720	4150	660	4524			687	4350	630	3762	630	3762
666	PNNL-16	3	580	5165	526	5696			560	5345	762	4561	776	4645
667	PNNL-17	3	650	4605	598	5006			620	4824	658	3936	664	3972
668	PNNL-18	3	597	5018	543	5517			589	5081	724	4331	737	4412
669	PNNL-19	3	536	5593	490	6112			525	5710	849	5086	854	5115
670	PNNL-20	3	661	4527	608	4918			634	4716	641	3833	644	3851
671	PNNL-21	3	658	4543	608	4913			625	4779	639	3814	644	3847
672	PNNL-22	3	625	4791	569	5263			595	5033	676	4045	683	4087
673	PNNL-23	3	704	4241	647	4619			677	4411	611	3649	615	3673
674	PNNL-24	3	572	5236	519	5776			554	5411	779	4666	786	4708
675	PNNL-25	3	672	4448	620	4821			630	4744	638	3814	644	3850
676	PNNL-01	3	577	5192	527	5685			551	5432	766	4585	776	4645
677	PNNL-02	3	629	4760	570	5253			606	4945	693	4150	703	4210
678	PNNL-03	3	676	4428	623	4808			645	4644	641	3837	644	3855
679	PNNL-04	3	630	4753	579	5172			608	4921	703	4207	708	4237
680	PNNL-05	3	615	4871	563	5316			587	5103	711	4256	717	4292
681	PNNL-06	3	630	4749	581	5154			613	4881	706	4225	717	4291
682	PNNL-07	3	618	4837	565	5295			598	4998	698	4173	708	4232
683	PNNL-08	3	697	4286	641	4660			670	4462	607	3626	610	3644
684	PNNL-09	3	601	4974	550	5431			585	5110	714	4265	717	4283
685	PNNL-10	3	703	4256	648	4618			681	4394	619	3702	625	3738
686	PNNL-11	3	595	5029	541	5536			580	5163	727	4350	732	4380
687	PNNL-12	3	697	4293	639	4679			671	4456	625	3738	630	3767
688	PNNL-13	3	686	4354	637	4689			656	4557	620	3704	625	3734
689	PNNL-14	3	685	4359	630	4740			655	4556	619	3694	625	3730
690	PNNL-15	3	716	4173	658	4538			683	4372	633	3780	630	3762
691	PNNL-16	3	577	5185	524	5710			554	5406	770	4608	776	4644
692	PNNL-17	3	647	4621	596	5021			615	4866	662	3959	669	4001
693	PNNL-18	3	594	5043	541	5532			578	5178	727	4352	737	4412
694	PNNL-19	3	535	5591	490	6110			520	5752	853	5103	859	5139
695	PNNL-20	3	659	4542	607	4932			628	4767	646	3864	654	3912
696	PNNL-21	3	654	4567	605	4937			618	4833	643	3838	649	3877
697	PNNL-22	3	618	4841	567	5282			587	5101	681	4072	688	4117
698	PNNL-23	3	705	4240	644	4638			670	4458	616	3680	625	3734
699	PNNL-24	3	569	5262	517	5791			548	5464	783	4689	791	4737
700	PNNL-25	3	672	4450	618	4835			627	4766	641	3831	649	3878
701	PNNL-01	3	573	5222	524	5710			548	5465	770	4608	776	4644
702	PNNL-02	3	623	4803	566	5291			600	4987	700	4189	717	4291
703	PNNL-03	3	671	4459	616	4857			638	4690	647	3872	654	3914
704	PNNL-04	3	629	4759	577	5184			606	4936	708	4235	712	4259
705	PNNL-05	3	613	4883	560	5349			583	5134	716	4286	722	4322
706	PNNL-06	3	630	4749	576	5194			607	4933	712	4261	717	4291
707	PNNL-07	3	612	4884	561	5333			593	5045	705	4214	712	4256
708	PNNL-08	3	691	4326	637	4692			666	4491	611	3653	654	3910
709	PNNL-09	3	598	4993	544	5489			583	5122	720	4300	727	4342
710	PNNL-10	3	699	4273	643	4649			675	4425	624	3725	630	3764
711	PNNL-11	3	590	5075	537	5577			577	5185	733	4386	737	4410
712	PNNL-12	3	692	4319	633	4726			667	4481	632	3778	639	3820
713	PNNL-13	3	683	4370	633	4719			651	4589	626	3737	630	3761
714	PNNL-14	3	679	4396	625	4777			653	4572	625	3729	639	3812

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
715	PNNL-15	3	710	4203	652	4577			681	4382	637	3802	634	3784
716	PNNL-16	3	573	5222	520	5754			552	5425	779	4662	786	4703
717	PNNL-17	3	642	4659	592	5053			613	4880	667	3987	673	4023
718	PNNL-18	3	591	5064	538	5563			572	5232	729	4359	737	4407
719	PNNL-19	3	532	5620	487	6146			517	5789	857	5125	864	5167
720	PNNL-20	3	653	4577	602	4965			621	4817	650	3883	654	3910
721	PNNL-21	3	649	4603	604	4946			616	4846	647	3863	654	3904
722	PNNL-22	3	616	4859	562	5327			585	5117	688	4116	698	4175
723	PNNL-23	3	698	4277	639	4671			664	4495	620	3701	620	3701
724	PNNL-24	3	566	5294	515	5819			544	5504	787	4713	795	4760
725	PNNL-25	3	670	4458	614	4865			624	4791	645	3853	649	3877
726	PNPN-01	4	751	3987	691	4336			732	4093	598	3583	605	3623
727	PNPN-02	4	837	3582	776	3861			804	3726	525	3148	532	3188
728	PNPN-03	4	853	3517	787	3812			820	3656	517	3102	532	3190
729	PNPN-04	4	805	3724	748	4008			771	3886	538	3221	547	3278
730	PNPN-05	4	773	3877	715	4195			747	4012	569	3412	586	3512
731	PNPN-06	4	748	4007	694	4318			722	4154	565	3385	586	3512
732	PNPN-07	4	829	3609	766	3909			797	3754	530	3173	537	3213
733	PNPN-08	4	822	3648	761	3941			794	3777	538	3224	547	3279
734	PNPN-09	4	902	3321	837	3579			862	3475	483	2889	498	2982
735	PNPN-10	4	796	3771	734	4090			766	3919	564	3383	571	3428
736	PNPN-11	4	796	3766	736	4071			755	3968	543	3255	556	3332
737	PNPN-12	4	734	4087	677	4428			714	4199	591	3542	600	3598
738	PNPN-13	4	869	3440	803	3725			840	3558	500	2989	512	3061
739	PNPN-14	4	776	3862	715	4189			749	4001	564	3377	586	3510
740	PNPN-15	4	952	3146	883	3390			917	3266	460	2754	473	2831
741	PNPN-16	4	865	3464	798	3753			834	3591	516	3093	522	3127
742	PNPN-17	4	846	3540	784	3820			814	3682	556	3330	561	3360
743	PNPN-18	4	798	3753	737	4067			772	3882	561	3359	576	3450
744	PNPN-19	4	896	3342	828	3615			861	3476	508	3038	512	3065
745	PNPN-20	4	736	4069	677	4424			717	4177	624	3740	634	3798
746	PNPN-21	4	832	3599	771	3886			813	3683	535	3202	542	3245
747	PNPN-22	4	729	4104	665	4503			718	4170	616	3684	639	3824
748	PNPN-23	4	691	4337	633	4738			677	4427	659	3950	669	4010
749	PNPN-24	4	689	4354	628	4774			688	4361	646	3873	654	3921
750	PNPN-25	4	878	3411	812	3686			853	3511	504	3019	517	3095
751	PNPN-01	4	685	4371	634	4722			675	4436	637	3816	644	3856
752	PNPN-02	4	745	4019	691	4333			725	4130	581	3478	586	3509
753	PNPN-03	4	795	3770	728	4117			771	3890	555	3329	561	3363
754	PNPN-04	4	760	3938	711	4213			743	4028	560	3349	566	3388
755	PNPN-05	4	711	4215	655	4576			697	4303	616	3690	620	3716
756	PNPN-06	4	689	4347	636	4709			667	4490	637	3818	639	3828
757	PNPN-07	4	811	3692	731	4096			771	3883	555	3319	556	3327
758	PNPN-08	4	795	3775	726	4131			764	3925	556	3337	566	3395
759	PNPN-09	4	796	3763	730	4103			767	3905	548	3280	551	3300
760	PNPN-10	4	707	4250	663	4536			695	4324	611	3672	615	3696
761	PNPN-11	4	748	4005	701	4277			735	4079	568	3406	576	3451
762	PNPN-12	4	695	4314	644	4659			688	4358	620	3715	625	3748
763	PNPN-13	4	840	3560	754	3966			801	3733	529	3162	532	3181
764	PNPN-14	4	717	4179	666	4502			707	4241	598	3582	600	3595
765	PNPN-15	4	908	3300	833	3598			876	3421	483	2891	488	2923
766	PNPN-16	4	817	3669	757	3960			802	3738	542	3246	547	3278
767	PNPN-17	4	768	3902	708	4233			750	3996	615	3687	620	3716
768	PNPN-18	4	692	4331	635	4720			674	4450	642	3849	649	3890
769	PNPN-19	4	824	3634	763	3925			793	3774	546	3270	551	3298
770	PNPN-20	4	694	4317	638	4696			665	4505	654	3921	659	3949
771	PNPN-21	4	792	3781	729	4106			765	3915	561	3356	566	3388
772	PNPN-22	4	656	4566	602	4972			640	4680	685	4098	688	4118
773	PNPN-23	4	656	4575	601	4994			637	4712	681	4085	708	4247
774	PNPN-24	4	615	4876	614	4888			604	4969	732	4388	737	4421
775	PNPN-25	4	810	3696	750	3992			783	3824	538	3222	542	3245
776	PNPN-01	4	673	4447	620	4831			657	4559	651	3897	659	3945
777	PNPN-02	4	729	4104	672	4456			699	4283	594	3556	600	3590
778	PNPN-03	4	772	3883	709	4226			744	4030	565	3385	571	3421
779	PNPN-04	4	752	3980	693	4316			725	4128	573	3425	576	3446
780	PNPN-05	4	683	4388	630	4758			658	4555	638	3820	644	3858
781	PNPN-06	4	672	4455	621	4825			643	4660	625	3740	654	3916
782	PNPN-07	4	775	3862	713	4195			747	4007	565	3378	571	3416
783	PNPN-08	4	773	3877	707	4239			744	4026	569	3410	576	3450
784	PNPN-09	4	759	3946	701	4276			717	4177	569	3408	576	3450
785	PNPN-10	4	707	4246	649	4629			677	4438	624	3747	625	3753
786	PNPN-11	4	749	4003	689	4351			713	4202	581	3480	586	3511

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
787	PNPN-12	4	691	4339	633	4736			670	4478	629	3771	634	3801
788	PNPN-13	4	805	3717	739	4049			777	3851	538	3221	542	3243
789	PNPN-14	4	709	4229	652	4595			688	4355	608	3643	615	3685
790	PNPN-15	4	879	3405	815	3675			852	3515	491	2940	498	2981
791	PNPN-16	4	807	3711	741	4045			781	3835	551	3303	556	3330
792	PNPN-17	4	753	3983	690	4343			725	4137	633	3794	639	3830
793	PNPN-18	4	682	4393	622	4821			660	4539	655	3925	644	3859
794	PNPN-19	4	810	3696	746	4011			783	3821	555	3322	561	3357
795	PNPN-20	4	688	4356	630	4758			664	4511	662	3967	669	4007
796	PNPN-21	4	783	3826	719	4167			760	3942	570	3410	576	3449
797	PNPN-22	4	645	4645	592	5062			629	4760	697	4174	703	4210
798	PNPN-23	4	650	4617	591	5079			639	4697	693	4155	722	4331
799	PNPN-24	4	606	4953	554	5418			603	4973	744	4465	747	4481
800	PNPN-25	4	802	3733	737	4060			771	3883	551	3295	556	3327
801	PNPN-01	4	659	4547	608	4924			648	4624	659	3946	664	3976
802	PNPN-02	4	713	4199	657	4558			692	4327	607	3629	610	3650
803	PNPN-03	4	752	3987	696	4308			737	4065	577	3456	581	3481
804	PNPN-04	4	733	4082	679	4406			718	4170	582	3483	590	3531
805	PNPN-05	4	663	4521	613	4886			652	4597	651	3897	654	3917
806	PNPN-06	4	659	4547	606	4941			637	4704	634	3795	669	4006
807	PNPN-07	4	761	3932	699	4281			747	4005	574	3430	581	3474
808	PNPN-08	4	767	3907	693	4325			741	4045	581	3481	586	3510
809	PNPN-09	4	733	4087	678	4416			710	4217	582	3484	586	3509
810	PNPN-10	4	689	4358	632	4752			665	4516	634	3805	659	3958
811	PNPN-11	4	729	4110	671	4465			697	4302	591	3539	595	3565
812	PNPN-12	4	673	4455	618	4851			657	4567	642	3847	649	3891
813	PNPN-13	4	780	3832	719	4157			758	3946	551	3295	556	3324
814	PNPN-14	4	691	4334	637	4702			674	4447	621	3717	625	3744
815	PNPN-15	4	860	3480	792	3781			840	3565	503	3013	508	3041
816	PNPN-16	4	784	3823	722	4148			764	3923	564	3377	566	3390
817	PNPN-17	4	723	4145	664	4517			708	4233	651	3901	659	3950
818	PNPN-18	4	661	4536	605	4952			650	4613	668	4005	654	3919
819	PNPN-19	4	786	3805	724	4134			768	3897	568	3398	571	3416
820	PNPN-20	4	672	4460	617	4854			656	4569	672	4022	678	4061
821	PNPN-21	4	765	3914	701	4274			751	3989	582	3482	586	3509
822	PNPN-22	4	635	4719	579	5175			621	4821	707	4234	712	4263
823	PNPN-23	4	635	4727	579	5184			626	4795	702	4209	732	4391
824	PNPN-24	4	591	5074	541	5549			590	5087	758	4545	761	4564
825	PNPN-25	4	776	3856	715	4185			759	3945	564	3376	571	3417
826	PNPN-01	4	652	4592	606	4941			630	4752	672	4026	678	4060
827	PNPN-02	4	708	4229	654	4575			679	4406	612	3661	615	3680
828	PNPN-03	4	745	4020	687	4360			734	4083	585	3507	590	3534
829	PNPN-04	4	729	4102	676	4426			714	4188	590	3530	595	3558
830	PNPN-05	4	657	4559	608	4930			645	4647	662	3967	664	3977
831	PNPN-06	4	651	4601	600	4988			633	4732	645	3863	673	4029
832	PNPN-07	4	750	3987	694	4311			741	4038	582	3482	590	3528
833	PNPN-08	4	747	4011	689	4349			733	4085	586	3507	595	3563
834	PNPN-09	4	721	4155	671	4465			703	4259	595	3560	600	3593
835	PNPN-10	4	684	4390	629	4778			667	4502	642	3857	664	3988
836	PNPN-11	4	723	4142	668	4484			698	4291	599	3589	605	3624
837	PNPN-12	4	666	4505	615	4879			655	4577	650	3899	659	3951
838	PNPN-13	4	773	3865	711	4203			752	3973	560	3346	566	3382
839	PNPN-14	4	687	4360	635	4717			672	4457	629	3767	634	3798
840	PNPN-15	4	843	3549	779	3841			824	3631	513	3067	517	3094
841	PNPN-16	4	775	3866	715	4190			757	3958	572	3428	576	3449
842	PNPN-17	4	702	4268	646	4638			686	4371	671	4023	673	4033
843	PNPN-18	4	657	4559	603	4971			638	4694	677	4055	683	4091
844	PNPN-19	4	774	3866	716	4179			755	3963	577	3452	581	3474
845	PNPN-20	4	666	4500	613	4886			646	4640	677	4052	683	4091
846	PNPN-21	4	760	3939	698	4287			741	4041	587	3510	595	3560
847	PNPN-22	4	629	4757	577	5185			613	4885	715	4277	722	4320
848	PNPN-23	4	629	4768	576	5207			615	4876	711	4262	742	4451
849	PNPN-24	4	586	5118	539	5569			579	5184	766	4594	771	4624
850	PNPN-25	4	766	3909	709	4223			742	4035	573	3431	576	3447
851	PNPN-01	4	643	4660	592	5057			623	4806	681	4077	683	4090
852	PNPN-02	4	702	4264	642	4659			677	4418	620	3711	625	3739
853	PNPN-03	4	735	4078	675	4437			704	4254	595	3562	600	3594
854	PNPN-04	4	717	4173	660	4530			684	4375	599	3584	605	3618
855	PNPN-05	4	645	4642	595	5036			621	4825	671	4020	673	4030
856	PNPN-06	4	640	4677	588	5090			630	4755	655	3922	688	4118
857	PNPN-07	4	740	4043	679	4404			735	4071	591	3534	595	3558
858	PNPN-08	4	735	4073	675	4436			710	4220	594	3557	600	3593

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
859	PNPN-09	4	707	4236	649	4615			697	4294	608	3638	615	3681
860	PNPN-10	4	672	4471	615	4881			661	4545	650	3904	654	3927
861	PNPN-11	4	710	4217	652	4592			693	4320	611	3660	615	3683
862	PNPN-12	4	658	4556	602	4984			650	4612	660	3957	669	4011
863	PNPN-13	4	759	3937	695	4299			749	3992	572	3419	576	3442
864	PNPN-14	4	677	4424	622	4819			666	4497	638	3820	644	3858
865	PNPN-15	4	819	3652	754	3967			801	3734	526	3144	532	3182
866	PNPN-16	4	762	3932	697	4299			751	3989	585	3505	590	3533
867	PNPN-17	4	673	4452	616	4860			663	4519	697	4175	703	4210
868	PNPN-18	4	643	4658	585	5124			631	4746	690	4130	693	4151
869	PNPN-19	4	758	3945	697	4293			744	4022	594	3555	595	3558
870	PNPN-20	4	657	4562	602	4975			641	4676	689	4127	693	4151
871	PNPN-21	4	750	3989	684	4377			734	4076	598	3580	605	3620
872	PNPN-22	4	620	4826	567	5277			609	4917	727	4351	732	4380
873	PNPN-23	4	620	4837	564	5317			614	4888	723	4335	756	4534
874	PNPN-24	4	579	5182	529	5667			572	5246	776	4655	781	4683
875	PNPN-25	4	749	3992	689	4340			717	4170	586	3504	590	3528
876	PNPN-01	4	640	4673	586	5104			622	4813	689	4120	693	4146
877	PNPN-02	4	692	4322	640	4673			665	4498	628	3757	634	3793
878	PNPN-03	4	729	4108	676	4430			700	4279	604	3616	610	3654
879	PNPN-04	4	708	4226	664	4506			686	4362	608	3636	615	3678
880	PNPN-05	4	641	4674	591	5066			615	4868	681	4075	683	4090
881	PNPN-06	4	634	4723	589	5080			612	4893	666	3987	698	4177
882	PNPN-07	4	735	4071	678	4413			704	4247	602	3600	605	3618
883	PNPN-08	4	728	4111	674	4441			696	4300	601	3599	610	3651
884	PNPN-09	4	698	4291	648	4619			685	4373	619	3707	625	3741
885	PNPN-10	4	669	4487	618	4862			658	4562	659	3954	683	4101
886	PNPN-11	4	704	4253	649	4617			686	4364	621	3716	625	3743
887	PNPN-12	4	652	4598	601	4993			647	4637	671	4022	673	4035
888	PNPN-13	4	752	3975	693	4310			738	4050	581	3473	586	3501
889	PNPN-14	4	668	4485	624	4802			666	4499	645	3864	649	3886
890	PNPN-15	4	810	3694	753	3973			789	3792	539	3220	542	3241
891	PNPN-16	4	754	3972	697	4294			742	4034	594	3554	600	3592
892	PNPN-17	4	660	4538	610	4907			652	4590	715	4277	717	4292
893	PNPN-18	4	637	4705	587	5107			625	4792	698	4180	703	4211
894	PNPN-19	4	748	3995	693	4315			739	4046	603	3604	610	3645
895	PNPN-20	4	645	4643	601	4983			636	4709	698	4179	703	4211
896	PNPN-21	4	745	4017	683	4379			725	4128	604	3611	610	3649
897	PNPN-22	4	615	4865	565	5296			602	4974	736	4401	742	4440
898	PNPN-23	4	616	4872	564	5322			601	4990	732	4390	761	4564
899	PNPN-24	4	574	5223	528	5678			569	5269	785	4704	791	4743
900	PNPN-25	4	742	4032	690	4336			722	4144	595	3555	600	3588
901	PNPN-01	4	634	4718	577	5184			615	4867	694	4150	698	4175
902	PNPN-02	4	689	4340	631	4739			660	4530	632	3780	634	3791
903	PNPN-03	4	721	4155	664	4512			695	4308	611	3659	615	3683
904	PNPN-04	4	703	4256	645	4636			675	4433	616	3682	620	3708
905	PNPN-05	4	634	4722	583	5140			612	4896	686	4105	693	4150
906	PNPN-06	4	624	4795	576	5199			602	4974	672	4018	703	4207
907	PNPN-07	4	724	4131	664	4502			703	4252	607	3628	610	3647
908	PNPN-08	4	725	4131	666	4497			695	4310	624	3735	615	3681
909	PNPN-09	4	694	4314	641	4671			674	4442	624	3732	630	3770
910	PNPN-10	4	662	4535	610	4925			643	4669	662	3976	664	3987
911	PNPN-11	4	697	4297	641	4673			665	4501	628	3760	634	3795
912	PNPN-12	4	650	4613	591	5069			631	4748	676	4052	683	4093
913	PNPN-13	4	744	4013	679	4401			727	4107	586	3502	590	3523
914	PNPN-14	4	667	4494	614	4878			658	4552	650	3892	654	3917
915	PNPN-15	4	798	3748	732	4086			781	3830	547	3272	551	3294
916	PNPN-16	4	744	4023	682	4389			731	4094	598	3581	605	3622
917	PNPN-17	4	649	4615	594	5043			638	4691	728	4359	732	4382
918	PNPN-18	4	632	4743	577	5191			612	4898	706	4227	712	4265
919	PNPN-19	4	741	4032	680	4397			721	4147	612	3654	615	3675
920	PNPN-20	4	644	4653	591	5070			622	4814	703	4209	708	4240
921	PNPN-21	4	738	4051	673	4443			716	4179	611	3651	615	3678
922	PNPN-22	4	611	4897	560	5343			595	5033	741	4434	747	4470
923	PNPN-23	4	607	4941	555	5404			596	5032	737	4421	771	4624
924	PNPN-24	4	570	5264	520	5771			560	5358	793	4752	800	4797
925	PNPN-25	4	733	4078	670	4461			718	4163	603	3605	605	3617
926	PNPN-01	4	626	4782	574	5215			609	4915	702	4198	708	4235
927	PNPN-02	4	682	4386	630	4744			656	4556	637	3806	639	3820
928	PNPN-03	4	717	4179	657	4561			690	4342	616	3686	620	3713
929	PNPN-04	4	697	4289	645	4635			669	4465	623	3724	630	3764
930	PNPN-05	4	630	4751	581	5156			607	4935	694	4152	698	4178

N	Probeta	E	Tsyl	Vsyl	Tusl	Vusl	Tbpv	Vbpv	Tmst	Vmst	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
931	PNPN-06	4	623	4803	574	5217			595	5033	680	4069	712	4261
932	PNPN-07	4	724	4131	660	4532			698	4282	612	3659	615	3676
933	PNPN-08	4	716	4179	658	4551			690	4339	611	3658	620	3710
934	PNPN-09	4	686	4360	630	4748			662	4518	629	3762	634	3793
935	PNPN-10	4	659	4556	603	4979			636	4721	666	3998	693	4158
936	PNPN-11	4	688	4350	635	4713			661	4531	634	3795	639	3825
937	PNPN-12	4	639	4689	586	5113			619	4840	684	4098	688	4122
938	PNPN-13	4	734	4068	674	4434			711	4200	594	3546	600	3583
939	PNPN-14	4	666	4497	609	4919			646	4637	655	3918	659	3945
940	PNPN-15	4	787	3797	721	4144			765	3906	556	3325	566	3382
941	PNPN-16	4	737	4062	677	4419			720	4156	606	3626	610	3650
942	PNPN-17	4	638	4691	586	5108			616	4859	738	4415	742	4442
943	PNPN-18	4	622	4817	574	5216			600	4990	711	4260	717	4293
944	PNPN-19	4	728	4104	671	4453			711	4203	620	3702	620	3703
945	PNPN-20	4	638	4693	589	5088			612	4892	710	4253	717	4293
946	PNPN-21	4	731	4093	669	4469			711	4208	615	3680	620	3708
947	PNPN-22	4	609	4917	555	5391			583	5132	745	4459	752	4500
948	PNPN-23	4	605	4959	552	5431			589	5090	745	4466	781	4683
949	PNPN-24	4	565	5311	518	5793			556	5392	798	4784	805	4827
950	PNPN-25	4	731	4090	664	4500			710	4208	608	3631	615	3675
951	PNPN-01	4	620	4823	569	5255			597	5013	714	4270	712	4258
952	PNPN-02	4	678	4409	627	4767			643	4652	642	3837	649	3880
953	PNPN-03	4	707	4235	652	4596			681	4400	624	3737	630	3772
954	PNPN-04	4	690	4329	638	4685			663	4505	629	3756	634	3788
955	PNPN-05	4	624	4797	576	5197			601	4981	701	4195	703	4205
956	PNPN-06	4	617	4846	569	5255			584	5120	715	4275	717	4288
957	PNPN-07	4	713	4194	655	4562			688	4346	620	3706	625	3735
958	PNPN-08	4	710	4211	653	4582			683	4381	634	3792	625	3738
959	PNPN-09	4	679	4407	624	4792			658	4544	634	3790	639	3821
960	PNPN-10	4	656	4577	598	5021			627	4789	672	4030	698	4188
961	PNPN-11	4	687	4358	626	4780			654	4578	643	3847	649	3884
962	PNPN-12	4	635	4718	583	5143			611	4903	693	4150	698	4182
963	PNPN-13	4	730	4089	665	4489			696	4292	603	3597	605	3612
964	PNPN-14	4	664	4511	605	4951			635	4717	660	3949	669	4005
965	PNPN-15	4	776	3848	713	4191			744	4013	569	3396	576	3440
966	PNPN-16	4	730	4100	670	4468			701	4267	615	3679	620	3709
967	PNPN-17	4	631	4743	580	5165			609	4919	749	4485	756	4525
968	PNPN-18	4	621	4825	570	5257			594	5045	720	4313	727	4353
969	PNPN-19	4	722	4139	667	4480			695	4299	628	3749	625	3733
970	PNPN-20	4	635	4719	585	5122			601	4986	719	4306	722	4323
971	PNPN-21	4	724	4133	663	4513			689	4340	624	3730	630	3767
972	PNPN-22	4	603	4962	553	5415			574	5213	755	4515	761	4554
973	PNPN-23	4	598	5019	549	5468			576	5211	753	4518	791	4744
974	PNPN-24	4	558	5373	512	5861			540	5552	809	4848	815	4887
975	PNPN-25	4	718	4163	655	4560			693	4313	616	3681	620	3704
976	PNPN-01	4	616	4854	565	5297					711	4253	717	4288
977	PNPN-02	4	674	4438	620	4821					642	3838	649	3880
978	PNPN-03	4	707	4238	645	4645					625	3742	630	3772
979	PNPN-04	4	686	4354	630	4745					632	3776	639	3817
980	PNPN-05	4	620	4821	569	5253					701	4192	708	4232
981	PNPN-06	4	613	4878	563	5311					716	4280	722	4318
982	PNPN-07	4	710	4211	648	4611					621	3710	625	3735
983	PNPN-08	4	709	4217	647	4625					636	3802	634	3791
984	PNPN-09	4	679	4407	622	4807					633	3788	639	3821
985	PNPN-10	4	655	4579	596	5032					670	4019	693	4157
986	PNPN-11	4	679	4406	621	4818					645	3857	649	3884
987	PNPN-12	4	633	4735	578	5186					693	4152	698	4181
988	PNPN-13	4	728	4099	663	4504					603	3598	610	3640
989	PNPN-14	4	656	4566	602	4976					660	3951	669	4005
990	PNPN-15	4	771	3875	706	4232					572	3418	576	3440
991	PNPN-16	4	727	4117	665	4501					615	3681	620	3709
992	PNPN-17	4	627	4774	576	5201					750	4487	756	4525
993	PNPN-18	4	618	4849	561	5337					722	4322	727	4353
994	PNPN-19	4	719	4156	661	4517					628	3748	634	3786
995	PNPN-20	4	634	4726	578	5180					721	4315	727	4353
996	PNPN-21	4	720	4154	658	4543					624	3731	630	3766
997	PNPN-22	4	600	4989	549	5453					755	4513	761	4552
998	PNPN-23	4	598	5012	545	5504					755	4524	766	4591
999	PNPN-24	4	558	5376	511	5865					809	4851	815	4885
1000	PNPN-25	4	718	4160	653	4575					617	3681	625	3731

B.2.3 Resultados de ensayos físico-mecánicos

N	Probeta	E	PCTO	Eglo	PEL	Eloc	CROT	Trot	Trotpos	Denl
1	PNRD-01	1	1,749	8025	0,156	8161				
2	PNRD-02	1	1,880	7134	0,159	7620				
3	PNRD-03	1	1,796	7577	0,142	8713				
4	PNRD-04	1	2,170	6211	0,210	5813				
5	PNRD-05	1	1,519	8918	0,128	9576				
6	PNRD-06	1	2,587	5263	0,209	5910				
7	PNRD-07	1	1,359	10015	0,108	11409				
8	PNRD-08	1	1,236	11009	0,098	12569				
9	PNRD-09	1	1,566	8648	0,122	10043				
10	PNRD-10	1	1,682	8009	0,129	9425				
11	PNRD-11	1	1,331	10226	0,094	13140				
12	PNRD-12	1	1,835	7306	0,143	8480				
13	PNRD-13	1	1,727	7887	0,155	7970				
14	PNRD-14	1	1,452	9520	0,118	10619				
15	PNRD-15	1	1,853	7385	0,168	7366				
16	PNRD-16	1	1,480	9287	0,116	10737				
17	PNRD-17	1	2,079	6515	0,178	6879				
18	PNRD-18	1	2,017	6717	0,210	5835				
19	PNRD-19	1	1,958	6881	0,208	5881				
20	PNRD-20	1	2,182	6305	0,174	7174				
21	PNRD-21	1	1,135	11997	0,088	13991				
22	PNRD-22	1	1,247	11027	0,097	12878				
23	PNRD-23	1	1,385	9725	0,108	11290				
24	PNRD-24	1	1,789	7570	0,159	7734				
25	PNRD-25	1	2,497	5508	0,250	4991				
226	PNRD-01	1	1,660	9294	0,145	9636	25,72	58,23	58,23	502
227	PNRD-02	1	1,752	9286	0,146	10115	21,35	50,13	30,63	419
228	PNRD-03	1	1,636	9942	0,137	10731	21,92	51,45	51,45	417
229	PNRD-04	1	1,979	8666	0,188	8261	15,79	37,05	37,05	414
230	PNRD-05	1	1,440	10822	0,126	11191	29,60	66,03	66,03	526
231	PNRD-06	1	2,300	7002	0,182	8027	13,65	32,53	28,91	395
232	PNRD-07	1	1,284	13511	0,109	14366	28,68	68,78	68,78	503
233	PNRD-08	1	1,161	15279	0,089	17966	43,94	110,20	110,20	569
234	PNRD-09	1	1,450	11958	0,130	12114	35,87	86,01	86,01	507
235	PNRD-10	1	1,534	10373	0,132	10959	37,99	85,35	85,35	437
236	PNRD-11	1	1,278	13433	0,101	15383	43,10	104,93	104,93	515
237	PNRD-12	1	1,688	8856	0,135	10043	26,08	57,37	57,37	515
238	PNRD-13	1	1,621	9818	0,144	10010	25,36	56,98	56,98	507
239	PNRD-14	1	1,422	11677	0,115	13122	44,39	101,13	101,13	505
240	PNRD-15	1	1,766	9411	0,150	10005	17,41	41,17	41,17	454
241	PNRD-16	1	1,389	12214	0,122	12632	43,53	99,90	99,90	529
242	PNRD-17	1	1,905	8813	0,159	9559	20,66	48,11	48,11	433
243	PNRD-18	1	1,946	7852	0,186	7455	19,78	45,46	45,46	440
244	PNRD-19	1	1,709	9025	0,178	7860	15,48	35,05	35,05	486
245	PNRD-20	1	2,046	7786	0,139	10411	16,02	37,34	37,34	506
246	PNRD-21	1	1,084	14865	0,086	17006	42,28	100,78	100,78	573
247	PNRD-22	1	1,184	13740	0,095	15431	55,68	130,70	130,70	582
248	PNRD-23	1	1,368	12142	0,106	14160	37,93	89,68	89,68	564
249	PNRD-24	1	1,603	10471	0,134	11386	35,05	81,64	81,64	473
250	PNRD-25	1	2,019	7968	0,198	7346	13,41	30,78	30,78	448
251	PNSY-01	2	1,498	8546	0,114	10196				
252	PNSY-02	2	1,503	8344	0,129	8785				
253	PNSY-03	2	1,322	9684	0,097	11977				
254	PNSY-04	2	1,430	8771	0,103	11050				
255	PNSY-05	2	1,447	8672	0,117	9719				
256	PNSY-06	2	1,475	8680	0,134	8636				
257	PNSY-07	2	1,182	10722	0,088	13067				
258	PNSY-08	2	1,300	9845	0,107	10811				
259	PNSY-09	2	1,106	11568	0,081	14362				
260	PNSY-10	2	1,590	8133	0,124	9427				
261	PNSY-11	2	1,080	12093	0,083	14174				
262	PNSY-12	2	1,452	8998	0,117	10084				
263	PNSY-13	2	1,962	6657	0,149	7939				
264	PNSY-14	2	2,055	6355	0,193	6143				
265	PNSY-15	2	1,227	10647	0,095	12425				
266	PNSY-16	2	1,075	11905	0,089	13049				

N	Probeta	E	PCTO	Eglo	PEL	Eloc	CROT	Trot	Trotpos	Denl
267	PNSY-17	2	1,449	8924	0,126	9307				
268	PNSY-18	2	1,360	9317	0,104	11056				
269	PNSY-19	2	1,378	9573	0,110	10821				
270	PNSY-20	2	1,230	10619	0,098	12049				
271	PNSY-21	2	1,317	9818	0,105	11112				
272	PNSY-22	2	1,543	8381	0,138	8482				
273	PNSY-23	2	1,236	10257	0,104	11010				
274	PNSY-24	2	1,974	6356	0,154	7376				
275	PNSY-25	2	1,495	8651	0,111	10509				
401	PNSY-01	2	1,152	12558	0,095	13845	34,03	68,99	68,99	472
402	PNSY-02	2	1,162	12262	0,105	12254	28,02	57,01	57,01	474
403	PNSY-03	2	1,288	11776	0,090	15231	39,43	81,92	81,92	480
404	PNSY-04	2	1,309	10668	0,095	13280	40,26	82,81	82,81	466
405	PNSY-05	2	1,451	10238	0,110	12246	40,39	83,33	83,33	501
406	PNSY-06	2	1,358	10770	0,122	10860	35,16	71,53	71,53	469
407	PNSY-07	2	1,099	13725	0,085	16168	49,17	101,09	101,09	539
408	PNSY-08	2	1,299	11138	0,106	12354	32,08	65,04	65,04	560
409	PNSY-09	2	0,972	15599	0,085	16242	45,77	96,77	86,02	518
410	PNSY-10	2	1,487	9732	0,115	11398	24,13	48,92	48,92	462
411	PNSY-11	2	1,013	14822	0,079	17128	53,14	110,01	110,01	543
412	PNSY-12	2	1,258	11560	0,105	12494	29,38	60,19	60,19	457
413	PNSY-13	2	1,575	8911	0,121	10509	32,50	66,37	66,37	439
414	PNSY-14	2	1,745	7836	0,159	7801	18,18	35,86	35,86	489
415	PNSY-15	2	1,099	13654	0,092	14752	42,30	89,12	74,27	502
416	PNSY-16	2	0,972	15369	0,083	16292	53,44	111,41	111,41	532
417	PNSY-17	2	1,312	11033	0,118	11134	49,18	99,71	99,71	488
418	PNSY-18	2	1,348	11196	0,098	13965	37,01	77,43	77,43	461
419	PNSY-19	2	1,293	11079	0,109	11946	33,68	68,05	68,05	480
420	PNSY-20	2	1,117	13093	0,098	13475	38,81	81,79	81,79	506
421	PNSY-21	2	1,266	11433	0,109	12032	39,76	82,03	82,03	501
422	PNSY-22	2	1,483	9464	0,127	10010	26,67	53,52	53,52	427
423	PNSY-23	2	1,228	11968	0,105	12722	41,95	87,77	87,77	628
424	PNSY-24	2	1,527	9094	0,116	10856	25,29	51,47	51,47	498
425	PNSY-25	2	1,358	10881	0,107	12557	35,87	74,52	53,82	479
426	PNNL-01	3	1,249	10245	0,092	12609				
427	PNNL-02	3	1,982	6363	0,162	7036				
428	PNNL-03	3	2,194	5835	0,168	6902				
429	PNNL-04	3	1,558	8093	0,125	9113				
430	PNNL-05	3	1,317	9624	0,109	10574				
431	PNNL-06	3	1,610	7751	0,132	8544				
432	PNNL-07	3	1,983	6296	0,151	7493				
433	PNNL-08	3	2,445	5156	0,231	4947				
434	PNNL-09	3	1,738	7184	0,132	8535				
435	PNNL-10	3	2,504	4984	0,192	5893				
436	PNNL-11	3	1,922	6495	0,165	6843				
437	PNNL-12	3	2,681	4704	0,208	5487				
438	PNNL-13	3	2,252	5571	0,172	6591				
439	PNNL-14	3	2,284	5466	0,164	6902				
440	PNNL-15	3	2,312	5400	0,191	5930				
441	PNNL-16	3	1,381	8992	0,104	10830				
442	PNNL-17	3	2,187	5679	0,188	5971				
443	PNNL-18	3	1,653	7588	0,127	8981				
444	PNNL-19	3	1,155	10594	0,085	13033				
445	PNNL-20	3	2,085	5956	0,146	7732				
446	PNNL-21	3	2,103	5819	0,177	6269				
447	PNNL-22	3	1,633	7801	0,121	9568				
448	PNNL-23	3	3,168	3960	0,293	3881				
449	PNNL-24	3	1,296	9442	0,109	10159				
450	PNNL-25	3	2,169	5754	0,174	6516				
701	PNNL-01	3	1,150	12850	0,086	15496	37,06	78,37	78,37	587
702	PNNL-02	3	1,552	9183	0,140	9249	21,16	43,05	21,53	492
703	PNNL-03	3	1,673	8476	0,132	9730	16,53	33,87	18,44	491
704	PNNL-04	3	1,353	10699	0,101	13022	29,53	62,02	62,02	608
705	PNNL-05	3	1,215	11497	0,096	13150	44,03	90,56	90,56	662
706	PNNL-06	3	1,471	9537	0,114	11152	27,95	57,08	57,08	590
707	PNNL-07	3	1,649	8775	0,131	10043	27,19	55,13	55,13	526
708	PNNL-08	3	1,956	7247	0,180	7134	22,20	44,70	44,70	519
709	PNNL-09	3	1,400	10339	0,114	11528	49,66	102,46	102,46	565
710	PNNL-10	3	1,830	7785	0,149	8670	13,61	27,69	27,69	480
711	PNNL-11	3	1,599	8956	0,141	9205	20,48	41,38	41,38	533
712	PNNL-12	3	1,988	7133	0,155	8260	23,64	48,44	48,44	492
713	PNNL-13	3	1,826	7683	0,157	8072	34,90	70,03	46,69	598

N	Probeta	E	PCTO	Eglo	PEL	Eloc	CROT	Trot	Trotpos	Denl
714	PNNL-14	3	1,800	7876	0,129	9970	16,15	32,52	25,29	577
715	PNNL-15	3	1,842	7349	0,149	8239	26,69	52,46	37,31	533
716	PNNL-16	3	1,127	13467	0,095	14460	29,77	64,07	64,07	579
717	PNNL-17	3	1,788	8225	0,180	7390	19,53	41,60	41,60	499
718	PNNL-18	3	1,422	10180	0,113	11646	27,97	58,74	45,69	519
719	PNNL-19	3	1,020	14800	0,082	16754	44,25	92,58	92,58	568
720	PNNL-20	3	1,769	8352	0,128	10490	13,12	27,26	27,26	600
721	PNNL-21	3	1,662	8710	0,148	8871	25,75	53,13	53,13	683
722	PNNL-22	3	1,331	10987	0,107	12336	44,70	92,55	87,40	568
723	PNNL-23	3	2,485	5978	0,263	5118	12,76	26,79	26,79	475
724	PNNL-24	3	1,136	13073	0,101	13324	36,24	74,76	74,76	542
725	PNNL-25	3	1,845	8008	0,155	8645	17,43	36,21	34,20	536
726	PNPN-01	4	1,567	8006	0,133	8558				
727	PNPN-02	4	2,512	4993	0,192	5903				
728	PNPN-03	4	2,237	5638	0,202	5660				
729	PNPN-04	4	2,323	5399	0,176	6471				
730	PNPN-05	4	1,761	7197	0,144	7988				
731	PNPN-06	4	1,652	7786	0,130	8968				
732	PNPN-07	4	2,326	5503	0,197	5878				
733	PNPN-08	4	2,287	5653	0,187	6250				
734	PNPN-09	4	2,448	5124	0,191	5940				
735	PNPN-10	4	2,045	6197	0,162	7103				
736	PNPN-11	4	1,973	6359	0,152	7485				
737	PNPN-12	4	1,900	6637	0,153	7445				
738	PNPN-13	4	2,786	4618	0,233	5011				
739	PNPN-14	4	2,125	5964	0,174	6603				
740	PNPN-15	4	2,763	4541	0,240	4737				
741	PNPN-16	4	2,385	5260	0,210	5412				
742	PNPN-17	4	1,514	8371	0,111	10313				
743	PNPN-18	4	2,022	6626	0,162	7507				
744	PNPN-19	4	2,452	5221	0,184	6315				
745	PNPN-20	4	1,656	8131	0,129	9442				
746	PNPN-21	4	2,353	5931	0,208	6068				
747	PNPN-22	4	1,670	8061	0,136	8956				
748	PNPN-23	4	1,479	9297	0,123	10098				
749	PNPN-24	4	1,368	9995	0,105	11788				
750	PNPN-25	4	2,606	4937	0,234	4982				
976	PNPN-01	4	1,482	9972	0,120	11133	31,79	66,05	66,05	602
977	PNPN-02	4	2,192	6674	0,165	8034	15,22	32,08	26,74	505
978	PNPN-03	4	2,173	6524	0,179	7194	20,43	41,86	41,86	529
979	PNPN-04	4	2,182	6174	0,147	8301	16,77	33,19	33,19	513
980	PNPN-05	4	1,548	9849	0,122	11331	31,55	65,10	65,10	524
981	PNPN-06	4	1,669	9137	0,123	11236	41,45	88,58	83,66	576
982	PNPN-07	4	2,117	7127	0,176	7756	17,00	35,57	35,57	582
983	PNPN-08	4	2,193	6881	0,162	8462	20,11	42,07	42,07	541
984	PNPN-09	4	2,105	7018	0,157	8510	17,73	36,84	36,84	471
985	PNPN-10	4	1,950	7346	0,147	8813	24,23	48,96	48,96	480
986	PNPN-11	4	1,863	7532	0,131	9692	28,23	56,64	56,64	536
987	PNPN-12	4	1,897	7252	0,145	8606	21,93	45,28	45,28	533
988	PNPN-13	4	2,470	5744	0,212	6058	9,74	20,68	20,68	513
989	PNPN-14	4	1,964	7523	0,158	8450	26,74	55,54	55,54	485
990	PNPN-15	4	2,366	5871	0,197	6402	15,43	31,40	31,40	581
991	PNPN-16	4	2,184	6837	0,178	7595	17,97	36,81	36,81	541
992	PNPN-17	4	1,398	11506	0,106	13800	41,86	89,45	89,45	590
993	PNPN-18	4	1,807	8095	0,142	9307	39,75	83,77	83,77	506
994	PNPN-19	4	2,210	6482	0,156	8332	20,42	41,26	34,38	529
995	PNPN-20	4	1,640	8738	0,118	11002	28,44	59,53	59,53	541
996	PNPN-21	4	2,064	7628	0,155	9224	19,44	42,74	42,74	536
997	PNPN-22	4	1,535	10043	0,126	11053	30,41	66,39	66,39	533
998	PNPN-23	4	1,444	10686	0,101	13879	35,47	80,31	80,31	584
999	PNPN-24	4	1,423	11179	0,106	13598	33,52	75,31	75,31	594
1000	PNPN-25	4	2,217	6594	0,185	7161	25,08	51,03	51,03	527

B.3 Muestra 1 (100 piezas a 0,5 m)

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
1	PNRD-01-I	1	100	150	94	148	498	26,3	35,6	0	4,15	598	15	2,04
2	PNRD-02-I	1	100	150	94	149	501	29,4	31,8	0	3,26	465	20	1,37
3	PNRD-03-I	1	100	150	94	149	497	28,8	26,8	0	3,25	466	20	1,39
4	PNRD-04-I	1	100	150	94	147	500	23,1	26,0	0	3,08	445	14	1,68
5	PNRD-05-I	1	100	150	95	149	497	49,6	115,4	0	6,60	938	16	1,67
6	PNRD-06-I	1	100	150	94	149	496	33,7	31,1	0	3,35	483	24	1,25
7	PNRD-07-I	1	100	150	95	149	501	50,5	112,5	0	6,48	913	19	1,78
8	PNRD-08-I	1	100	150	93	149	496	29,6	30,9	0	4,15	604	13	2,15
9	PNRD-09-I	1	100	150	94	148	501	38,2	63,9	0	4,90	703	14	1,81
10	PNRD-10-I	1	100	150	94	148	501	31,6	70,4	0	4,39	630	17	1,22
11	PNRD-11-I	1	100	150	95	148	501	52,7	130,9	0	6,99	992	16	1,86
12	PNRD-12-I	1	100	150	95	149	501	33,5	51,1	0	4,52	637	19	1,43
13	PNRD-13-I	1	100	150	95	149	501	37,6	62,6	0	4,70	662	16	1,84
14	PNRD-14-I	1	100	150	95	148	490	42,4	81,7	0	5,52	802	19	1,71
15	PNRD-15-I	1	100	150	95	146	494	26,0	27,5	0	3,29	480	13	1,84
16	PNRD-16-I	1	100	150	95	148	501	28,2	34,4	0	4,02	571	14	1,79
17	PNRD-17-I	1	100	150	95	148	501	36,1	45,7	0	3,97	563	18	1,44
18	PNRD-18-I	1	100	150	95	148	501	28,7	31,6	0	3,54	503	14	1,64
19	PNRD-19-I	1	100	150	95	148	501	30,6	56,2	0	4,54	645	15	1,74
20	PNRD-20-I	1	100	150	95	148	501	28,8	38,2	0	4,10	582	17	1,43
21	PNRD-21-I	1	100	150	95	147	492	27,5	66,3	0	5,24	763	14	1,52
22	PNRD-22-I	1	100	150	94	148	492	51,8	73,3	0	5,84	854	17	1,78
23	PNRD-23-I	1	100	150	94	149	500	34,4	63,3	0	5,69	812	13	2
24	PNRD-24-I	1	100	150	95	148	500	56,5	82,3	0	5,37	764	15	1,49
25	PNRD-25-I	1	100	150	94	148	502	51,0	56,5	0	4,63	663	19	1,4
26	PNRD-01-I	1	100	150	93	147	498	20,6	21,6	14	3,72	546	13	1,94
27	PNRD-02-I	1	100	150	93	147	501	21,3	22,3	14	3,03	442	16	1,44
28	PNRD-03-I	1	100	150	93	146	493	19,3	21,1	14	3,10	463	14	1,51
29	PNRD-04-I	1	100	150	94	147	500	18,8	20,8	14	2,95	427	13	1,61
30	PNRD-05-I	1	100	150	95	148	497	28,0	64,0	14	5,02	719	14	1,65
31	PNRD-06-I	1	100	150	92	148	495	21,3	21,9	14	3,12	462	18	1,45
32	PNRD-07-I	1	100	150	94	148	501	30,7	60,9	14	4,90	704	14	1,71
33	PNRD-08-I	1	100	150	92	147	496	22,0	22,5	14	3,89	579	14	2,78
34	PNRD-09-I	1	100	150	93	147	501	24,5	30,1	14	3,89	568	13	2,24
35	PNRD-10-I	1	100	150	93	147	500	25,3	32,4	14	3,41	499	16	1,37
36	PNRD-11-I	1	100	150	95	148	501	34,4	77,3	14	5,37	762	15	1,96
37	PNRD-12-I	1	100	150	94	148	501	25,0	25,2	14	3,74	537	14	1,56
38	PNRD-13-I	1	100	150	94	148	501	26,7	29,6	14	3,75	537	13	1,95
39	PNRD-14-I	1	100	150	95	148	490	26,2	35,8	14	4,13	600	14	1,63
40	PNRD-15-I	1	100	150	93	146	494	20,0	21,2	14	3,13	466	14	1,93
41	PNRD-16-I	1	100	150	94	147	501	21,8	23,3	14	3,69	533	9	2,1
42	PNRD-17-I	1	100	150	94	146	501	22,1	23,4	14	3,36	488	12	1,44
43	PNRD-18-I	1	100	150	93	148	501	18,1	19,9	14	3,23	468	14	1,96
44	PNRD-19-I	1	100	150	94	147	500	23,7	24,3	14	3,62	523	13	1,88
45	PNRD-20-I	1	100	150	94	147	501	19,8	21,0	14	3,59	518	15	1,66
46	PNRD-21-I	1	100	150	94	146	492	21,9	35,9	14	4,28	634	12	1,62
47	PNRD-22-I	1	100	150	93	147	492	30,4	45,4	14	4,90	729	14	1,95
48	PNRD-23-I	1	100	150	94	147	499	24,2	26,1	14	4,39	637	11	2,17
49	PNRD-24-I	1	100	150	93	147	500	32,2	39,2	14	4,10	600	12	1,67
50	PNRD-25-I	1	100	150	93	147	502	25,8	24,0	14	3,67	534	18	1,43
51	PNRD-01-I	1	100	150	93	146	498	16,9	16,8	31	3,57	528	10	2,14
52	PNRD-02-I	1	100	150	92	145	501	16,8	16,1	31	2,88	430	15	1,59
53	PNRD-03-I	1	100	150	92	146	492	16,2	16,1	31	2,97	450	14	1,72
54	PNRD-04-I	1	100	150	94	146	500	15,4	15,9	31	2,83	412	12	1,66
55	PNRD-05-I	1	100	150	94	147	497	23,0	29,1	31	3,95	576	11	1,66
56	PNRD-06-I	1	100	150	91	146	495	17,0	17,2	31	3,00	456	18	1,43
57	PNRD-07-I	1	100	150	94	146	500	24,0	25,0	31	3,81	555	13	1,61
58	PNRD-08-I	1	100	150	92	146	496	18,9	17,8	31	3,74	561	11	2,49
59	PNRD-09-I	1	100	150	93	145	501	19,1	19,2	31	3,56	528	10	2,27
60	PNRD-10-I	1	100	150	93	145	500	19,4	19,0	31	3,07	455	13	1,43
61	PNRD-11-I	1	100	150	94	147	501	24,5	30,5	31	3,95	570	13	2,11
62	PNRD-12-I	1	100	150	94	147	501	19,2	19,0	31	3,56	514	12	1,65
63	PNRD-13-I	1	100	150	95	146	501	19,6	19,9	31	3,46	498	10	2,16
64	PNRD-14-I	1	100	150	94	146	490	21,9	21,2	31	3,69	548	11	1,87
65	PNRD-15-I	1	100	150	92	145	494	17,1	17,1	31	3,02	458	14	1,8
66	PNRD-16-I	1	100	150	94	145	501	18,2	18,1	31	3,54	518	9	1,96

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
67	PNRD-17-I	1	100	150	93	145	501	17,2	17,5	31	3,20	474	11	1,65
68	PNRD-18-I	1	100	150	92	147	500	14,5	16,6	31	3,14	465	13	2,2
69	PNRD-19-I	1	100	150	94	147	500	18,2	19,1	31	3,46	501	12	1,91
70	PNRD-20-I	1	100	150	93	146	501	16,5	17,8	31	3,49	514	14	1,67
71	PNRD-21-I	1	100	150	94	146	492	20,0	23,1	31	3,88	574	12	1,69
72	PNRD-22-I	1	100	150	92	147	492	24,0	28,2	31	4,32	650	15	2,17
73	PNRD-23-I	1	100	150	93	146	499	19,9	21,0	31	4,22	622	12	2,17
74	PNRD-24-I	1	100	150	93	146	500	23,7	25,5	31	3,70	545	9	1,74
75	PNRD-25-I	1	100	150	92	147	501	19,1	18,4	31	3,50	517	12	1,41
76	PNRD-01-I	1	100	150	93	146	497	15,0	14,8	45	3,51	520	11	2,09
77	PNRD-02-I	1	100	150	90	145	501	15,0	14,4	45	2,83	433	14	1,68
78	PNRD-03-I	1	100	150	92	145	492	14,8	14,6	45	2,94	447	13	1,76
79	PNRD-04-I	1	100	150	93	145	500	13,9	14,4	45	2,79	414	13	1,63
80	PNRD-05-I	1	100	150	94	146	496	21,4	20,1	45	3,68	540	9	1,82
81	PNRD-06-I	1	100	150	91	145	495	15,1	15,1	45	2,94	450	17	1,5
82	PNRD-07-I	1	100	150	93	144	500	19,9	18,9	45	3,63	541	13	1,84
83	PNRD-08-I	1	100	150	90	144	495	16,9	15,8	45	3,67	573	9	2,49
84	PNRD-09-I	1	100	150	93	145	500	17,0	16,3	45	3,48	516	9	2,25
85	PNRD-10-I	1	100	150	92	144	500	16,4	15,1	45	2,97	448	12	1,44
86	PNRD-11-I	1	100	150	93	145	501	21,5	19,9	45	3,63	537	11	2,33
87	PNRD-12-I	1	100	150	94	147	501	17,2	16,2	45	3,47	502	10	1,68
88	PNRD-13-I	1	100	150	94	145	501	17,2	16,3	45	3,36	492	9	2,13
89	PNRD-14-I	1	100	150	93	144	490	18,3	17,3	45	3,57	543	9	2,17
90	PNRD-15-I	1	100	150	91	144	494	15,0	14,8	45	2,96	457	13	1,8
91	PNRD-16-I	1	100	150	94	144	500	16,3	15,8	45	3,47	512	9	2,29
92	PNRD-17-I	1	100	150	92	143	501	15,3	15,0	45	3,13	475	11	1,53
93	PNRD-18-I	1	100	150	92	146	500	12,8	14,0	45	3,07	457	13	1,98
94	PNRD-19-I	1	100	150	93	146	499	16,3	15,5	45	3,36	496	12	2,01
95	PNRD-20-I	1	100	150	92	145	500	14,6	14,9	45	3,41	511	11	1,83
96	PNRD-21-I	1	100	150	92	145	491	18,0	17,8	45	3,71	567	10	1,74
97	PNRD-22-I	1	100	150	92	146	491	22,1	20,3	45	4,06	615	14	2,36
98	PNRD-23-I	1	100	150	93	145	498	18,0	17,8	45	4,10	611	11	2,41
99	PNRD-24-I	1	100	150	92	145	500	21,5	18,8	45	3,50	525	8	1,79
100	PNRD-25-I	1	100	150	92	146	501	16,9	15,5	45	3,42	507	13	1,46
101	PNRD-01-I	1	100	150	92	145	497	12,3	11,6	73	3,41	515	11	2,32
102	PNRD-02-I	1	100	150	90	144	501	11,6	11,1	73	2,75	424	13	1,73
103	PNRD-03-I	1	100	150	91	144	492	12,0	11,3	73	2,85	442	12	1,94
104	PNRD-04-I	1	100	150	93	144	499	10,6	11,1	73	2,71	406	13	1,86
105	PNRD-05-I	1	100	150	93	144	496	14,9	13,3	73	3,47	523	8	2,28
106	PNRD-06-I	1	100	150	90	145	495	11,8	11,7	73	2,86	442	15	1,62
107	PNRD-07-I	1	100	150	92	142	500	14,3	12,8	73	3,44	526	11	1,93
108	PNRD-08-I	1	100	150	90	142	495	13,3	12,2	73	3,56	562	9	2,91
109	PNRD-09-I	1	100	150	93	143	500	13,4	12,4	73	3,36	506	9	2,65
110	PNRD-10-I	1	100	150	92	143	500	12,1	11,5	73	2,87	437	11	1,59
111	PNRD-11-I	1	100	150	91	143	501	15,5	13,4	73	3,43	527	10	2,46
112	PNRD-12-I	1	100	150	93	146	500	14,0	12,6	73	3,36	495	9	1,85
113	PNRD-13-I	1	100	150	93	143	501	13,5	12,3	73	3,25	487	9	2,47
114	PNRD-14-I	1	100	150	93	142	490	13,8	12,6	73	3,43	529	9	2,37
115	PNRD-15-I	1	100	150	90	142	494	11,5	11,4	73	2,87	455	11	1,76
116	PNRD-16-I	1	100	150	93	142	500	13,3	12,3	73	3,36	509	8	2,49
117	PNRD-17-I	1	100	150	92	141	501	11,6	11,6	73	3,04	467	10	1,72
118	PNRD-18-I	1	100	150	92	146	500	9,9	11,3	73	3,00	447	11	2,09
119	PNRD-19-I	1	100	150	93	145	499	13,1	12,2	73	3,26	485	10	2,28
120	PNRD-20-I	1	100	150	92	143	500	11,0	12,1	73	3,32	505	11	1,98
121	PNRD-21-I	1	100	150	92	145	491	14,7	13,7	73	3,59	547	11	1,99
122	PNRD-22-I	1	100	150	92	145	491	16,6	14,8	73	3,87	591	11	2,86
123	PNRD-23-I	1	100	150	92	144	498	14,6	14,2	73	3,98	603	11	2,68
124	PNRD-24-I	1	100	150	92	144	500	15,5	13,4	73	3,34	505	8	1,99
125	PNRD-25-I	1	100	150	92	146	501	13,6	12,3	73	3,32	494	11	1,6
126	PNRD-01-I	1	100	150	92	145	497	10,9	10,4	94	3,38	509	11	2,37
127	PNRD-02-I	1	100	150	90	143	501	10,4	10,1	94	2,73	423	14	1,78
128	PNRD-03-I	1	100	150	91	143	491	10,9	10,3	94	2,82	442	11	1,96
129	PNRD-04-I	1	100	150	93	144	499	9,6	10,3	94	2,69	403	11	1,92
130	PNRD-05-I	1	100	150	93	144	496	12,7	11,5	94	3,42	514	8	2,38
131	PNRD-06-I	1	100	150	90	145	495	10,6	10,8	94	2,83	438	14	1,75
132	PNRD-07-I	1	100	150	91	142	500	12,4	11,2	94	3,39	525	10	2,17
133	PNRD-08-I	1	100	150	90	142	495	11,9	11,0	94	3,52	556	9	3,09
134	PNRD-09-I	1	100	150	93	142	500	11,9	11,0	94	3,32	503	9	2,65
135	PNRD-10-I	1	100	150	92	143	500	10,5	10,1	94	2,84	431	11	1,74
136	PNRD-11-I	1	100	150	91	143	501	13,3	11,4	94	3,37	517	10	2,77
137	PNRD-12-I	1	100	150	93	146	500	12,5	11,1	94	3,32	489	9	1,86
138	PNRD-13-I	1	100	150	93	143	501	12,0	10,8	94	3,20	481	8	2,54

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
139	PNRD-14-I	1	100	150	93	142	490	12,1	11,0	94	3,38	522	8	2,39
140	PNRD-15-I	1	100	150	90	142	493	10,1	10,2	94	2,84	451	11	1,8
141	PNRD-16-I	1	100	150	93	141	500	12,0	11,0	94	3,32	507	8	2,55
142	PNRD-17-I	1	100	150	92	141	501	10,2	10,3	94	3,00	462	10	1,85
143	PNRD-18-I	1	100	150	91	146	500	8,6	10,0	94	2,96	446	10	2,19
144	PNRD-19-I	1	100	150	92	145	499	11,6	10,6	94	3,22	483	10	2,4
145	PNRD-20-I	1	100	150	92	143	500	9,4	10,6	94	3,28	499	11	2,08
146	PNRD-21-I	1	100	150	91	145	491	13,3	11,8	94	3,52	544	11	2,09
147	PNRD-22-I	1	100	150	92	145	491	15,0	12,4	94	3,79	579	9	2,34
148	PNRD-23-I	1	100	150	92	144	498	13,1	12,5	94	3,92	594	10	2,75
149	PNRD-24-I	1	100	150	92	143	499	13,7	11,4	94	3,28	500	8	2,14
150	PNRD-25-I	1	100	150	92	146	501	12,3	10,9	94	3,28	487	11	1,7
151	PNRD-01-I	1	100	150	92	145	497	7,7	8,4	135	3,32	500	11	2,47
152	PNRD-02-I	1	100	150	90	143	501	7,4	8,3	135	2,68	416	12	1,88
153	PNRD-03-I	1	100	150	91	143	491	8,2	8,4	135	2,78	434	11	2,13
154	PNRD-04-I	1	100	150	93	144	499	6,8	8,5	135	2,65	396	11	1,92
155	PNRD-05-I	1	100	150	93	144	496	8,6	8,8	135	3,33	502	8	2,63
156	PNRD-06-I	1	100	150	90	145	494	7,7	8,9	135	2,78	432	13	2,12
157	PNRD-07-I	1	100	150	91	140	500	8,4	8,6	135	3,31	520	10	2,24
158	PNRD-08-I	1	100	150	90	141	495	8,6	8,8	135	3,45	549	9	3,27
159	PNRD-09-I	1	100	150	93	142	500	8,9	8,9	135	3,26	493	8	2,78
160	PNRD-10-I	1	100	150	92	143	500	7,3	8,5	135	2,79	425	11	1,74
161	PNRD-11-I	1	100	150	91	142	501	9,3	8,9	135	3,30	509	9	3,09
162	PNRD-12-I	1	100	150	93	146	500	9,6	9,1	135	3,26	480	8	1,95
163	PNRD-13-I	1	100	150	93	142	501	8,7	8,8	135	3,14	475	8	2,97
164	PNRD-14-I	1	100	150	93	142	490	8,5	8,8	135	3,31	511	8	2,95
165	PNRD-15-I	1	100	150	90	141	493	7,2	8,5	135	2,80	447	10	2,02
166	PNRD-16-I	1	100	150	93	141	500	9,1	8,9	135	3,26	497	8	3,05
167	PNRD-17-I	1	100	150	92	141	501	7,4	8,7	135	2,96	455	10	1,96
168	PNRD-18-I	1	100	150	91	146	500	6,3	8,6	135	2,93	441	10	2,72
169	PNRD-19-I	1	100	150	92	145	499	8,6	8,9	135	3,17	476	10	2,45
170	PNRD-20-I	1	100	150	92	143	500	6,6	9,2	135	3,24	492	10	2,1
171	PNRD-21-I	1	100	150	91	145	491	10,4	9,7	135	3,46	534	11	2,32
172	PNRD-22-I	1	100	150	91	144	491	11,6	9,9	135	3,71	576	9	2,46
173	PNRD-23-I	1	100	150	92	144	498	9,7	10,4	135	3,85	583	10	3,02
174	PNRD-24-I	1	100	150	92	143	499	10,3	9,3	135	3,22	491	8	2,3
175	PNRD-25-I	1	100	150	92	145	501	9,5	9,1	135	3,23	483	11	1,78
176	PNSY-01-I	2	100	150	100	148	497	24,9	71,8	0	5,32	723	18	1,26
177	PNSY-02-I	2	100	150	99	149	495	30,4	35,5	0	4,12	564	22	0,87
178	PNSY-03-I	2	100	150	100	149	496	26,5	79,0	0	5,52	747	18	1
179	PNSY-04-I	2	100	150	99	150	496	27,4	43,1	0	4,43	602	25	1,04
180	PNSY-05-I	2	100	150	99	150	497	26,2	31,0	0	4,27	579	23	0,97
181	PNSY-06-I	2	100	150	99	147	495	22,1	22,3	0	3,96	549	20	1,12
182	PNSY-07-I	2	100	150	99	149	496	26,2	56,5	0	5,13	702	21	1
183	PNSY-08-I	2	100	150	99	149	497	29,4	35,7	0	4,55	621	21	1,29
184	PNSY-09-I	2	100	150	100	149	497	27,2	72,3	0	5,48	740	19	1,01
185	PNSY-10-I	2	100	150	99	150	497	29,4	66,6	0	5,05	685	26	1
186	PNSY-11-I	2	100	150	100	149	498	28,4	44,3	0	4,68	631	22	1,07
187	PNSY-12-I	2	100	150	100	149	497	28,5	44,2	0	4,37	589	25	0,94
188	PNSY-13-I	2	100	150	100	150	498	34,6	74,0	0	5,37	718	27	1,24
189	PNSY-14-I	2	100	150	100	150	498	28,2	30,2	0	4,37	586	20	0,96
190	PNSY-15-I	2	100	150	99	150	497	26,9	41,5	0	4,53	614	25	1,03
191	PNSY-16-I	2	100	150	99	148	497	24,6	25,2	0	4,11	564	14	1,3
192	PNSY-17-I	2	100	150	100	149	497	25,3	26,9	0	4,14	560	22	1,15
193	PNSY-18-I	2	100	150	100	149	495	40,5	81,6	0	5,27	714	25	0,96
194	PNSY-19-I	2	100	150	99	149	498	25,8	37,7	0	4,28	582	24	0,81
195	PNSY-20-I	2	100	150	99	150	497	27,7	34,6	0	4,39	594	20	0,97
196	PNSY-21-I	2	100	150	99	149	499	26,9	26,4	0	4,20	571	22	0,81
197	PNSY-22-I	2	100	150	99	149	497	26,7	51,0	0	4,48	612	26	0,92
198	PNSY-23-I	2	100	150	99	150	498	28,7	25,8	0	4,33	586	20	1,17
199	PNSY-24-I	2	100	150	99	150	497	30,3	61,7	0	5,33	722	23	1,09
200	PNSY-25-I	2	100	150	99	149	496	26,3	43,2	0	4,24	579	27	0,93
201	PNSY-01-I	2	100	150	100	147	496	21,0	48,3	6	4,59	630	16	1,08
202	PNSY-02-I	2	100	150	98	148	495	23,8	23,1	6	3,74	521	16	1,19
203	PNSY-03-I	2	100	150	99	147	496	20,9	53,3	6	4,72	654	15	1,16
204	PNSY-04-I	2	100	150	98	150	496	22,5	25,7	6	3,89	534	17	1,11
205	PNSY-05-I	2	100	150	98	147	496	21,9	21,5	6	3,96	554	20	0,99
206	PNSY-06-I	2	100	150	97	146	494	18,1	18,8	6	3,84	549	18	1,11
207	PNSY-07-I	2	100	150	99	147	496	21,3	31,8	6	4,32	599	18	1,17
208	PNSY-08-I	2	100	150	98	149	497	26,9	23,2	6	4,13	570	21	1,42
209	PNSY-09-I	2	100	150	99	147	496	21,6	47,9	6	4,70	652	18	1,08
210	PNSY-10-I	2	100	150	99	149	496	24,1	42,0	6	4,31	589	24	1,05

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
211	PNSY-11-I	2	100	150	99	149	498	26,8	30,0	6	4,22	574	17	1,06
212	PNSY-12-I	2	100	150	99	148	496	27,0	26,5	6	3,83	527	19	0,99
213	PNSY-13-I	2	100	150	100	149	498	27,1	44,6	6	4,46	601	26	1,1
214	PNSY-14-I	2	100	150	98	148	497	24,7	25,0	6	4,20	582	18	1,36
215	PNSY-15-I	2	100	150	99	149	497	24,4	25,8	6	4,03	549	20	0,99
216	PNSY-16-I	2	100	150	98	148	496	19,8	21,6	6	3,99	555	14	1,45
217	PNSY-17-I	2	100	150	99	147	497	20,6	22,1	6	3,99	551	18	1,35
218	PNSY-18-I	2	100	150	99	149	495	26,4	58,2	6	4,59	628	25	1
219	PNSY-19-I	2	100	150	99	149	497	24,7	25,1	6	3,89	530	19	1,08
220	PNSY-20-I	2	100	150	98	148	496	23,5	24,3	6	4,05	563	17	1,43
221	PNSY-21-I	2	100	150	98	148	499	23,2	22,9	6	4,08	564	21	1,08
222	PNSY-22-I	2	100	150	99	149	496	24,3	29,9	6	3,86	527	24	1
223	PNSY-23-I	2	100	150	98	149	498	23,8	22,5	6	4,22	580	20	1,41
224	PNSY-24-I	2	100	150	99	150	497	27,4	32,9	6	4,38	594	21	1,14
225	PNSY-25-I	2	100	150	98	148	495	24,8	26,3	6	3,74	520	19	1,04
226	PNSY-01-I	2	100	150	100	148	497	20,6	30,7	22	4,05	550	14	1,48
227	PNSY-02-I	2	100	150	98	148	495	18,6	18,9	22	3,61	503	14	1,27
228	PNSY-03-I	2	100	150	99	147	496	20,1	32,5	22	4,08	566	13	1,37
229	PNSY-04-I	2	100	150	98	150	497	18,3	19,6	22	3,70	507	16	1,29
230	PNSY-05-I	2	100	150	98	146	496	17,9	18,0	22	3,85	542	15	1,26
231	PNSY-06-I	2	100	150	98	145	495	16,1	16,8	22	3,78	537	15	1,22
232	PNSY-07-I	2	100	150	98	147	496	19,5	21,3	22	3,98	557	17	1,25
233	PNSY-08-I	2	100	150	98	149	497	21,1	19,5	22	4,01	553	18	1,75
234	PNSY-09-I	2	100	150	98	147	497	19,9	25,5	22	3,99	557	15	1,45
235	PNSY-10-I	2	100	150	98	149	497	21,8	24,5	22	3,78	520	22	1,14
236	PNSY-11-I	2	100	150	98	148	498	20,0	21,9	22	3,96	548	15	1,31
237	PNSY-12-I	2	100	150	98	148	497	20,1	21,1	22	3,67	508	15	1,24
238	PNSY-13-I	2	100	150	99	149	498	23,5	25,4	22	3,87	527	23	1,07
239	PNSY-14-I	2	100	150	98	149	497	20,4	21,7	22	4,09	563	16	1,42
240	PNSY-15-I	2	100	150	97	147	498	19,1	20,3	22	3,85	542	14	1,18
241	PNSY-16-I	2	100	150	97	146	498	17,2	18,9	22	3,90	553	14	1,45
242	PNSY-17-I	2	100	150	98	146	497	18,2	18,9	22	3,88	546	16	1,47
243	PNSY-18-I	2	100	150	99	149	495	26,4	35,9	22	3,94	540	24	1,13
244	PNSY-19-I	2	100	150	98	147	498	18,7	20,2	22	3,74	521	12	1,15
245	PNSY-20-I	2	100	150	98	147	497	20,0	20,4	22	3,92	548	16	1,43
246	PNSY-21-I	2	100	150	98	149	499	20,2	20,2	22	4,00	548	21	1,28
247	PNSY-22-I	2	100	150	98	149	497	19,1	21,0	22	3,59	495	18	1,12
248	PNSY-23-I	2	100	150	98	149	498	20,9	19,9	22	4,13	568	21	1,5
249	PNSY-24-I	2	100	150	99	148	496	19,6	21,0	22	3,99	549	16	1,5
250	PNSY-25-I	2	100	150	99	148	496	19,1	19,3	22	3,53	485	16	1,19
251	PNSY-01-I	2	100	150	98	147	496	19,3	17,9	48	3,65	511	14	1,64
252	PNSY-02-I	2	100	150	97	146	494	15,8	15,0	48	3,49	499	14	1,4
253	PNSY-03-I	2	100	150	98	146	496	19,0	18,8	48	3,66	516	15	1,33
254	PNSY-04-I	2	100	150	96	149	496	15,4	14,9	48	3,56	501	15	1,35
255	PNSY-05-I	2	100	150	96	144	496	15,6	14,5	48	3,73	545	15	1,38
256	PNSY-06-I	2	100	150	97	145	494	14,4	14,1	48	3,69	531	16	1,26
257	PNSY-07-I	2	100	150	96	146	496	16,5	15,9	48	3,80	547	18	1,48
258	PNSY-08-I	2	100	150	96	147	497	18,0	15,7	48	3,88	554	18	1,91
259	PNSY-09-I	2	100	150	96	146	496	16,4	16,6	48	3,71	534	14	1,68
260	PNSY-10-I	2	100	150	97	148	496	17,6	16,3	48	3,53	495	20	1,57
261	PNSY-11-I	2	100	150	97	146	498	15,9	16,9	48	3,79	538	14	1,58
262	PNSY-12-I	2	100	150	96	145	496	16,4	16,2	48	3,52	509	12	1,29
263	PNSY-13-I	2	100	150	97	147	497	16,9	16,6	48	3,60	507	18	1,46
264	PNSY-14-I	2	100	150	98	146	497	17,2	17,1	48	3,93	553	15	1,68
265	PNSY-15-I	2	100	150	97	145	497	15,4	15,8	48	3,71	530	13	1,52
266	PNSY-16-I	2	100	150	96	145	497	14,2	14,9	48	3,77	545	13	1,61
267	PNSY-17-I	2	100	150	97	145	497	15,2	15,3	48	3,77	539	15	1,7
268	PNSY-18-I	2	100	150	98	146	496	18,8	18,5	48	3,44	484	19	1,22
269	PNSY-19-I	2	100	150	97	145	498	15,2	15,6	48	3,59	513	13	1,45
270	PNSY-20-I	2	100	150	97	145	496	16,2	15,7	48	3,77	541	14	1,72
271	PNSY-21-I	2	100	150	97	148	499	15,7	16,1	48	3,86	538	20	1,55
272	PNSY-22-I	2	100	150	97	145	496	14,5	15,3	48	3,42	491	15	1,5
273	PNSY-23-I	2	100	150	97	149	498	17,4	16,1	48	4,00	555	19	1,51
274	PNSY-24-I	2	100	150	98	146	496	14,9	15,3	48	3,80	536	14	1,73
275	PNSY-25-I	2	100	150	97	145	495	14,4	14,4	48	3,38	486	12	1,31
276	PNSY-01-I	2	100	150	97	147	496	16,4	15,4	58	3,57	505	14	1,8
277	PNSY-02-I	2	100	150	96	145	494	14,1	13,8	58	3,46	503	12	1,48
278	PNSY-03-I	2	100	150	97	146	496	16,5	16,1	58	3,58	509	15	1,36
279	PNSY-04-I	2	100	150	96	148	496	13,6	13,5	58	3,51	499	15	1,61
280	PNSY-05-I	2	100	150	96	144	496	13,8	13,4	58	3,70	539	15	1,41
281	PNSY-06-I	2	100	150	97	145	494	13,1	13,1	58	3,66	527	16	1,4
282	PNSY-07-I	2	100	150	96	145	496	15,1	14,5	58	3,76	544	17	1,57

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
283	PNSY-08-I	2	100	150	96	147	497	16,6	14,6	58	3,85	549	18	2,24
284	PNSY-09-I	2	100	150	96	146	496	14,9	14,9	58	3,65	526	14	1,79
285	PNSY-10-I	2	100	150	96	148	496	15,8	14,3	58	3,47	492	18	1,51
286	PNSY-11-I	2	100	150	97	145	498	14,4	15,2	58	3,74	534	12	1,74
287	PNSY-12-I	2	100	150	96	144	496	14,9	14,6	58	3,47	506	12	1,23
288	PNSY-13-I	2	100	150	97	146	497	14,7	14,7	58	3,54	503	17	1,47
289	PNSY-14-I	2	100	150	97	146	497	16,1	15,5	58	3,88	551	16	1,75
290	PNSY-15-I	2	100	150	96	144	497	13,9	14,5	58	3,66	533	13	1,63
291	PNSY-16-I	2	100	150	96	144	497	13,4	13,8	58	3,74	544	13	1,87
292	PNSY-17-I	2	100	150	97	144	497	14,1	14,2	58	3,73	537	15	1,81
293	PNSY-18-I	2	100	150	97	145	495	15,9	15,5	58	3,35	481	19	1,39
294	PNSY-19-I	2	100	150	96	144	497	13,8	14,2	58	3,55	517	13	1,52
295	PNSY-20-I	2	100	150	96	144	496	15,0	14,3	58	3,73	543	12	1,78
296	PNSY-21-I	2	100	150	96	147	498	15,6	14,7	58	3,81	543	19	1,89
297	PNSY-22-I	2	100	150	96	144	496	13,3	13,7	58	3,38	492	16	1,71
298	PNSY-23-I	2	100	150	96	149	498	16,3	14,7	58	3,95	555	19	1,85
299	PNSY-24-I	2	100	150	99	145	496	13,8	13,6	58	3,75	526	15	1,88
300	PNSY-25-I	2	100	150	96	146	495	12,9	13,0	58	3,34	482	12	1,29
301	PNSY-01-I	2	100	150	98	145	496	13,5	12,3	76	3,48	493	15	1,82
302	PNSY-02-I	2	100	150	96	145	495	11,6	11,7	76	3,39	493	11	1,49
303	PNSY-03-I	2	100	150	97	146	496	13,5	12,8	76	3,48	495	14	1,48
304	PNSY-04-I	2	100	150	96	148	497	10,4	11,3	76	3,45	488	14	1,64
305	PNSY-05-I	2	100	150	96	144	495	11,7	11,4	76	3,63	531	15	1,52
306	PNSY-06-I	2	100	150	97	145	494	11,0	11,3	76	3,60	518	14	1,47
307	PNSY-07-I	2	100	150	96	145	495	12,4	12,2	76	3,68	534	18	1,5
308	PNSY-08-I	2	100	150	96	147	496	14,0	12,7	76	3,78	540	16	2,47
309	PNSY-09-I	2	100	150	96	145	496	12,2	12,5	76	3,58	519	14	1,85
310	PNSY-10-I	2	100	150	96	149	496	12,6	12,0	76	3,40	479	17	1,63
311	PNSY-11-I	2	100	150	97	144	497	12,0	12,9	76	3,67	528	12	1,69
312	PNSY-12-I	2	100	150	96	144	496	12,3	12,5	76	3,41	497	12	1,37
313	PNSY-13-I	2	100	150	97	145	496	12,0	12,3	76	3,46	497	14	1,47
314	PNSY-14-I	2	100	150	97	145	497	13,6	13,3	76	3,81	545	15	1,78
315	PNSY-15-I	2	100	150	96	144	497	11,3	12,6	76	3,60	524	14	1,66
316	PNSY-16-I	2	100	150	96	144	496	11,2	12,0	76	3,68	536	13	1,74
317	PNSY-17-I	2	100	150	97	144	497	12,0	12,7	76	3,68	530	15	1,85
318	PNSY-18-I	2	100	150	97	143	495	12,2	12,9	76	3,27	477	16	1,5
319	PNSY-19-I	2	100	150	96	144	497	11,5	12,6	76	3,50	509	12	1,48
320	PNSY-20-I	2	100	150	96	143	496	12,6	12,6	76	3,67	539	12	1,88
321	PNSY-21-I	2	100	150	96	145	498	13,3	13,1	76	3,76	542	18	2,01
322	PNSY-22-I	2	100	150	96	145	496	11,0	12,0	76	3,33	482	14	1,37
323	PNSY-23-I	2	100	150	95	149	498	14,1	13,0	76	3,89	552	19	1,81
324	PNSY-24-I	2	100	150	99	145	496	11,2	11,9	76	3,69	518	13	1,92
325	PNSY-25-I	2	100	150	96	145	495	10,4	11,5	76	3,30	478	14	1,39
326	PNSY-01-I	2	100	150	96	146	496	11,4	10,8	92	3,43	494	14	1,88
327	PNSY-02-I	2	100	150	95	144	494	10,1	10,7	92	3,36	498	11	1,63
328	PNSY-03-I	2	100	150	96	144	497	11,4	11,4	92	3,43	500	15	1,52
329	PNSY-04-I	2	100	150	95	147	496	8,8	10,3	92	3,42	493	12	1,69
330	PNSY-05-I	2	100	150	95	143	496	10,1	10,5	92	3,60	535	13	1,57
331	PNSY-06-I	2	100	150	96	144	494	9,7	10,5	92	3,57	523	14	1,48
332	PNSY-07-I	2	100	150	95	144	495	10,9	11,1	92	3,65	538	19	1,71
333	PNSY-08-I	2	100	150	96	148	497	12,2	11,7	92	3,75	531	16	2,51
334	PNSY-09-I	2	100	150	95	145	496	10,6	11,3	92	3,54	518	14	1,7
335	PNSY-10-I	2	100	150	95	148	496	10,8	10,7	92	3,36	481	14	1,83
336	PNSY-11-I	2	100	150	96	143	498	10,3	11,7	92	3,62	530	13	1,83
337	PNSY-12-I	2	100	150	95	143	496	10,8	11,3	92	3,37	500	12	1,37
338	PNSY-13-I	2	100	150	96	145	497	10,2	11,1	92	3,43	495	13	1,35
339	PNSY-14-I	2	100	150	96	144	496	11,3	12,0	92	3,76	549	13	1,73
340	PNSY-15-I	2	100	150	95	143	498	9,9	11,4	92	3,57	527	14	1,8
341	PNSY-16-I	2	100	150	95	143	496	9,9	11,0	92	3,64	541	12	1,75
342	PNSY-17-I	2	100	150	96	143	497	10,7	11,7	92	3,65	535	14	1,87
343	PNSY-18-I	2	100	150	96	143	494	10,3	11,2	92	3,23	476	17	1,53
344	PNSY-19-I	2	100	150	96	143	497	10,2	11,4	92	3,46	507	12	1,49
345	PNSY-20-I	2	100	150	96	143	496	11,1	11,4	92	3,63	533	10	2,04
346	PNSY-21-I	2	100	150	96	147	498	11,7	11,9	92	3,72	529	16	2,24
347	PNSY-22-I	2	100	150	97	138	495	9,7	10,8	92	3,29	496	13	1,4
348	PNSY-23-I	2	100	150	95	148	497	12,8	11,8	92	3,85	551	20	1,91
349	PNSY-24-I	2	100	150	98	144	496	9,5	10,6	92	3,65	521	10	2,34
350	PNSY-25-I	2	100	150	96	144	496	9,2	10,4	92	3,27	476	12	1,52
351	PNSY-01-I	2	100	150	96	146	496	8,6	9,3	131	3,38	487	14	1,92
352	PNSY-02-I	2	100	150	96	145	495	8,0	9,4	131	3,33	483	11	1,64
353	PNSY-03-I	2	100	150	96	144	495	8,6	9,8	131	3,38	494	13	1,53
354	PNSY-04-I	2	100	150	95	147	496	6,5	9,2	131	3,38	488	12	1,67

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
355	PNSY-05-I	2	100	150	95	143	496	7,6	9,3	131	3,56	529	12	1,61
356	PNSY-06-I	2	100	150	95	144	494	7,7	9,2	131	3,53	523	12	1,54
357	PNSY-07-I	2	100	150	96	145	495	8,6	9,8	131	3,60	523	15	1,86
358	PNSY-08-I	2	100	150	95	148	497	9,8	10,3	131	3,70	530	15	2,56
359	PNSY-09-I	2	100	150	95	146	496	8,2	10,0	131	3,50	508	14	1,95
360	PNSY-10-I	2	100	150	95	148	496	8,5	9,5	131	3,32	476	16	2,06
361	PNSY-11-I	2	100	150	96	143	497	8,5	10,4	131	3,58	525	12	1,9
362	PNSY-12-I	2	100	150	95	142	496	8,5	10,1	131	3,33	498	13	1,43
363	PNSY-13-I	2	100	150	96	145	496	7,8	10,6	131	3,41	494	12	1,47
364	PNSY-14-I	2	100	150	96	144	496	9,8	10,6	131	3,72	542	11	1,8
365	PNSY-15-I	2	100	150	95	141	497	8,2	10,3	131	3,53	530	11	1,76
366	PNSY-16-I	2	100	150	95	142	496	8,2	10,7	131	3,63	543	11	1,81
367	PNSY-17-I	2	100	150	96	143	496	9,1	10,6	131	3,61	531	14	1,84
368	PNSY-18-I	2	100	150	96	142	494	7,9	10,0	131	3,19	474	15	1,63
369	PNSY-19-I	2	100	150	96	143	497	8,0	10,3	131	3,43	502	12	1,53
370	PNSY-20-I	2	100	150	96	142	496	8,9	10,4	131	3,60	532	11	2,26
371	PNSY-21-I	2	100	150	96	147	498	9,6	10,6	131	3,67	523	16	2,08
372	PNSY-22-I	2	100	150	96	144	495	8,0	9,9	131	3,26	477	16	1,48
373	PNSY-23-I	2	100	150	95	148	497	10,4	10,7	131	3,81	545	18	1,86
374	PNSY-24-I	2	100	150	98	144	496	7,6	10,0	131	3,63	518	12	2,09
375	PNSY-25-I	2	100	150	96	144	496	6,8	9,7	131	3,25	473	14	1,56
376	PNNL-01-I	3	100	150	100	149	497	32,1	56,2	0	6,23	842	16	1,04
377	PNNL-02-I	3	100	150	99	149	503	43,2	85,4	0	6,64	895	22	0,89
378	PNNL-03-I	3	100	150	100	149	499	40,1	113,1	0	7,19	967	21	0,84
379	PNNL-04-I	3	100	150	100	149	499	30,1	51,3	0	5,87	789	15	0,94
380	PNNL-05-I	3	100	150	100	150	497	38,5	68,7	0	7,58	1016	11	1,16
381	PNNL-06-I	3	100	150	100	151	493	36,8	64,6	0	6,86	922	13	0,71
382	PNNL-07-I	3	100	150	99	150	502	43,8	88,7	0	6,40	859	19	0,64
383	PNNL-08-I	3	100	150	100	150	497	36,0	81,0	0	6,07	814	20	0,56
384	PNNL-09-I	3	100	150	100	150	501	34,6	73,3	0	6,25	832	17	0,88
385	PNNL-10-I	3	100	150	99	150	498	29,7	55,3	0	5,65	763	24	0,59
386	PNNL-11-I	3	100	150	99	150	500	42,0	63,4	0	5,90	795	22	0,61
387	PNNL-12-I	3	100	150	100	151	500	31,6	37,9	0	5,18	686	19	0,85
388	PNNL-13-I	3	100	150	100	150	500	33,2	56,3	0	6,92	923	20	0,55
389	PNNL-14-I	3	100	150	100	150	501	44,3	123,5	0	7,98	1062	19	1,02
390	PNNL-15-I	3	100	150	99	149	497	29,8	31,6	0	4,59	626	19	1,09
391	PNNL-16-I	3	100	150	100	149	494	32,2	75,1	0	7,29	990	14	0,61
392	PNNL-17-I	3	100	150	99	149	496	33,5	30,3	0	4,33	592	17	0,65
393	PNNL-18-I	3	100	150	99	150	500	32,5	30,3	0	4,42	595	19	0,78
394	PNNL-19-I	3	100	150	99	149	498	32,9	64,7	0	5,79	788	16	0,86
395	PNNL-20-I	3	100	150	99	150	496	38,3	28,4	0	4,10	557	19	0,47
396	PNNL-21-I	3	100	150	99	149	497	39,7	90,6	0	6,54	892	17	0,91
397	PNNL-22-I	3	100	150	99	149	499	40,1	71,4	0	6,92	939	18	0,49
398	PNNL-23-I	3	100	150	99	149	497	47,2	109,5	0	6,47	882	22	0,43
399	PNNL-24-I	3	100	150	98	149	499	31,5	50,5	0	5,59	767	17	0,72
400	PNNL-25-I	3	100	150	99	150	498	32,6	26,4	0	4,43	600	16	0,84
401	PNNL-01-I	3	100	150	99	150	496	24,0	43,2	6	5,72	776	15	0,57
402	PNNL-02-I	3	100	150	99	151	506	28,6	73,0	6	6,19	819	19	0,57
403	PNNL-03-I	3	100	150	100	150	500	25,8	101,4	6	6,80	906	18	0,62
404	PNNL-04-I	3	100	150	100	150	500	28,1	41,9	6	5,50	734	13	1,09
405	PNNL-05-I	3	100	150	99	150	498	34,3	60,0	6	7,18	971	12	0,97
406	PNNL-06-I	3	100	150	100	150	494	30,5	57,4	6	6,56	886	11	0,5
407	PNNL-07-I	3	100	150	100	150	502	32,1	78,1	6	6,04	803	17	0,59
408	PNNL-08-I	3	100	150	100	149	497	27,0	66,9	6	5,60	756	22	0,54
409	PNNL-09-I	3	100	150	100	150	500	27,1	58,8	6	5,73	763	16	0,84
410	PNNL-10-I	3	100	150	99	151	499	27,4	45,3	6	5,28	708	16	0,57
411	PNNL-11-I	3	100	150	100	150	499	29,0	54,7	6	5,59	746	20	0,56
412	PNNL-12-I	3	100	150	100	149	500	26,9	32,9	6	5,00	670	16	0,69
413	PNNL-13-I	3	100	150	100	150	501	18,9	50,6	6	6,67	887	20	0,57
414	PNNL-14-I	3	100	150	100	150	501	33,1	116,3	6	7,73	1028	14	0,81
415	PNNL-15-I	3	100	150	100	150	498	21,9	28,3	6	4,48	599	19	0,79
416	PNNL-16-I	3	100	150	99	150	495	27,6	66,1	6	6,91	940	13	0,86
417	PNNL-17-I	3	100	150	99	150	496	29,8	25,5	6	4,17	566	17	0,82
418	PNNL-18-I	3	100	150	99	149	500	26,9	24,6	6	4,23	573	18	0,82
419	PNNL-19-I	3	100	150	99	150	499	28,0	55,9	6	5,48	739	14	0,76
420	PNNL-20-I	3	100	150	99	151	496	33,7	27,1	6	4,06	547	16	0,62
421	PNNL-21-I	3	100	150	100	150	497	30,4	84,4	6	6,33	848	19	0,56
422	PNNL-22-I	3	100	150	99	150	496	33,5	66,8	6	6,73	914	16	0,66
423	PNNL-23-I	3	100	150	99	150	498	30,7	104,6	6	6,32	854	22	0,36
424	PNNL-24-I	3	100	150	99	150	495	26,5	47,3	6	5,47	744	15	0,64
425	PNNL-25-I	3	100	150	99	149	498	28,6	24,9	6	4,38	597	16	0,78
426	PNNL-01-I	3	100	150	99	150	497	24,4	33,7	14	5,34	723	15	0,88

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
427	PNNL-02-I	3	100	150	100	150	507	29,6	54,6	14	5,53	728	20	0,53
428	PNNL-03-I	3	100	150	100	150	499	28,3	82,5	14	6,16	823	19	0,51
429	PNNL-04-I	3	100	150	100	150	501	24,9	28,9	14	5,00	665	12	0,72
430	PNNL-05-I	3	100	150	99	150	498	32,9	37,3	14	6,17	834	11	0,77
431	PNNL-06-I	3	100	150	99	150	494	29,2	41,0	14	5,88	802	12	0,54
432	PNNL-07-I	3	100	150	99	150	504	29,5	56,3	14	5,31	709	17	0,76
433	PNNL-08-I	3	100	150	99	149	498	26,7	48,6	14	4,99	679	22	0,89
434	PNNL-09-I	3	100	150	100	150	501	25,8	45,0	14	5,23	696	17	0,81
435	PNNL-10-I	3	100	150	100	150	499	24,9	34,4	14	4,89	653	20	0,85
436	PNNL-11-I	3	100	150	100	150	499	28,6	42,6	14	5,15	688	21	0,73
437	PNNL-12-I	3	100	150	99	150	500	26,0	25,9	14	4,73	638	16	0,84
438	PNNL-13-I	3	100	150	100	150	502	18,6	36,9	14	6,06	805	20	0,53
439	PNNL-14-I	3	100	150	100	150	502	28,6	96,9	14	7,03	934	13	1,02
440	PNNL-15-I	3	100	150	100	150	498	25,2	23,3	14	4,30	576	19	0,73
441	PNNL-16-I	3	100	150	99	149	494	25,1	54,7	14	6,43	883	12	0,85
442	PNNL-17-I	3	100	150	99	150	496	23,9	22,6	14	4,07	553	15	1,23
443	PNNL-18-I	3	100	150	99	149	501	23,7	22,4	14	4,15	562	17	0,69
444	PNNL-19-I	3	100	150	99	150	499	23,9	40,8	14	4,95	668	14	0,89
445	PNNL-20-I	3	100	150	100	150	496	26,8	24,1	14	3,96	532	17	0,61
446	PNNL-21-I	3	100	150	100	150	497	28,1	72,1	14	5,90	792	19	0,67
447	PNNL-22-I	3	100	150	100	151	495	33,8	56,2	14	6,30	843	14	1,16
448	PNNL-23-I	3	100	150	99	150	498	27,6	86,8	14	5,77	780	21	0,47
449	PNNL-24-I	3	100	150	99	149	496	23,8	36,0	14	5,05	690	14	0,61
450	PNNL-25-I	3	100	150	99	149	498	24,3	22,3	14	4,29	584	17	0,76
451	PNNL-01-I	3	100	150	98	149	496	25,2	29,9	20	5,18	715	16	0,95
452	PNNL-02-I	3	100	150	98	149	504	30,4	45,5	20	5,21	708	21	0,69
453	PNNL-03-I	3	100	150	99	149	499	28,9	72,9	20	5,84	793	20	0,48
454	PNNL-04-I	3	100	150	98	149	499	22,7	25,3	20	4,86	667	12	1,11
455	PNNL-05-I	3	100	150	99	149	498	32,6	30,2	20	5,84	796	11	0,92
456	PNNL-06-I	3	100	150	99	148	494	29,6	36,7	20	5,70	787	13	1,23
457	PNNL-07-I	3	100	150	98	149	502	28,5	46,9	20	4,99	680	17	0,73
458	PNNL-08-I	3	100	150	98	148	497	25,4	39,3	20	4,67	648	22	0,67
459	PNNL-09-I	3	100	150	98	149	501	25,4	37,3	20	4,95	677	18	0,63
460	PNNL-10-I	3	100	150	97	149	499	24,0	27,9	20	4,65	645	21	0,63
461	PNNL-11-I	3	100	150	98	149	499	29,3	35,1	20	4,88	670	22	0,46
462	PNNL-12-I	3	100	150	99	149	499	25,5	21,8	20	4,58	622	16	0,6
463	PNNL-13-I	3	100	150	98	149	501	21,4	29,2	20	5,72	782	20	0,56
464	PNNL-14-I	3	100	150	99	150	501	29,3	81,6	20	6,49	872	13	0,85
465	PNNL-15-I	3	100	150	98	149	497	24,0	21,0	20	4,22	582	20	0,63
466	PNNL-16-I	3	100	150	98	148	494	24,2	46,5	20	6,09	850	12	0,83
467	PNNL-17-I	3	100	150	97	148	495	21,8	20,2	20	3,99	562	14	1,44
468	PNNL-18-I	3	100	150	96	148	499	22,8	20,2	20	4,08	575	17	0,6
469	PNNL-19-I	3	100	150	98	148	498	23,2	30,2	20	4,57	633	14	0,73
470	PNNL-20-I	3	100	150	97	150	495	24,4	21,1	20	3,87	537	18	1,29
471	PNNL-21-I	3	100	150	98	148	496	28,1	62,8	20	5,58	776	19	0,96
472	PNNL-22-I	3	100	150	98	149	495	36,3	46,4	20	5,91	817	14	0,86
473	PNNL-23-I	3	100	150	99	149	497	27,3	67,0	20	5,16	703	21	0,48
474	PNNL-24-I	3	100	150	97	148	494	22,7	29,5	20	4,81	678	14	0,88
475	PNNL-25-I	3	100	150	97	148	498	22,4	19,8	20	4,20	588	16	1,06
476	PNNL-01-I	3	100	150	96	148	496	28,0	21,3	34	4,84	687	13	1,59
477	PNNL-02-I	3	100	150	97	148	505	32,0	26,6	34	4,53	625	22	1,43
478	PNNL-03-I	3	100	150	98	149	499	30,6	48,5	34	5,01	688	18	0,82
479	PNNL-04-I	3	100	150	97	148	499	19,2	18,7	34	4,60	643	12	2,11
480	PNNL-05-I	3	100	150	96	148	498	25,5	21,0	34	5,43	768	11	1,72
481	PNNL-06-I	3	100	150	98	149	493	30,3	26,5	34	5,27	732	12	1,47
482	PNNL-07-I	3	100	150	97	148	502	27,6	27,4	34	4,33	600	17	1,37
483	PNNL-08-I	3	100	150	97	148	496	22,2	23,0	34	4,13	579	18	0,94
484	PNNL-09-I	3	100	150	98	148	500	25,0	24,8	34	4,50	620	18	1,24
485	PNNL-10-I	3	100	150	97	149	498	21,7	19,3	34	4,34	602	18	1,38
486	PNNL-11-I	3	100	150	98	148	499	29,0	23,7	34	4,47	617	19	0,88
487	PNNL-12-I	3	100	150	98	148	499	21,2	16,9	34	4,40	607	15	1,6
488	PNNL-13-I	3	100	150	97	149	500	29,0	18,0	34	5,23	723	18	1,09
489	PNNL-14-I	3	100	150	99	149	500	31,6	50,1	34	5,36	727	14	1,03
490	PNNL-15-I	3	100	150	98	148	496	21,8	17,2	34	4,09	569	19	1,21
491	PNNL-16-I	3	100	150	97	148	493	23,9	31,2	34	5,46	771	12	1,54
492	PNNL-17-I	3	100	150	97	146	494	19,3	17,2	34	3,89	556	15	1,85
493	PNNL-18-I	3	100	150	96	148	499	20,4	17,5	34	3,99	562	18	1,37
494	PNNL-19-I	3	100	150	96	148	498	21,0	21,2	34	4,26	602	16	1,12
495	PNNL-20-I	3	100	150	97	149	494	21,1	18,1	34	3,77	528	17	1,13
496	PNNL-21-I	3	100	150	97	149	495	27,5	46,7	34	5,03	703	19	1,17
497	PNNL-22-I	3	100	150	98	149	494	34,5	33,2	34	5,37	745	17	1,23
498	PNNL-23-I	3	100	150	98	149	497	28,4	44,7	34	4,47	616	22	1

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
499	PNNL-24-I	3	100	150	97	148	494	21,5	21,5	34	4,51	637	14	1,4
500	PNNL-25-I	3	100	150	96	147	497	20,4	16,9	34	4,10	585	16	1,23
501	PNNL-01-I	3	100	150	95	146	495	20,2	17,4	49	4,69	682	12	1,62
502	PNNL-02-I	3	100	150	97	148	505	21,9	19,8	49	4,29	592	17	1,02
503	PNNL-03-I	3	100	150	99	149	499	27,9	34,8	49	4,55	618	15	0,93
504	PNNL-04-I	3	100	150	97	148	499	17,2	16,1	49	4,50	628	11	1,69
505	PNNL-05-I	3	100	150	97	148	498	20,1	18,1	49	5,30	742	9	2,13
506	PNNL-06-I	3	100	150	97	148	495	27,2	20,9	49	5,04	710	11	1,74
507	PNNL-07-I	3	100	150	98	149	502	25,1	20,3	49	4,08	557	16	1,54
508	PNNL-08-I	3	100	150	97	147	496	18,5	17,1	49	3,93	556	18	1,25
509	PNNL-09-I	3	100	150	98	148	501	22,3	18,6	49	4,27	588	16	1,34
510	PNNL-10-I	3	100	150	97	149	499	19,3	15,3	49	4,19	581	18	1,04
511	PNNL-11-I	3	100	150	97	148	498	22,8	17,9	49	4,26	596	18	1,01
512	PNNL-12-I	3	100	150	98	147	500	18,1	14,5	49	4,30	598	15	2,14
513	PNNL-13-I	3	100	150	98	148	499	19,1	14,3	49	5,06	700	14	1,33
514	PNNL-14-I	3	100	150	98	149	499	28,4	31,6	49	4,70	645	13	1,33
515	PNNL-15-I	3	100	150	98	148	496	19,4	14,7	49	4,00	557	18	1,42
516	PNNL-16-I	3	100	150	96	147	493	22,5	23,4	49	5,13	738	12	1,69
517	PNNL-17-I	3	100	150	97	146	494	17,3	14,7	49	3,81	545	14	1,96
518	PNNL-18-I	3	100	150	95	148	499	18,3	14,7	49	3,89	555	18	1,17
519	PNNL-19-I	3	100	150	95	146	497	18,6	16,7	49	4,10	595	15	1,11
520	PNNL-20-I	3	100	150	96	149	494	18,5	15,0	49	3,67	520	16	1,39
521	PNNL-21-I	3	100	150	97	149	495	19,1	33,6	49	4,58	641	17	1,35
522	PNNL-22-I	3	100	150	97	148	494	24,4	24,0	49	5,00	705	14	1,25
523	PNNL-23-I	3	100	150	97	148	497	29,7	27,0	49	3,92	550	24	0,98
524	PNNL-24-I	3	100	150	95	147	494	18,8	17,1	49	4,35	630	12	1,48
525	PNNL-25-I	3	100	150	95	146	497	18,1	14,4	49	4,01	582	15	1,51
526	PNNL-01-I	3	100	150	95	145	494	18,8	17,7	56	4,70	690	11	1,82
527	PNNL-02-I	3	100	150	95	147	505	20,1	17,5	56	4,21	596	20	1,36
528	PNNL-03-I	3	100	150	98	149	499	27,0	29,1	56	4,36	598	14	1,15
529	PNNL-04-I	3	100	150	96	147	501	16,3	14,7	56	4,45	629	12	1,97
530	PNNL-05-I	3	100	150	95	147	498	19,0	16,5	56	5,23	752	8	2,08
531	PNNL-06-I	3	100	150	97	147	493	25,0	18,6	56	4,95	703	11	1,61
532	PNNL-07-I	3	100	150	97	148	502	23,2	17,8	56	4,00	555	16	1,4
533	PNNL-08-I	3	100	150	97	147	496	16,9	15,4	56	3,87	548	17	1,7
534	PNNL-09-I	3	100	150	98	147	500	20,4	16,8	56	4,21	585	15	1,43
535	PNNL-10-I	3	100	150	96	148	498	18,2	14,2	56	4,15	587	16	1,19
536	PNNL-11-I	3	100	150	97	146	498	20,4	16,4	56	4,21	596	18	1,17
537	PNNL-12-I	3	100	150	97	147	499	17,3	13,6	56	4,27	600	16	2,26
538	PNNL-13-I	3	100	150	97	147	500	18,5	13,3	56	5,02	704	14	1,31
539	PNNL-14-I	3	100	150	99	149	500	25,4	25,5	56	4,48	608	13	1,35
540	PNNL-15-I	3	100	150	97	148	496	18,6	13,7	56	3,97	557	17	1,36
541	PNNL-16-I	3	100	150	95	148	493	21,5	20,5	56	5,01	723	13	1,71
542	PNNL-17-I	3	100	150	97	146	494	16,5	14,0	56	3,79	541	12	1,98
543	PNNL-18-I	3	100	150	95	148	499	17,5	14,1	56	3,87	552	16	1,19
544	PNNL-19-I	3	100	150	96	147	498	17,6	15,6	56	4,06	578	13	1,47
545	PNNL-20-I	3	100	150	96	149	494	17,5	14,3	56	3,65	517	16	1,6
546	PNNL-21-I	3	100	150	98	148	496	28,6	29,3	56	4,43	616	17	1,28
547	PNNL-22-I	3	100	150	98	149	495	15,0	21,2	56	4,89	676	12	1,48
548	PNNL-23-I	3	100	150	97	148	496	29,2	22,5	56	3,78	531	24	1,05
549	PNNL-24-I	3	100	150	96	148	494	17,7	16,0	56	4,31	614	14	1,45
550	PNNL-25-I	3	100	150	95	146	497	17,2	13,7	56	3,99	579	16	1,55
551	PNNL-01-I	3	100	150	95	145	494	17,8	14,6	62	4,57	672	12	2,07
552	PNNL-02-I	3	100	150	95	147	505	18,4	15,8	62	4,14	588	20	1,4
553	PNNL-03-I	3	100	150	98	149	499	24,8	24,9	62	4,22	579	13	1,32
554	PNNL-04-I	3	100	150	97	147	500	15,6	13,6	62	4,41	618	10	2,43
555	PNNL-05-I	3	100	150	96	148	499	18,0	15,3	62	5,18	730	8	2,29
556	PNNL-06-I	3	100	150	98	148	494	22,6	16,9	62	4,87	680	12	2,03
557	PNNL-07-I	3	100	150	97	147	502	20,6	16,1	62	3,94	550	14	1,48
558	PNNL-08-I	3	100	150	97	146	495	15,7	14,1	62	3,83	546	16	2,06
559	PNNL-09-I	3	100	150	98	147	501	18,8	15,2	62	4,15	575	14	1,84
560	PNNL-10-I	3	100	150	96	148	499	17,3	13,0	62	4,11	580	15	1,43
561	PNNL-11-I	3	100	150	96	146	499	18,7	14,8	62	4,15	593	16	1,45
562	PNNL-12-I	3	100	150	97	146	499	16,5	9,8	62	4,13	584	15	2,11
563	PNNL-13-I	3	100	150	97	147	500	17,2	12,3	62	4,97	698	14	1,4
564	PNNL-14-I	3	100	150	98	148	499	22,4	21,1	62	4,33	598	11	1,55
565	PNNL-15-I	3	100	150	97	147	495	17,8	12,6	62	3,93	557	16	1,59
566	PNNL-16-I	3	100	150	95	146	493	20,5	18,6	62	4,93	721	12	1,76
567	PNNL-17-I	3	100	150	97	145	494	15,8	12,9	62	3,75	540	15	2,15
568	PNNL-18-I	3	100	150	94	147	499	16,9	13,0	62	3,83	556	17	1,35
569	PNNL-19-I	3	100	150	95	147	498	16,8	14,1	62	4,01	577	14	1,71
570	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	494	16,8	13,1	62	3,61	520	14	1,39

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
571	PNNL-21-I	3	100	150	97	149	495	27,9	25,5	62	4,31	602	16	1,65
572	PNNL-22-I	3	100	150	96	148	494	20,6	18,4	62	4,78	681	13	1,65
573	PNNL-23-I	3	100	150	96	146	497	22,8	18,6	62	3,66	526	19	1,14
574	PNNL-24-I	3	100	150	95	146	493	16,8	14,6	62	4,26	623	12	1,66
575	PNNL-25-I	3	100	150	94	146	497	16,4	12,6	62	3,95	579	16	1,59
576	PNNL-01-I	3	100	150	95	145	495	16,0	13,7	72	4,54	665	12	2,19
577	PNNL-02-I	3	100	150	96	147	505	16,2	14,4	72	4,10	575	19	1,6
578	PNNL-03-I	3	100	150	98	149	499	21,3	20,8	72	4,08	559	14	1,46
579	PNNL-04-I	3	100	150	97	147	499	14,1	12,9	72	4,38	615	10	2,41
580	PNNL-05-I	3	100	150	96	148	498	16,4	14,3	72	5,13	725	8	2,88
581	PNNL-06-I	3	100	150	96	148	494	19,6	15,4	72	4,81	686	10	2,14
582	PNNL-07-I	3	100	150	98	148	503	17,7	14,7	72	3,89	534	15	1,63
583	PNNL-08-I	3	100	150	97	147	495	14,0	13,1	72	3,80	538	16	2,29
584	PNNL-09-I	3	100	150	98	148	500	16,4	14,1	72	4,11	567	15	2,12
585	PNNL-10-I	3	100	150	96	148	499	15,6	12,4	72	4,09	576	16	1,66
586	PNNL-11-I	3	100	150	97	145	499	16,6	14,0	72	4,12	586	15	1,43
587	PNNL-12-I	3	100	150	98	146	500	15,0	12,0	72	4,21	588	14	2,12
588	PNNL-13-I	3	100	150	97	147	500	15,6	11,7	72	4,95	694	14	1,47
589	PNNL-14-I	3	100	150	98	148	500	19,2	17,8	72	4,21	580	11	1,72
590	PNNL-15-I	3	100	150	96	147	496	16,4	12,0	72	3,91	558	17	1,89
591	PNNL-16-I	3	100	150	95	147	492	18,7	16,9	72	4,86	707	12	1,99
592	PNNL-17-I	3	100	150	96	145	494	14,5	12,4	72	3,74	543	15	2,19
593	PNNL-18-I	3	100	150	95	148	499	15,6	12,6	72	3,82	545	18	1,7
594	PNNL-19-I	3	100	150	95	147	497	15,3	13,5	72	3,99	574	15	1,77
595	PNNL-20-I	3	100	150	96	148	495	15,4	12,6	72	3,60	511	15	1,73
596	PNNL-21-I	3	100	150	97	148	496	28,2	22,0	72	4,19	588	15	1,63
597	PNNL-22-I	3	100	150	97	149	494	18,9	16,3	72	4,69	657	16	2
598	PNNL-23-I	3	100	150	96	146	496	18,5	16,2	72	3,59	516	19	1,2
599	PNNL-24-I	3	100	150	96	148	494	15,3	14,0	72	4,23	603	12	1,74
600	PNNL-25-I	3	100	150	95	145	497	15,0	12,2	72	3,94	575	16	1,63
601	PNNL-01-I	3	100	150	94	144	494	14,9	12,5	87	4,49	671	12	2,35
602	PNNL-02-I	3	100	150	95	147	505	14,7	12,8	87	4,04	573	18	1,61
603	PNNL-03-I	3	100	150	98	148	499	18,0	16,6	87	3,93	544	14	1,64
604	PNNL-04-I	3	100	150	96	146	500	13,1	12,0	87	4,34	620	9	2,57
605	PNNL-05-I	3	100	150	95	147	497	15,4	13,1	87	5,08	731	8	2,92
606	PNNL-06-I	3	100	150	95	146	493	17,6	13,8	87	4,75	694	10	2,26
607	PNNL-07-I	3	100	150	97	146	502	15,7	13,1	87	3,84	540	14	1,74
608	PNNL-08-I	3	100	150	96	146	495	12,9	12,0	87	3,76	542	14	1,87
609	PNNL-09-I	3	100	150	97	147	501	14,7	12,5	87	4,05	567	15	2,12
610	PNNL-10-I	3	100	150	95	148	498	14,1	11,2	87	4,05	578	16	1,62
611	PNNL-11-I	3	100	150	96	145	498	15,0	12,5	87	4,06	586	15	1,41
612	PNNL-12-I	3	100	150	97	146	499	14,1	11,0	87	4,17	591	14	2,06
613	PNNL-13-I	3	100	150	96	146	500	14,6	10,7	87	4,91	700	13	1,66
614	PNNL-14-I	3	100	150	97	148	500	16,1	14,6	87	4,09	570	11	1,93
615	PNNL-15-I	3	100	150	96	146	495	15,2	11,0	87	3,87	558	16	2
616	PNNL-16-I	3	100	150	94	146	492	17,5	14,7	87	4,77	707	12	2,14
617	PNNL-17-I	3	100	150	96	145	494	13,6	11,5	87	3,71	539	15	2,14
618	PNNL-18-I	3	100	150	94	147	499	14,8	11,6	87	3,79	549	16	1,81
619	PNNL-19-I	3	100	150	95	146	498	14,3	12,1	87	3,94	570	14	1,97
620	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	495	14,5	11,4	87	3,56	511	13	1,76
621	PNNL-21-I	3	100	150	97	148	495	22,1	17,2	87	4,02	566	16	1,63
622	PNNL-22-I	3	100	150	97	148	494	16,6	13,4	87	4,58	645	15	2,12
623	PNNL-23-I	3	100	150	96	146	497	15,8	13,2	87	3,94	566	18	1,3
624	PNNL-24-I	3	100	150	95	146	493	14,1	12,6	87	4,18	612	12	1,75
625	PNNL-25-I	3	100	150	95	146	497	14,0	11,2	87	3,90	566	15	1,76
626	PNNL-01-I	3	100	150	94	143	494	13,1	10,8	105	4,42	666	11	2,33
627	PNNL-02-I	3	100	150	95	146	505	12,4	10,8	105	3,97	566	16	1,64
628	PNNL-03-I	3	100	150	97	147	499	14,3	13,1	105	3,82	536	15	1,76
629	PNNL-04-I	3	100	150	96	146	501	11,2	10,3	105	4,28	609	10	2,67
630	PNNL-05-I	3	100	150	95	146	497	13,6	11,1	105	4,99	724	8	3,21
631	PNNL-06-I	3	100	150	95	146	494	15,0	11,6	105	4,66	679	10	2,61
632	PNNL-07-I	3	100	150	97	146	502	13,4	11,1	105	3,77	530	14	1,81
633	PNNL-08-I	3	100	150	96	145	495	11,1	10,3	105	3,70	537	15	1,93
634	PNNL-09-I	3	100	150	98	146	500	12,5	10,7	105	3,99	558	15	2,13
635	PNNL-10-I	3	100	150	95	147	498	11,7	9,9	105	4,00	575	15	1,78
636	PNNL-11-I	3	100	150	96	143	498	12,8	10,9	105	4,00	586	15	1,46
637	PNNL-12-I	3	100	150	97	145	499	12,3	9,7	105	4,13	588	13	2,17
638	PNNL-13-I	3	100	150	96	146	500	12,7	9,6	105	4,85	692	14	1,77
639	PNNL-14-I	3	100	150	97	147	499	12,9	11,9	105	4,00	562	10	2,15
640	PNNL-15-I	3	100	150	96	146	495	13,1	9,7	105	3,83	552	16	1,89
641	PNNL-16-I	3	100	150	94	146	492	15,3	12,4	105	4,68	693	12	2,6
642	PNNL-17-I	3	100	150	96	144	494	11,6	10,3	105	3,67	537	15	2,12

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
643	PNNL-18-I	3	100	150	95	146	499	13,2	10,6	105	3,75	542	15	1,86
644	PNNL-19-I	3	100	150	95	146	498	12,5	10,8	105	3,89	564	14	2
645	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	494	12,7	10,3	105	3,52	507	14	1,7
646	PNNL-21-I	3	100	150	97	147	495	16,0	13,6	105	3,90	552	14	2,15
647	PNNL-22-I	3	100	150	95	148	494	13,8	11,3	105	4,49	647	15	1,98
648	PNNL-23-I	3	100	150	97	145	496	13,1	11,1	105	3,43	492	17	1,32
649	PNNL-24-I	3	100	150	94	146	494	12,3	11,3	105	4,14	610	11	1,85
650	PNNL-25-I	3	100	150	94	145	497	12,2	10,1	105	3,86	570	15	2,01
651	PNNL-01-I	3	100	150	94	143	494	11,0	9,8	126	4,38	660	10	2,25
652	PNNL-02-I	3	100	150	95	146	505	10,3	9,7	126	3,93	561	16	1,65
653	PNNL-03-I	3	100	150	97	147	499	11,4	11,4	126	3,76	529	14	1,62
654	PNNL-04-I	3	100	150	95	146	501	9,4	9,5	126	4,25	611	9	2,74
655	PNNL-05-I	3	100	150	94	147	497	11,4	10,0	126	4,94	719	8	3,17
656	PNNL-06-I	3	100	150	95	146	494	12,3	10,5	126	4,61	672	10	2,89
657	PNNL-07-I	3	100	150	97	146	502	10,8	10,1	126	3,74	526	14	2,01
658	PNNL-08-I	3	100	150	97	145	495	9,0	9,5	126	3,67	528	14	1,84
659	PNNL-09-I	3	100	150	98	146	500	10,3	9,6	126	3,95	552	13	2,16
660	PNNL-10-I	3	100	150	95	148	498	8,9	8,9	126	3,96	565	16	2,07
661	PNNL-11-I	3	100	150	95	143	498	10,4	9,7	126	3,96	586	13	1,68
662	PNNL-12-I	3	100	150	97	145	499	10,1	8,8	126	4,09	583	13	2,19
663	PNNL-13-I	3	100	150	96	146	500	10,6	8,7	126	4,81	687	13	1,89
664	PNNL-14-I	3	100	150	96	147	500	10,3	10,4	126	3,94	559	10	2,55
665	PNNL-15-I	3	100	150	96	145	495	10,8	8,7	126	3,80	551	15	2,06
666	PNNL-16-I	3	100	150	94	145	491	12,7	11,0	126	4,62	690	11	2,85
667	PNNL-17-I	3	100	150	96	144	494	9,5	9,4	126	3,64	533	15	2,24
668	PNNL-18-I	3	100	150	95	146	499	11,1	9,5	126	3,71	537	15	2
669	PNNL-19-I	3	100	150	95	146	498	10,4	9,6	126	3,85	558	13	2,34
670	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	494	10,6	9,1	126	3,49	502	13	1,95
671	PNNL-21-I	3	100	150	97	147	495	12,1	11,1	126	3,81	540	13	2,03
672	PNNL-22-I	3	100	150	95	147	494	10,9	9,6	126	4,42	641	15	2,19
673	PNNL-23-I	3	100	150	97	145	496	10,5	9,5	126	3,38	485	16	1,45
674	PNNL-24-I	3	100	150	95	146	494	10,3	10,2	126	4,09	597	11	1,78
675	PNNL-25-I	3	100	150	94	145	497	10,0	9,1	126	3,83	565	14	2,04
676	PNNL-01-I	3	100	150	93	143	494	10,0	9,0	142	4,35	662	10	2,61
677	PNNL-02-I	3	100	150	94	145	505	8,9	8,9	142	3,90	566	15	1,83
678	PNNL-03-I	3	100	150	97	147	498	10,2	10,3	142	3,72	524	12	1,83
679	PNNL-04-I	3	100	150	94	147	500	8,0	8,8	142	4,22	611	10	2,77
680	PNNL-05-I	3	100	150	94	147	498	10,2	9,1	142	4,90	712	8	3,45
681	PNNL-06-I	3	100	150	94	145	493	11,1	9,5	142	4,57	680	11	2,69
682	PNNL-07-I	3	100	150	97	146	502	10,0	9,3	142	3,71	522	13	1,88
683	PNNL-08-I	3	100	150	96	145	495	8,3	8,8	142	3,65	530	15	1,81
684	PNNL-09-I	3	100	150	97	146	501	9,2	8,8	142	3,92	553	13	2,24
685	PNNL-10-I	3	100	150	95	147	498	8,0	8,3	142	3,94	566	15	2,12
686	PNNL-11-I	3	100	150	95	143	499	9,2	9,1	142	3,94	581	13	1,71
687	PNNL-12-I	3	100	150	97	144	500	9,2	8,3	142	4,07	583	14	2,18
688	PNNL-13-I	3	100	150	96	145	499	9,7	8,1	142	4,79	689	14	2,17
689	PNNL-14-I	3	100	150	96	147	499	9,1	9,5	142	3,91	555	11	2,28
690	PNNL-15-I	3	100	150	96	145	496	9,6	8,1	142	3,77	547	15	2,1
691	PNNL-16-I	3	100	150	93	145	492	11,3	10,0	142	4,58	690	12	2,91
692	PNNL-17-I	3	100	150	97	145	494	8,4	8,9	142	3,62	521	16	2,21
693	PNNL-18-I	3	100	150	96	146	499	10,0	9,0	142	3,70	529	14	1,83
694	PNNL-19-I	3	100	150	95	146	498	9,4	9,1	142	3,83	555	14	2,24
695	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	494	9,5	8,7	142	3,47	500	15	2,25
696	PNNL-21-I	3	100	150	97	146	495	10,2	10,0	142	3,77	538	13	2,36
697	PNNL-22-I	3	100	150	95	148	494	9,8	8,8	142	4,39	632	14	2,08
698	PNNL-23-I	3	100	150	96	144	496	9,2	8,9	142	3,36	490	14	1,48
699	PNNL-24-I	3	100	150	94	146	494	9,3	9,6	142	4,07	601	10	2,11
700	PNNL-25-I	3	100	150	94	146	497	9,1	8,6	142	3,81	559	14	1,98
701	PNNL-01-I	3	100	150	93	142	494	7,8	8,3	181	4,32	663	10	2,67
702	PNNL-02-I	3	100	150	94	145	505	7,2	8,3	181	3,88	563	12	2,14
703	PNNL-03-I	3	100	150	97	147	498	8,4	9,6	181	3,70	521	13	2,12
704	PNNL-04-I	3	100	150	94	145	500	6,6	8,4	181	4,20	617	10	2,94
705	PNNL-05-I	3	100	150	94	147	498	8,8	8,4	181	4,87	708	8	3,19
706	PNNL-06-I	3	100	150	94	145	493	8,7	8,7	181	4,53	674	10	3,11
707	PNNL-07-I	3	100	150	97	145	501	8,0	8,7	181	3,69	523	13	1,95
708	PNNL-08-I	3	100	150	96	144	495	7,0	8,3	181	3,63	531	15	1,63
709	PNNL-09-I	3	100	150	97	146	501	7,2	8,1	181	3,90	549	13	2,46
710	PNNL-10-I	3	100	150	95	147	498	6,3	7,7	181	3,92	563	14	2,16
711	PNNL-11-I	3	100	150	95	143	499	7,6	8,4	181	3,92	578	13	2,06
712	PNNL-12-I	3	100	150	97	144	499	7,4	7,7	181	4,05	581	14	2,67
713	PNNL-13-I	3	100	150	96	145	499	7,9	7,5	181	4,76	685	13	2,11
714	PNNL-14-I	3	100	150	96	146	498	7,4	8,8	181	3,89	557	10	2,36

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
715	PNNL-15-I	3	100	150	96	145	496	7,4	7,6	181	3,75	544	15	2,18
716	PNNL-16-I	3	100	150	93	145	491	8,8	9,1	181	4,54	685	12	2,97
717	PNNL-17-I	3	100	150	96	144	494	6,4	8,4	181	3,60	527	15	2,24
718	PNNL-18-I	3	100	150	95	146	498	8,0	8,4	181	3,68	532	15	2,17
719	PNNL-19-I	3	100	150	94	146	498	7,7	8,4	181	3,81	557	14	2
720	PNNL-20-I	3	100	150	95	148	494	7,6	8,0	181	3,45	497	15	3,14
721	PNNL-21-I	3	100	150	96	145	495	7,8	8,7	181	3,73	541	12	2,52
722	PNNL-22-I	3	100	150	95	147	493	7,5	7,8	181	4,35	632	12	2,23
723	PNNL-23-I	3	100	150	95	144	495	7,1	8,2	181	3,34	493	15	1,59
724	PNNL-24-I	3	100	150	94	145	493	7,4	8,9	181	4,04	602	11	2,02
725	PNNL-25-I	3	100	150	93	145	497	7,5	8,0	181	3,79	565	11	2,13
726	PNPN-01-I	4	100	150	100	150	504	27,0	33,4	0	5,21	688	16	1,6
727	PNPN-02-I	4	100	150	100	150	501	29,4	76,8	0	5,76	767	19	1,64
728	PNPN-03-I	4	100	150	99	151	499	29,7	62,7	0	5,62	753	16	1,89
729	PNPN-04-I	4	100	150	99	150	504	39,4	30,3	0	4,93	658	14	1,83
730	PNPN-05-I	4	100	150	99	150	501	27,5	48,7	0	5,49	738	24	1,46
731	PNPN-06-I	4	100	150	99	151	507	35,9	36,4	0	4,93	650	19	1,73
732	PNPN-07-I	4	100	150	99	150	505	31,0	31,3	0	4,93	658	17	2,27
733	PNPN-08-I	4	100	150	99	150	502	29,2	32,5	0	4,59	616	26	1,28
734	PNPN-09-I	4	100	150	100	151	498	36,4	66,3	0	5,39	717	23	1,3
735	PNPN-10-I	4	100	150	99	151	500	31,8	68,5	0	5,05	675	19	1,34
736	PNPN-11-I	4	100	150	99	151	501	29,2	49,2	0	5,11	682	21	1,56
737	PNPN-12-I	4	100	150	99	148	499	36,3	39,4	0	4,95	677	19	1,53
738	PNPN-13-I	4	100	150	97	150	499	33,5	34,9	0	4,79	659	18	1,53
739	PNPN-14-I	4	100	150	99	151	496	28,9	53,6	0	4,94	666	24	1,31
740	PNPN-15-I	4	100	150	99	151	498	44,3	43,0	0	5,56	747	17	1,54
741	PNPN-16-I	4	100	150	99	150	502	37,4	33,2	0	4,83	648	18	1,79
742	PNPN-17-I	4	100	150	100	150	501	32,5	71,4	0	6,35	845	18	1,32
743	PNPN-18-I	4	100	150	97	148	499	30,3	74,4	0	5,66	791	20	1,57
744	PNPN-19-I	4	100	150	99	151	508	27,1	33,2	0	4,87	642	16	1,6
745	PNPN-20-I	4	100	150	97	149	504	32,4	48,0	0	5,01	688	17	1,61
746	PNPN-21-I	4	100	150	97	149	511	34,3	31,4	0	4,59	621	15	1,93
747	PNPN-22-I	4	100	150	97	148	501	29,2	63,9	0	5,55	771	14	1,74
748	PNPN-23-I	4	100	150	97	149	501	36,4	30,4	0	5,10	704	17	1,99
749	PNPN-24-I	4	100	150	97	149	500	32,7	57,9	0	6,03	835	12	2,21
750	PNPN-25-I	4	100	150	99	151	501	29,5	25,9	0	4,40	587	19	1,63
751	PNPN-01-I	4	100	150	98	149	504	21,4	21,0	28	4,72	641	12	2,09
752	PNPN-02-I	4	100	150	99	149	501	22,5	21,5	28	3,96	536	14	1,81
753	PNPN-03-I	4	100	150	98	149	499	22,8	21,7	28	4,21	577	12	2,16
754	PNPN-04-I	4	100	150	98	150	504	22,8	19,4	28	4,51	609	11	2,07
755	PNPN-05-I	4	100	150	98	149	501	23,4	22,4	28	4,52	618	19	1,68
756	PNPN-06-I	4	100	150	98	150	507	24,6	22,4	28	4,42	593	12	2
757	PNPN-07-I	4	100	150	98	149	505	22,3	20,1	28	4,52	612	13	2,41
758	PNPN-08-I	4	100	150	98	148	502	24,2	19,8	28	4,15	570	17	1,41
759	PNPN-09-I	4	100	150	99	150	498	27,5	27,6	28	4,14	559	18	1,2
760	PNPN-10-I	4	100	150	98	150	500	23,4	22,1	28	3,66	498	14	1,52
761	PNPN-11-I	4	100	150	98	150	501	23,8	23,4	28	4,23	574	17	1,57
762	PNPN-12-I	4	100	150	98	146	498	24,8	22,9	28	4,36	612	15	1,77
763	PNPN-13-I	4	100	150	96	149	498	24,1	20,9	28	4,29	603	16	1,62
764	PNPN-14-I	4	100	150	98	149	495	21,3	20,6	28	3,88	537	16	1,4
765	PNPN-15-I	4	100	150	98	150	497	31,3	26,5	28	4,92	673	12	1,71
766	PNPN-16-I	4	100	150	98	149	501	26,6	21,6	28	4,41	602	14	1,87
767	PNPN-17-I	4	100	150	98	149	501	29,3	33,2	28	4,94	675	16	1,46
768	PNPN-18-I	4	100	150	97	147	499	23,1	24,2	28	4,03	567	16	1,84
769	PNPN-19-I	4	100	150	98	149	506	22,3	20,1	28	4,40	595	13	1,87
770	PNPN-20-I	4	100	150	96	148	503	24,7	20,9	28	4,09	573	15	1,7
771	PNPN-21-I	4	100	150	96	148	510	24,4	21,0	28	4,23	583	13	2,06
772	PNPN-22-I	4	100	150	96	147	501	23,1	27,4	28	4,31	610	12	1,77
773	PNPN-23-I	4	100	150	96	148	501	26,1	20,3	28	4,70	661	13	2,11
774	PNPN-24-I	4	100	150	96	148	499	26,3	23,0	28	4,70	663	10	2,51
775	PNPN-25-I	4	100	150	97	149	500	21,0	18,0	28	4,12	570	16	2,01
776	PNPN-01-I	4	100	150	98	149	503	20,2	18,7	41	4,63	630	11	2,08
777	PNPN-02-I	4	100	150	99	149	500	19,2	18,3	41	3,85	523	13	1,84
778	PNPN-03-I	4	100	150	97	148	498	20,6	18,7	41	4,10	573	12	2,14
779	PNPN-04-I	4	100	150	97	149	503	20,5	17,3	41	4,43	610	11	2,12
780	PNPN-05-I	4	100	150	98	148	500	20,1	19,2	41	4,40	607	16	1,91
781	PNPN-06-I	4	100	150	97	149	506	22,0	19,6	41	4,32	590	12	2,14
782	PNPN-07-I	4	100	150	98	149	505	20,3	18,2	41	4,44	603	13	2,54
783	PNPN-08-I	4	100	150	97	148	502	21,7	17,8	41	4,08	566	17	1,37
784	PNPN-09-I	4	100	150	97	150	498	23,9	22,6	41	3,97	548	18	1,39
785	PNPN-10-I	4	100	150	97	149	500	20,0	18,0	41	3,53	489	13	1,55
786	PNPN-11-I	4	100	150	97	149	500	21,4	19,7	41	4,10	567	17	1,59

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
787	PNPN-12-I	4	100	150	98	146	498	21,5	19,7	41	4,25	596	14	1,81
788	PNPN-13-I	4	100	150	95	149	499	20,8	17,7	41	4,18	591	13	1,79
789	PNPN-14-I	4	100	150	97	148	495	18,7	17,5	41	3,78	532	14	1,62
790	PNPN-15-I	4	100	150	98	150	496	27,0	22,7	41	4,77	654	10	2,02
791	PNPN-16-I	4	100	150	98	149	501	23,0	18,8	41	4,30	588	14	2,18
792	PNPN-17-I	4	100	150	98	148	501	27,0	24,4	41	4,61	635	16	1,6
793	PNPN-18-I	4	100	150	95	146	498	21,3	18,8	41	3,86	559	15	1,91
794	PNPN-19-I	4	100	150	97	148	507	20,1	16,9	41	4,28	588	13	1,92
795	PNPN-20-I	4	100	150	95	148	502	21,3	17,5	41	3,98	563	13	2,04
796	PNPN-21-I	4	100	150	95	147	510	21,6	17,6	41	4,11	577	12	2,12
797	PNPN-22-I	4	100	150	95	146	501	21,5	19,6	41	4,05	583	11	1,77
798	PNPN-23-I	4	100	150	97	147	501	22,2	17,2	41	4,58	641	12	2,51
799	PNPN-24-I	4	100	150	95	147	499	22,5	19,3	41	4,56	654	9	2,68
800	PNPN-25-I	4	100	150	96	147	500	18,9	15,8	41	4,04	573	15	2,18
801	PNPN-01-I	4	100	150	98	148	503	18,1	16,5	58	4,54	623	11	2,31
802	PNPN-02-I	4	100	150	97	148	500	16,6	15,7	58	3,77	525	12	2,05
803	PNPN-03-I	4	100	150	97	148	499	18,1	16,2	58	4,01	560	12	2,29
804	PNPN-04-I	4	100	150	97	149	503	18,5	15,2	58	4,35	599	11	2,41
805	PNPN-05-I	4	100	150	98	147	501	17,3	16,3	58	4,30	596	13	1,97
806	PNPN-06-I	4	100	150	97	148	506	19,2	16,8	58	4,22	581	10	2,28
807	PNPN-07-I	4	100	150	97	147	505	18,3	16,2	58	4,37	607	13	2,6
808	PNPN-08-I	4	100	150	97	147	502	19,0	15,4	58	4,00	558	17	1,44
809	PNPN-09-I	4	100	150	97	150	498	20,7	18,7	58	3,85	531	18	1,6
810	PNPN-10-I	4	100	150	96	148	500	17,4	15,8	58	3,47	488	13	1,72
811	PNPN-11-I	4	100	150	97	148	501	18,8	17,1	58	4,01	557	15	1,59
812	PNPN-12-I	4	100	150	97	145	499	19,3	17,4	58	4,17	594	15	2
813	PNPN-13-I	4	100	150	95	148	498	18,5	15,4	58	4,10	585	14	2,01
814	PNPN-14-I	4	100	150	97	147	495	16,7	15,4	58	3,71	526	13	1,57
815	PNPN-15-I	4	100	150	97	149	497	23,4	19,3	58	4,64	646	10	1,99
816	PNPN-16-I	4	100	150	98	148	501	19,6	16,1	58	4,21	579	13	2,33
817	PNPN-17-I	4	100	150	97	146	500	20,5	19,6	58	4,43	626	14	1,6
818	PNPN-18-I	4	100	150	95	146	498	18,4	16,4	58	3,78	547	15	1,98
819	PNPN-19-I	4	100	150	97	148	507	18,2	15,2	58	4,22	579	12	2
820	PNPN-20-I	4	100	150	95	147	503	19,0	15,6	58	3,91	557	13	2
821	PNPN-21-I	4	100	150	94	146	510	19,0	15,8	58	4,04	578	11	2,32
822	PNPN-22-I	4	100	150	95	146	501	19,0	16,6	58	3,95	568	10	1,91
823	PNPN-23-I	4	100	150	95	147	501	19,7	15,3	58	4,51	644	11	2,55
824	PNPN-24-I	4	100	150	94	146	499	19,7	17,0	58	4,47	653	8	2,78
825	PNPN-25-I	4	100	150	96	147	500	17,3	14,3	58	3,99	565	15	2,31
826	PNPN-01-I	4	100	150	97	147	503	17,1	15,0	72	4,49	625	11	2,2
827	PNPN-02-I	4	100	150	96	147	500	15,7	14,4	72	3,73	528	12	1,99
828	PNPN-03-I	4	100	150	96	147	498	16,9	14,8	72	3,97	564	11	2,4
829	PNPN-04-I	4	100	150	97	148	503	17,5	14,0	72	4,31	596	11	2,38
830	PNPN-05-I	4	100	150	97	146	500	16,1	14,9	72	4,25	600	13	1,73
831	PNPN-06-I	4	100	150	96	148	506	17,9	15,4	72	4,17	579	9	2,2
832	PNPN-07-I	4	100	150	97	147	505	17,4	15,1	72	4,33	601	12	2,75
833	PNPN-08-I	4	100	150	97	146	502	17,6	14,4	72	3,96	557	14	1,5
834	PNPN-09-I	4	100	150	97	149	496	18,6	16,3	72	3,77	526	16	1,62
835	PNPN-10-I	4	100	150	96	148	500	16,0	14,0	72	3,41	481	12	1,78
836	PNPN-11-I	4	100	150	96	147	501	17,4	15,1	72	3,94	557	15	1,78
837	PNPN-12-I	4	100	150	97	145	498	18,1	15,6	72	4,10	586	13	2,32
838	PNPN-13-I	4	100	150	94	147	498	17,3	13,7	72	4,04	587	11	2
839	PNPN-14-I	4	100	150	97	146	497	15,6	13,9	72	3,66	521	11	1,5
840	PNPN-15-I	4	100	150	97	149	496	21,1	17,0	72	4,55	635	8	2,13
841	PNPN-16-I	4	100	150	97	147	501	18,0	14,6	72	4,15	581	13	2,28
842	PNPN-17-I	4	100	150	96	145	500	18,0	17,0	72	4,34	623	12	1,69
843	PNPN-18-I	4	100	150	95	145	498	16,9	14,1	72	3,70	540	15	1,99
844	PNPN-19-I	4	100	150	96	147	507	17,1	13,5	72	4,15	580	10	2,06
845	PNPN-20-I	4	100	150	94	147	503	17,8	13,7	72	3,85	554	11	2,1
846	PNPN-21-I	4	100	150	94	145	510	17,8	14,1	72	3,98	573	11	2,29
847	PNPN-22-I	4	100	150	94	145	501	18,1	14,4	72	3,87	567	11	1,99
848	PNPN-23-I	4	100	150	94	146	501	18,5	13,6	72	4,44	646	11	2,51
849	PNPN-24-I	4	100	150	94	145	499	18,4	15,3	72	4,40	647	7	2,94
850	PNPN-25-I	4	100	150	95	146	500	16,4	13,2	72	3,95	569	13	2,5
851	PNPN-01-I	4	100	150	97	145	503	14,9	12,2	100	4,38	618	11	2,43
852	PNPN-02-I	4	100	150	96	146	500	13,1	11,5	100	3,63	518	12	2,09
853	PNPN-03-I	4	100	150	96	146	498	14,5	11,9	100	3,87	554	10	2,66
854	PNPN-04-I	4	100	150	96	148	503	15,4	11,2	100	4,20	588	10	2,63
855	PNPN-05-I	4	100	150	97	145	500	13,3	11,8	100	4,13	588	14	1,72
856	PNPN-06-I	4	100	150	96	146	506	15,4	12,2	100	4,05	571	9	2,37
857	PNPN-07-I	4	100	150	96	145	504	14,9	12,2	100	4,22	601	11	2,71
858	PNPN-08-I	4	100	150	96	145	502	15,1	11,6	100	3,87	553	14	1,54

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
859	PNPN-09-I	4	100	150	96	147	497	15,3	12,3	100	3,64	519	15	1,71
860	PNPN-10-I	4	100	150	96	148	500	13,5	11,5	100	3,34	470	12	1,76
861	PNPN-11-I	4	100	150	96	146	500	14,7	12,1	100	3,84	547	14	1,97
862	PNPN-12-I	4	100	150	96	144	498	15,8	12,6	100	4,00	581	13	2,37
863	PNPN-13-I	4	100	150	94	147	497	15,0	10,9	100	3,94	573	13	2,15
864	PNPN-14-I	4	100	150	96	145	496	13,1	11,2	100	3,58	518	13	1,67
865	PNPN-15-I	4	100	150	96	148	496	17,5	13,1	100	4,40	624	8	2,28
866	PNPN-16-I	4	100	150	97	146	500	15,3	11,6	100	4,04	571	13	2,58
867	PNPN-17-I	4	100	150	96	144	500	14,2	13,0	100	4,19	606	11	1,83
868	PNPN-18-I	4	100	150	94	144	498	14,2	11,5	100	3,62	537	13	2,31
869	PNPN-19-I	4	100	150	96	147	507	15,0	11,1	100	4,06	568	11	2,19
870	PNPN-20-I	4	100	150	94	146	502	15,6	11,3	100	3,77	547	11	2,19
871	PNPN-21-I	4	100	150	93	144	509	15,4	11,6	100	3,90	572	11	2,52
872	PNPN-22-I	4	100	150	93	144	501	15,8	11,5	100	3,77	562	10	2,1
873	PNPN-23-I	4	100	150	93	145	501	15,9	10,9	100	4,34	642	10	2,95
874	PNPN-24-I	4	100	150	94	144	499	15,9	12,4	100	4,29	636	7	3,27
875	PNPN-25-I	4	100	150	95	145	500	14,2	10,9	100	3,87	562	13	2,64
876	PNPN-01-I	4	100	150	96	145	503	13,6	11,0	121	4,33	618	11	2,45
877	PNPN-02-I	4	100	150	96	146	500	11,9	10,5	121	3,60	514	12	2,1
878	PNPN-03-I	4	100	150	96	146	498	13,3	10,9	121	3,83	549	9	2,69
879	PNPN-04-I	4	100	150	96	148	502	14,2	10,3	121	4,17	584	10	2,64
880	PNPN-05-I	4	100	150	97	144	500	11,9	10,8	121	4,09	586	14	1,91
881	PNPN-06-I	4	100	150	95	146	506	14,0	11,0	121	4,01	571	8	2,56
882	PNPN-07-I	4	100	150	96	145	504	14,1	11,2	121	4,18	596	10	3,1
883	PNPN-08-I	4	100	150	96	145	501	13,6	10,7	121	3,83	549	16	2
884	PNPN-09-I	4	100	150	96	147	497	13,7	10,9	121	3,60	513	14	1,82
885	PNPN-10-I	4	100	150	95	147	500	12,3	10,3	121	3,30	473	13	1,99
886	PNPN-11-I	4	100	150	96	146	500	13,3	10,8	121	3,79	541	14	2,13
887	PNPN-12-I	4	100	150	96	144	497	14,5	11,3	121	3,95	575	12	2,63
888	PNPN-13-I	4	100	150	94	147	497	13,7	9,7	121	3,90	567	12	2,18
889	PNPN-14-I	4	100	150	96	145	495	11,7	10,1	121	3,54	514	14	1,86
890	PNPN-15-I	4	100	150	96	147	496	15,8	11,4	121	4,33	619	8	2,4
891	PNPN-16-I	4	100	150	96	146	500	13,9	10,4	121	4,00	571	13	2,73
892	PNPN-17-I	4	100	150	95	143	500	12,3	11,4	121	4,13	608	12	1,9
893	PNPN-18-I	4	100	150	94	144	498	12,7	10,0	121	3,57	530	13	2,35
894	PNPN-19-I	4	100	150	96	147	506	13,8	9,7	121	4,01	562	11	2,37
895	PNPN-20-I	4	100	150	94	146	502	14,3	9,9	121	3,72	540	12	2,1
896	PNPN-21-I	4	100	150	93	143	509	13,7	10,2	121	3,85	568	11	2,72
897	PNPN-22-I	4	100	150	93	144	501	14,4	9,9	121	3,72	555	11	2,28
898	PNPN-23-I	4	100	150	93	145	501	14,5	9,4	121	4,28	633	10	2,91
899	PNPN-24-I	4	100	150	93	144	498	14,5	10,9	121	4,24	635	7	3,35
900	PNPN-25-I	4	100	150	95	145	499	12,9	9,7	121	3,83	557	11	2,66
901	PNPN-01-I	4	100	150	96	144	503	10,9	8,9	162	4,25	611	11	2,68
902	PNPN-02-I	4	100	150	96	145	500	9,0	8,6	162	3,54	509	12	2,14
903	PNPN-03-I	4	100	150	96	146	498	10,6	8,9	162	3,76	539	9	2,75
904	PNPN-04-I	4	100	150	96	147	502	11,7	8,3	162	4,09	578	10	2,76
905	PNPN-05-I	4	100	150	97	143	500	9,0	8,7	162	4,02	579	13	1,91
906	PNPN-06-I	4	100	150	95	145	506	11,3	8,9	162	3,93	564	9	2,75
907	PNPN-07-I	4	100	150	96	144	504	11,4	9,2	162	4,10	589	10	3,37
908	PNPN-08-I	4	100	150	96	144	501	10,5	8,8	162	3,77	544	16	2,39
909	PNPN-09-I	4	100	150	96	146	497	10,7	8,9	162	3,53	507	16	1,86
910	PNPN-10-I	4	100	150	95	146	500	9,7	8,8	162	3,26	470	12	1,99
911	PNPN-11-I	4	100	150	96	145	500	10,6	8,8	162	3,73	535	14	2,36
912	PNPN-12-I	4	100	150	96	144	497	11,8	9,2	162	3,88	564	11	2,96
913	PNPN-13-I	4	100	150	93	147	497	11,0	7,9	162	3,83	564	12	2,36
914	PNPN-14-I	4	100	150	96	144	495	9,1	8,4	162	3,49	510	14	2,28
915	PNPN-15-I	4	100	150	95	147	496	12,8	9,0	162	4,24	612	9	2,44
916	PNPN-16-I	4	100	150	96	145	500	11,1	8,5	162	3,93	565	12	2,76
917	PNPN-17-I	4	100	150	95	142	500	9,0	9,2	162	4,05	600	12	2,02
918	PNPN-18-I	4	100	150	94	143	498	10,0	8,4	162	3,52	526	13	2,37
919	PNPN-19-I	4	100	150	96	146	505	11,3	8,1	162	3,95	558	11	2,52
920	PNPN-20-I	4	100	150	94	146	502	11,9	8,3	162	3,67	532	12	2,22
921	PNPN-21-I	4	100	150	93	142	509	11,4	8,6	162	3,79	564	10	2,82
922	PNPN-22-I	4	100	150	93	144	501	11,9	8,2	162	3,67	546	10	2,59
923	PNPN-23-I	4	100	150	93	145	501	11,8	7,7	162	4,21	623	10	3,12
924	PNPN-24-I	4	100	150	93	143	498	11,9	9,0	162	4,16	629	7	3,68
925	PNPN-25-I	4	100	150	95	144	499	10,3	8,1	162	3,77	553	11	2,82
926	PNPN-01-I	4	100	150	96	143	502	10,3	8,8	178	4,25	616	11	2,74
927	PNPN-02-I	4	100	150	96	145	499	8,5	8,7	178	3,54	510	12	2,21
928	PNPN-03-I	4	100	150	95	145	497	10,0	8,9	178	3,76	550	9	2,83
929	PNPN-04-I	4	100	150	95	147	502	11,0	8,3	178	4,09	584	10	2,83
930	PNPN-05-I	4	100	150	96	143	500	8,5	8,7	178	4,02	585	13	1,91

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHE	Días	Masa	Denp	Prof	Fuer
931	PNPN-06-I	4	100	150	94	145	506	10,6	8,8	178	3,93	569	9	2,85
932	PNPN-07-I	4	100	150	96	143	504	10,7	9,1	178	4,10	592	10	3,8
933	PNPN-08-I	4	100	150	96	144	500	9,6	8,7	178	3,77	545	13	2,33
934	PNPN-09-I	4	100	150	96	146	496	10,0	8,8	178	3,53	507	16	2
935	PNPN-10-I	4	100	150	95	146	499	9,2	8,7	178	3,26	471	12	2,06
936	PNPN-11-I	4	100	150	95	145	500	10,0	8,7	178	3,72	540	14	2,42
937	PNPN-12-I	4	100	150	96	144	497	11,1	9,1	178	3,87	564	12	2,89
938	PNPN-13-I	4	100	150	93	146	496	10,4	7,8	178	3,83	568	12	2,35
939	PNPN-14-I	4	100	150	95	144	495	8,6	8,3	178	3,49	515	14	2,41
940	PNPN-15-I	4	100	150	95	147	495	12,0	8,7	178	4,23	611	9	2,55
941	PNPN-16-I	4	100	150	96	144	499	10,3	8,4	178	3,93	569	12	3,04
942	PNPN-17-I	4	100	150	94	141	500	8,4	9,1	178	4,04	610	12	2,15
943	PNPN-18-I	4	100	150	93	143	497	9,5	8,3	178	3,52	532	13	2,46
944	PNPN-19-I	4	100	150	95	145	505	10,7	7,9	178	3,95	567	11	2,57
945	PNPN-20-I	4	100	150	93	145	501	11,3	8,2	178	3,66	542	11	2,4
946	PNPN-21-I	4	100	150	92	142	509	10,8	8,4	178	3,78	569	9	2,96
947	PNPN-22-I	4	100	150	92	143	501	11,2	8,0	178	3,66	555	10	2,6
948	PNPN-23-I	4	100	150	92	144	500	11,1	7,5	178	4,20	634	10	3,22
949	PNPN-24-I	4	100	150	93	142	498	11,2	8,8	178	4,15	632	7	3,9
950	PNPN-25-I	4	100	150	94	143	499	9,7	8,0	178	3,77	562	11	2,86

B.4 Muestra 2 (120 piezas a 4, 3, 2 y 1 m)**B.4.1 Dimensiones, contenidos de humedad, clasificación visual y densidad**

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
1	PNRD-01-4	1	90	140	102	145	3993	10,9	10,8	67	324	0,18	30,68	521
2	PNRD-02-4	1	90	140	104	145	3997	11,3	10,6	64	322	0,18	32,36	541
3	PNRD-03-4	1	90	140	103	144	3996	13,1	12,5	67	321	0,15	33,82	575
4	PNRD-04-4	1	90	140	103	145	4001	12,6	11,8	64	322	0,27	30,36	511
5	PNRD-05-4	1	90	140	104	145	3997	11,3	11,7	67	324	0,14	32,12	535
6	PNRD-06-4	1	90	140	103	145	3996	10,3	9,7	64	322	0,16	30,16	505
7	PNRD-07-4	1	90	140	102	143	3997	9,7	12,0	67	324	0,16	31,28	538
8	PNRD-08-4	1	90	140	104	146	3997	10,5	10,2	67	324	0,18	30,60	508
9	PNRD-09-4	1	90	140	104	145	3997	11,4	10,6	64	322	0,06	28,74	479
10	PNRD-10-4	1	90	140	103	144	3998	12,5	12,7	64	323	0,18	30,64	519
11	PNRD-11-4	1	90	140	101	139	3994	10,8	10,6	67	324	0,08	28,80	518
12	PNRD-12-4	1	90	140	101	144	3995	10,7	11,1	64	324	0,15	28,62	497
13	PNRD-13-4	1	90	140	105	144	4002	11,6	10,6	67	324	0,24	27,66	459
14	PNRD-14-4	1	90	140	103	145	3999	10,5	9,7	64	322	0,24	29,82	503
15	PNRD-15-4	1	90	140	102	145	3995	11,0	10,3	64	322	0,14	31,06	528
16	PNRD-16-4	1	90	140	104	145	3998	10,7	8,2	64	322	0,09	28,78	481
17	PNRD-17-4	1	90	140	104	144	4001	12,5	11,1	67	324	0,22	31,60	532
18	PNRD-18-4	1	90	140	101	145	3990	10,6	10,8	67	324	0,11	35,36	605
19	PNRD-19-4	1	90	140	105	145	3995	11,4	9,2	67	324	0,12	29,50	487
20	PNRD-20-4	1	90	140	104	146	3999	10,8	8,7	67	321	0,18	31,74	525
21	PNRD-21-4	1	90	140	103	146	3998	11,4	10,1	67	322	0,26	29,64	497
22	PNRD-22-4	1	90	140	102	140	3997	11,5	11,1	64	322	0,14	30,88	544
23	PNRD-23-4	1	90	140	105	145	3994	11,6	12,0	67	324	0,24	28,08	462
24	PNRD-24-4	1	90	140	104	143	3997	11,6	12,3	64	324	0,14	29,66	501
25	PNRD-25-4	1	90	140	102	145	3999	12,0	10,7	67	324	0,27	31,76	539
26	PNRD-26-4	1	90	140	102	144	3996	12,3	12,7	67	324	0,18	31,94	546
27	PNRD-27-4	1	90	140	105	144	3996	11,6	10,3	67	324	0,18	28,40	472
28	PNRD-28-4	1	90	140	103	145	3999	12,0	12,5	64	322	0,10	31,34	525
29	PNRD-29-4	1	90	140	103	145	3999	11,4	10,2	67	324	0,09	29,92	501
30	PNRD-30-4	1	90	140	99	144	3999	11,4	10,8	64	322	0,21	30,58	538
31	PNRD-01-3	1	90	140	102	145	2990	10,1	10,5	67	324	0,18	22,58	512
32	PNRD-02-3	1	90	140	104	145	2991	10,2	9,9	64	324	0,18	23,68	529
33	PNRD-03-3	1	90	140	103	144	2994	12,4	13,0	67	321	0,15	25,18	572
34	PNRD-04-3	1	90	140	103	145	2992	12,0	11,8	64	324	0,27	22,62	509
35	PNRD-05-3	1	90	140	104	145	2993	10,2	11,4	67	324	0,14	24,04	534
36	PNRD-06-3	1	90	140	103	145	2994	10,2	8,6	64	322	0,16	21,88	489
37	PNRD-07-3	1	90	140	102	143	2991	10,5	11,2	67	324	0,16	23,78	547
38	PNRD-08-3	1	90	140	104	146	2992	10,1	9,0	64	321	0,18	22,80	506
39	PNRD-09-3	1	90	140	104	145	2995	10,6	9,3	64	322	0,06	21,62	481
40	PNRD-10-3	1	90	140	103	144	2997	12,0	11,8	64	323	0,18	23,28	526
41	PNRD-11-3	1	90	140	101	139	2995	9,1	9,4	67	324	0,05	21,86	524
42	PNRD-12-3	1	90	140	101	144	2994	9,4	10,1	67	324	0,10	21,60	500
43	PNRD-13-3	1	90	140	105	144	2994	10,0	10,0	67	324	0,26	20,34	451
44	PNRD-14-3	1	90	140	103	145	2993	9,3	9,0	64	323	0,08	22,02	497
45	PNRD-15-3	1	90	140	102	145	2995	9,5	10,1	64	322	0,10	23,04	523
46	PNRD-16-3	1	90	140	104	145	2990	10,0	9,0	64	322	0,09	21,08	471
47	PNRD-17-3	1	90	140	104	144	2996	10,8	11,9	67	324	0,22	23,44	527
48	PNRD-18-3	1	90	140	101	145	2994	8,4	12,0	67	324	0,11	26,58	606
49	PNRD-19-3	1	90	140	105	145	2991	9,5	10,0	64	322	0,12	22,04	486
50	PNRD-20-3	1	90	140	104	146	2994	9,6	10,4	64	322	0,18	23,52	519
51	PNRD-21-3	1	90	140	103	146	2992	10,0	9,4	64	322	0,10	22,38	502
52	PNRD-22-3	1	90	140	102	140	2994	9,5	10,5	64	322	0,14	22,84	537
53	PNRD-23-3	1	90	140	105	145	2996	10,0	9,5	64	323	0,04	20,78	456
54	PNRD-24-3	1	90	140	104	143	2997	9,4	11,2	64	322	0,14	22,20	500
55	PNRD-25-3	1	90	140	102	145	2996	9,6	10,4	64	324	0,27	23,76	538
56	PNRD-26-3	1	90	140	102	144	2994	10,5	11,9	67	324	0,18	23,48	536
57	PNRD-27-3	1	90	140	105	144	2995	9,9	10,6	67	324	0,18	21,42	475
58	PNRD-28-3	1	90	140	103	145	2990	9,2	12,0	64	322	0,10	23,00	515
59	PNRD-29-3	1	90	140	103	145	2994	10,5	10,4	64	324	0,09	22,28	498
60	PNRD-30-3	1	90	140	99	144	2991	9,3	9,8	64	322	0,21	22,32	525
61	PNRD-01-2	1	90	140	102	145	1985	9,3	7,9				15,00	513
62	PNRD-02-2	1	90	140	104	145	1986	9,3	7,0				15,76	531
63	PNRD-03-2	1	90	140	103	144	1978	10,5	9,5				16,82	578
64	PNRD-04-2	1	90	140	103	145	1985	11,1	8,4				14,94	506
65	PNRD-05-2	1	90	140	104	145	1985	9,1	8,5				15,88	532
66	PNRD-06-2	1	90	140	103	145	1988	10,1	7,3				14,82	499

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
67	PNRD-07-2	1	90	140	102	143	1984	9,5	9,7				15,84	549
68	PNRD-08-2	1	90	140	104	146	1974	8,5	7,5				14,86	500
69	PNRD-09-2	1	90	140	104	145	1980	9,4	7,8				14,24	479
70	PNRD-10-2	1	90	140	103	144	1979	10,3	9,8				15,20	520
71	PNRD-11-2	1	90	140	101	139	1984	7,4	10,2				14,56	527
72	PNRD-12-2	1	90	140	101	144	1983	9,4	10,2				14,16	495
73	PNRD-13-2	1	90	140	105	144	1980	9,7	10,0				13,40	450
74	PNRD-14-2	1	90	140	103	145	1984	8,9	9,3				14,42	491
75	PNRD-15-2	1	90	140	102	145	1984	9,5	10,2				15,06	516
76	PNRD-16-2	1	90	140	104	145	1978	9,7	8,8				14,30	483
77	PNRD-17-2	1	90	140	104	144	1981	10,7	11,9				15,54	528
78	PNRD-18-2	1	90	140	101	145	1981	9,1	10,8				17,58	606
79	PNRD-19-2	1	90	140	105	145	1980	9,6	9,9				14,50	483
80	PNRD-20-2	1	90	140	104	146	1980	9,1	9,9				15,58	520
81	PNRD-21-2	1	90	140	103	146	1981	9,0	9,1				14,48	490
82	PNRD-22-2	1	90	140	102	140	1983	9,2	10,5				15,24	541
83	PNRD-23-2	1	90	140	107	145	1976	9,4	9,1				13,90	456
84	PNRD-24-2	1	90	140	104	143	1987	9,1	10,6				14,84	504
85	PNRD-25-2	1	90	140	102	145	1981	8,9	10,0				15,52	532
86	PNRD-26-2	1	90	140	102	144	1983	9,0	11,1				15,52	535
87	PNRD-27-2	1	90	140	105	144	1982	9,2	9,3				14,10	473
88	PNRD-28-2	1	90	140	103	145	1978	10,0	11,2				15,28	517
89	PNRD-29-2	1	90	140	103	145	1987	9,1	9,7				14,46	487
90	PNRD-30-2	1	90	140	99	144	1980	8,3	9,0				14,54	517
91	PNRD-01-1	1	90	140	102	145	998	8,8	9,2				7,66	521
92	PNRD-02-1	1	90	140	104	145	998	8,1	8,7				7,68	515
93	PNRD-03-1	1	90	140	103	144	999	10,0	10,9				8,24	561
94	PNRD-04-1	1	90	140	103	145	999	10,1	10,3				7,60	512
95	PNRD-05-1	1	90	140	104	145	1000	9,1	9,1				7,96	530
96	PNRD-06-1	1	90	140	103	145	999	9,4	8,7				7,40	496
97	PNRD-07-1	1	90	140	102	143	989	9,5	10,4				7,84	545
98	PNRD-08-1	1	90	140	104	146	994	9,1	8,7				7,34	490
99	PNRD-09-1	1	90	140	104	145	995	9,4	8,7				7,12	477
100	PNRD-10-1	1	90	140	103	144	993	9,8	10,6				7,50	512
101	PNRD-11-1	1	90	140	101	139	992	10,1	9,9				7,20	521
102	PNRD-12-1	1	90	140	101	144	994	8,9	10,3				6,86	479
103	PNRD-13-1	1	90	140	105	144	993	9,2	9,3				6,44	431
104	PNRD-14-1	1	90	140	103	145	993	9,3	8,8				7,08	481
105	PNRD-15-1	1	90	140	102	145	993	9,0	9,4				7,22	494
106	PNRD-16-1	1	90	140	104	145	1000	8,8	8,3				7,04	471
107	PNRD-17-1	1	90	140	104	144	994	9,7	11,3				7,76	526
108	PNRD-18-1	1	90	140	101	145	1000	9,6	12,7				8,76	598
109	PNRD-19-1	1	90	140	105	145	1000	8,8	9,6				7,34	484
110	PNRD-20-1	1	90	140	104	146	1000	9,2	9,7				7,74	511
111	PNRD-21-1	1	90	140	103	146	1000	9,5	9,1				7,22	484
112	PNRD-22-1	1	90	140	102	140	1000	8,1	10,4				7,50	528
113	PNRD-23-1	1	90	140	107	145	1000	9,6	9,7				6,84	443
114	PNRD-24-1	1	90	140	102	143	1000	9,2	10,6				7,20	495
115	PNRD-25-1	1	90	140	102	145	1000	9,1	10,0				7,74	525
116	PNRD-26-1	1	90	140	102	144	1000	9,6	11,0				7,76	530
117	PNRD-27-1	1	90	140	105	144	1000	9,0	9,8				7,16	476
118	PNRD-28-1	1	90	140	103	145	1000	8,7	10,8				7,48	501
119	PNRD-29-1	1	90	140	103	145	1000	9,6	9,7				7,12	477
120	PNRD-30-1	1	90	140	99	144	1000	7,3	8,9				7,22	508
121	PNSY-01-4	2	90	140	90	139	4000	10,4	10,1	64	322	0,15	26,10	524
122	PNSY-02-4	2	90	140	89	139	4001	10,1	9,0	64	322	0,17	25,36	512
123	PNSY-03-4	2	90	140	89	139	4000	10,2	8,5	64	322	0,11	24,00	487
124	PNSY-04-4	2	90	140	89	139	4001	10,7	9,3	64	322	0,18	24,56	496
125	PNSY-05-4	2	90	140	89	138	4001	10,4	8,2	64	323	0,14	22,98	469
126	PNSY-06-4	2	90	140	89	138	3999	9,0	8,6	64	322	0,08	22,92	467
127	PNSY-07-4	2	90	140	89	139	4000	10,0	9,2	64	323	0,05	24,68	501
128	PNSY-08-4	2	90	140	90	139	3999	9,6	6,0	64	322	0,05	24,84	501
129	PNSY-09-4	2	90	140	89	139	4000	9,9	9,8	64	322	0,04	27,04	548
130	PNSY-10-4	2	90	140	89	137	4000	9,2	9,5	64	323	0,08	26,52	547
131	PNSY-11-4	2	90	140	90	139	4001	10,6	9,6	64	322	0,16	27,28	550
132	PNSY-12-4	2	90	140	89	139	3999	11,3	10,9	64	322	0,25	31,00	629
133	PNSY-13-4	2	90	140	90	138	4001	11,1	8,7	64	324	0,13	24,72	500
134	PNSY-14-4	2	90	140	89	139	4001	10,5	6,5	64	322	0,19	24,98	505
135	PNSY-15-4	2	90	140	89	138	3997	9,3	8,7	64	324	0,18	27,20	559
136	PNSY-16-4	2	90	140	89	138	3996	10,2	9,6	64	322	0,12	25,08	514
137	PNSY-17-4	2	90	140	89	138	4000	10,6	10,0	64	322	0,11	25,06	513
138	PNSY-18-4	2	90	140	89	138	4000	10,6	9,8	64	323	0,07	28,32	580

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
139	PNSY-19-4	2	90	140	89	139	4002	8,4	10,6	64	324	0,28	26,86	544
140	PNSY-20-4	2	90	140	89	138	4001	9,5	9,9	67	324	0,43	28,24	577
141	PNSY-21-4	2	90	140	90	139	4001	8,8	9,2	64	322	0,14	25,54	515
142	PNSY-22-4	2	90	140	89	139	4001	8,6	6,1	67	324	0,07	21,70	440
143	PNSY-23-4	2	90	140	90	138	4001	9,4	8,9	67	324	0,07	24,46	495
144	PNSY-24-4	2	90	140	89	138	4000	9,8	9,5	64	322	0,10	27,36	560
145	PNSY-25-4	2	90	140	89	137	4001	10,9	12,1	64	322	0,05	28,90	592
146	PNSY-26-4	2	90	140	89	138	4001	10,6	8,6	64	323	0,00	27,12	555
147	PNSY-27-4	2	90	140	89	139	4000	8,9	7,4	64	322	0,22	21,00	424
148	PNSY-28-4	2	90	140	90	138	4001	11,1	10,7	64	323	0,03	24,60	498
149	PNSY-29-4	2	90	140	89	139	4000	10,2	10,8	64	321	0,12	27,28	554
150	PNSY-30-4	2	90	140	89	140	4001	8,6	8,8	64	322	0,26	25,78	522
151	PNSY-01-3	2	90	140	90	139	2994	8,8	10,3	64	323	0,11	19,30	518
152	PNSY-02-3	2	90	140	89	139	2992	9,2	8,9	64	322	0,15	18,78	507
153	PNSY-03-3	2	90	140	89	139	2995	9,2	8,7	64	322	0,09	17,80	482
154	PNSY-04-3	2	90	140	89	139	2992	9,1	9,1	64	322	0,18	18,40	497
155	PNSY-05-3	2	90	140	89	138	2993	9,0	8,3	64	323	0,11	17,22	470
156	PNSY-06-3	2	90	140	89	138	2992	8,4	6,5	64	322	0,08	16,72	455
157	PNSY-07-3	2	90	140	89	139	2993	9,7	6,5	64	323	0,05	18,42	499
158	PNSY-08-3	2	90	140	90	139	2991	8,4	7,4	64	322	0,05	18,32	494
159	PNSY-09-3	2	90	140	89	139	2994	8,1	7,6	64	322	0,04	19,92	540
160	PNSY-10-3	2	90	140	89	137	2990	8,8	8,5	64	323	0,08	19,72	544
161	PNSY-11-3	2	90	140	90	139	2991	9,5	9,5	64	322	0,16	20,36	549
162	PNSY-12-3	2	90	140	89	139	2992	10,7	10,4	64	322	0,25	23,24	630
163	PNSY-13-3	2	90	140	90	138	2993	8,2	8,0	64	324	0,13	18,56	502
164	PNSY-14-3	2	90	140	89	139	2993	9,6	7,7	64	322	0,19	18,46	499
165	PNSY-15-3	2	90	140	89	138	2992	8,7	7,4	67	324	0,18	20,22	555
166	PNSY-16-3	2	90	140	89	138	2986	9,3	9,5	64	322	0,12	18,72	513
167	PNSY-17-3	2	90	140	89	138	2992	10,0	10,2	64	322	0,09	18,32	501
168	PNSY-18-3	2	90	140	89	138	2993	10,2	6,3	64	323	0,07	20,92	572
169	PNSY-19-3	2	90	140	89	139	2992	8,1	7,0	64	322	0,28	19,48	528
170	PNSY-20-3	2	90	140	89	138	2990	9,1	6,2	67	324	0,43	21,14	578
171	PNSY-21-3	2	90	140	90	139	2988	8,3	9,1	64	322	0,14	19,16	517
172	PNSY-22-3	2	90	140	89	139	2995	8,1	7,1	67	324	0,07	16,36	443
173	PNSY-23-3	2	90	140	90	138	2989	9,1	7,4	64	324	0,07	18,06	489
174	PNSY-24-3	2	90	140	89	138	2994	9,8	8,6	64	323	0,09	20,34	556
175	PNSY-25-3	2	90	140	89	137	2993	11,1	7,5	64	323	0,04	21,70	595
176	PNSY-26-3	2	90	140	89	138	2992	9,4	10,4	64	323	0,00	19,68	539
177	PNSY-27-3	2	90	140	89	139	2994	8,0	6,8	64	322	0,22	15,64	422
178	PNSY-28-3	2	90	140	90	138	2995	10,2	9,0	64	323	0,03	18,64	504
179	PNSY-29-3	2	90	140	89	139	2994	8,8	7,0	64	321	0,12	20,38	553
180	PNSY-30-3	2	90	140	89	140	2997	8,1	6,4	64	322	0,19	18,70	505
181	PNSY-01-2	2	90	140	90	139	1994	8,4	9,6				13,02	525
182	PNSY-02-2	2	90	140	89	139	1994	9,3	8,8				12,52	508
183	PNSY-03-2	2	90	140	89	139	1992	8,4	8,1				11,80	481
184	PNSY-04-2	2	90	140	89	139	1993	9,8	8,6				12,28	498
185	PNSY-05-2	2	90	140	89	138	1992	9,2	7,8				11,28	463
186	PNSY-06-2	2	90	140	89	138	1989	8,3	6,7				10,92	447
187	PNSY-07-2	2	90	140	89	139	1994	9,3	6,7				12,16	495
188	PNSY-08-2	2	90	140	90	139	1992	8,8	7,7				12,28	497
189	PNSY-09-2	2	90	140	89	139	1995	9,1	7,9				13,04	530
190	PNSY-10-2	2	90	140	89	137	1991	9,2	8,7				13,10	543
191	PNSY-11-2	2	90	140	90	139	1994	10,2	7,8				13,58	549
192	PNSY-12-2	2	90	140	89	139	1993	11,2	10,1				15,80	643
193	PNSY-13-2	2	90	140	90	138	1994	7,6	6,3				12,26	498
194	PNSY-14-2	2	90	140	89	139	1993	9,5	7,3				12,02	488
195	PNSY-15-2	2	90	140	89	138	1994	9,4	6,8				13,42	553
196	PNSY-16-2	2	90	140	89	138	1993	9,3	8,8				12,54	515
197	PNSY-17-2	2	90	140	89	138	1991	9,6	9,5				12,10	498
198	PNSY-18-2	2	90	140	89	138	1993	10,0	9,6				13,90	568
199	PNSY-19-2	2	90	140	89	139	1995	8,3	9,2				12,66	515
200	PNSY-20-2	2	90	140	89	138	1990	8,6	8,6				13,92	572
201	PNSY-21-2	2	90	140	90	139	1994	8,1	5,8				12,66	512
202	PNSY-22-2	2	90	140	89	139	1994	7,4	4,6				10,78	439
203	PNSY-23-2	2	90	140	90	138	1994	8,3	5,3				11,74	477
204	PNSY-24-2	2	90	140	89	138	1990	8,5	6,6				13,58	559
205	PNSY-25-2	2	90	140	89	137	1993	9,7	8,1				14,42	593
206	PNSY-26-2	2	90	140	89	138	1994	10,0	9,9				12,64	519
207	PNSY-27-2	2	90	140	89	139	1993	7,9	7,1				10,36	420
208	PNSY-28-2	2	90	140	90	138	1990	10,1	9,7				12,42	505
209	PNSY-29-2	2	90	140	89	139	1992	8,2	8,2				13,26	541
210	PNSY-30-2	2	90	140	89	140	1992	8,0	8,2				12,46	507

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
211	PNSY-01-1	2	90	140	90	139	1000	9,7	9,5				6,54	526
212	PNSY-02-1	2	90	140	89	139	1000	9,6	8,6				6,28	508
213	PNSY-03-1	2	90	140	89	139	1000	8,3	8,3				5,96	484
214	PNSY-04-1	2	90	140	89	139	1000	9,2	8,4				6,10	493
215	PNSY-05-1	2	90	140	89	138	1000	9,8	7,5				5,62	459
216	PNSY-06-1	2	90	140	89	138	1000	8,9	8,2				5,54	451
217	PNSY-07-1	2	90	140	89	139	1000	9,7	8,3				6,18	501
218	PNSY-08-1	2	90	140	90	139	1000	8,6	9,7				6,22	502
219	PNSY-09-1	2	90	140	89	139	1000	9,5	9,6				6,50	527
220	PNSY-10-1	2	90	140	89	137	1000	8,8	10,7				6,58	543
221	PNSY-11-1	2	90	140	90	139	1000	9,4	9,4				6,78	547
222	PNSY-12-1	2	90	140	89	139	1000	11,2	11,7				8,06	654
223	PNSY-13-1	2	90	140	90	138	1000	8,1	7,7				6,34	513
224	PNSY-14-1	2	90	140	89	139	1000	10,5	8,4				6,16	498
225	PNSY-15-1	2	90	140	89	138	1000	8,5	8,3				6,82	560
226	PNSY-16-1	2	90	140	89	138	1000	9,3	8,8				6,30	516
227	PNSY-17-1	2	90	140	89	138	1000	8,6	9,6				6,32	517
228	PNSY-18-1	2	90	140	89	138	1000	9,8	9,8				7,18	585
229	PNSY-19-1	2	90	140	89	139	1000	7,2	9,4				6,32	513
230	PNSY-20-1	2	90	140	89	138	1000	7,7	9,0				6,96	569
231	PNSY-21-1	2	90	140	90	139	1000	8,5	9,2				6,30	508
232	PNSY-22-1	2	90	140	89	139	1000	8,0	8,2				5,38	436
233	PNSY-23-1	2	90	140	90	138	1000	8,3	8,1				5,74	465
234	PNSY-24-1	2	90	140	89	138	1000	8,9	8,6				6,78	555
235	PNSY-25-1	2	90	140	89	137	1000	10,0	11,9				6,98	572
236	PNSY-26-1	2	90	140	89	138	1000	9,4	9,6				6,18	506
237	PNSY-27-1	2	90	140	89	139	1000	7,6	6,9				5,20	420
238	PNSY-28-1	2	90	140	90	138	1000	9,4	9,5				6,08	492
239	PNSY-29-1	2	90	140	89	139	1000	7,5	8,0				6,56	533
240	PNSY-30-1	2	90	140	89	140	1000	7,5	8,0				6,22	504
241	PNNL-01-4	3	90	140	89	140	4038	13,1	11,5	67	324	0,27	29,38	586
242	PNNL-02-4	3	90	140	89	139	4028	13,2	9,8	64	321	0,15	25,40	514
243	PNNL-03-4	3	90	140	88	138	4020	13,8	11,8	67	324	0,13	27,32	560
244	PNNL-04-4	3	90	140	89	140	4017	10,8	10,1	67	324	0,13	24,44	493
245	PNNL-05-4	3	90	140	89	140	4018	12,8	11,4	67	324	0,27	27,70	558
246	PNNL-06-4	3	90	140	89	140	4025	11,2	10,7	64	324	0,29	26,00	523
247	PNNL-07-4	3	90	140	88	138	4034	13,5	13,5	64	322	0,09	32,44	662
248	PNNL-08-4	3	90	140	88	139	4040	12,6	13,7	64	324	0,13	31,68	645
249	PNNL-09-4	3	90	140	88	140	4030	13,0	9,6	67	324	0,24	22,78	460
250	PNNL-10-4	3	90	140	88	140	4040	12,2	10,6	64	324	0,28	26,38	532
251	PNNL-11-4	3	90	140	88	138	4036	13,5	13,2	67	324	0,21	27,30	559
252	PNNL-12-4	3	90	140	89	139	4036	12,3	10,9	64	324	0,24	26,36	530
253	PNNL-13-4	3	90	140	89	138	4030	12,1	11,6	64	322	0,12	28,06	567
254	PNNL-14-4	3	90	140	89	139	4004	12,6	12,0	64	322	0,20	26,96	547
255	PNNL-15-4	3	90	140	89	139	4026	10,9	10,0	64	322	0,15	24,98	506
256	PNNL-16-4	3	90	140	88	138	4024	13,1	13,5	64	322	0,18	29,12	596
257	PNNL-17-4	3	90	140	89	139	4021	12,4	10,2	67	324	0,33	26,48	535
258	PNNL-18-4	3	90	140	89	139	4010	11,8	12,6	64	324	0,17	26,84	544
259	PNNL-19-4	3	90	140	89	139	4027	12,8	10,8	64	322	0,18	27,50	554
260	PNNL-20-4	3	90	140	88	138	4030	12,3	14,2	64	322	0,05	33,24	679
261	PNNL-21-4	3	90	140	89	139	4006	13,3	8,7	67	324	0,09	21,68	437
262	PNNL-22-4	3	90	140	88	139	4023	13,4	11,9	67	324	0,14	26,10	532
263	PNNL-23-4	3	90	140	88	139	4035	14,3	8,6	67	324	0,29	26,60	541
264	PNNL-24-4	3	90	140	89	138	4010	13,2	9,0	64	321	0,11	25,56	519
265	PNNL-25-4	3	90	140	87	137	4010	13,1	9,1	67	324	0,15	25,80	545
266	PNNL-26-4	3	90	140	89	138	4030	14,3	8,5	64	322	0,15	26,52	539
267	PNNL-27-4	3	90	140	88	138	4014	12,8	7,4	67	324	0,19	25,40	524
268	PNNL-28-4	3	90	140	89	139	4024	11,2	6,7	64	322	0,11	26,28	533
269	PNNL-29-4	3	90	140	89	139	4030	12,6	7,4	64	322	0,18	27,34	551
270	PNNL-30-4	3	90	140	89	139	4040	12,2	9,1	64	321	0,16	28,60	578
271	PNNL-01-3	3	90	140	88	139	2996	12,2	11,6	67	324	0,27	21,72	593
272	PNNL-02-3	3	90	140	88	139	2994	12,2	10,0	67	324	0,12	18,78	515
273	PNNL-03-3	3	90	140	87	138	2995	12,6	11,6	67	324	0,13	20,18	561
274	PNNL-04-3	3	90	140	88	138	2995	9,6	10,4	67	324	0,13	18,28	503
275	PNNL-05-3	3	90	140	89	139	2993	12,7	11,3	67	324	0,27	20,62	562
276	PNNL-06-3	3	90	140	89	139	2998	10,2	10,1	64	324	0,29	19,36	525
277	PNNL-07-3	3	90	140	88	138	2995	12,2	12,7	64	322	0,09	24,14	664
278	PNNL-08-3	3	90	140	88	138	2997	11,5	13,3	64	324	0,13	22,08	610
279	PNNL-09-3	3	90	140	89	140	2994	11,2	8,6	67	324	0,24	16,80	455
280	PNNL-10-3	3	90	140	88	139	2995	10,9	10,0	67	324	0,28	19,18	525
281	PNNL-11-3	3	90	140	88	137	2998	12,3	12,7	67	324	0,21	20,60	570
282	PNNL-12-3	3	90	140	87	138	2995	12,5	10,5	64	324	0,20	19,54	543

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
283	PNNL-13-3	3	90	140	88	139	2996	11,8	10,8	64	322	0,12	20,86	575
284	PNNL-14-3	3	90	140	88	139	2997	12,3	11,6	67	324	0,20	22,44	614
285	PNNL-15-3	3	90	140	88	138	2995	11,2	9,6	64	324	0,15	18,58	511
286	PNNL-16-3	3	90	140	88	138	2996	13,1	12,0	64	322	0,13	21,54	592
287	PNNL-17-3	3	90	140	88	139	2996	12,1	9,2	67	324	0,33	19,60	540
288	PNNL-18-3	3	90	140	87	139	2996	11,4	10,9	67	324	0,17	20,02	555
289	PNNL-19-3	3	90	140	87	138	2995	12,2	10,3	67	324	0,14	20,74	577
290	PNNL-20-3	3	90	140	88	138	2996	13,2	13,2	64	322	0,05	23,78	660
291	PNNL-21-3	3	90	140	88	139	2998	12,9	9,5	67	324	0,09	16,18	443
292	PNNL-22-3	3	90	140	88	138	3000	12,8	12,2	64	321	0,14	19,54	539
293	PNNL-23-3	3	90	140	88	139	2997	13,0	10,4	64	324	0,29	19,68	542
294	PNNL-24-3	3	90	140	88	138	2996	11,6	10,8	64	321	0,11	18,68	518
295	PNNL-25-3	3	90	140	88	138	2995	12,2	11,4	64	321	0,15	19,74	548
296	PNNL-26-3	3	90	140	89	138	2996	12,7	10,7	64	322	0,15	19,74	539
297	PNNL-27-3	3	90	140	88	138	2993	11,0	9,7	64	324	0,19	18,70	514
298	PNNL-28-3	3	90	140	88	139	2995	11,2	10,4	64	322	0,05	19,56	536
299	PNNL-29-3	3	90	140	88	139	2995	12,1	9,6	64	322	0,18	20,28	556
300	PNNL-30-3	3	90	140	89	139	2993	11,2	9,8	64	321	0,16	21,46	582
301	PNNL-01-2	3	90	140	88	139	1996	12,3	8,3				14,34	587
302	PNNL-02-2	3	90	140	88	139	1994	12,1	6,7				12,48	514
303	PNNL-03-2	3	90	140	87	138	1996	11,5	8,5				13,42	560
304	PNNL-04-2	3	90	140	88	138	1997	9,3	7,1				12,22	504
305	PNNL-05-2	3	90	140	89	139	1998	12,5	8,4				13,72	560
306	PNNL-06-2	3	90	140	89	139	1998	9,3	7,3				12,78	520
307	PNNL-07-2	3	90	140	88	138	1998	12,8	9,7				16,12	664
308	PNNL-08-2	3	90	140	88	138	1997	11,4	10,1				15,38	638
309	PNNL-09-2	3	90	140	89	140	1996	10,2	7,9				10,92	443
310	PNNL-10-2	3	90	140	88	139	1992	9,9	9,3				12,76	526
311	PNNL-11-2	3	90	140	88	137	1998	11,5	12,2				13,66	567
312	PNNL-12-2	3	90	140	87	138	1996	11,2	9,9				12,94	540
313	PNNL-13-2	3	90	140	88	139	1995	10,8	10,2				13,56	561
314	PNNL-14-2	3	90	140	88	139	1996	10,2	10,4				13,52	556
315	PNNL-15-2	3	90	140	88	138	1996	10,2	9,3				12,30	507
316	PNNL-16-2	3	90	140	88	138	1996	11,7	12,4				14,44	596
317	PNNL-17-2	3	90	140	88	139	1997	10,5	9,6				12,24	506
318	PNNL-18-2	3	90	140	87	139	1995	10,2	11,4				13,26	552
319	PNNL-19-2	3	90	140	87	138	1995	10,8	10,3				13,74	574
320	PNNL-20-2	3	90	140	88	138	1995	11,8	13,5				16,28	678
321	PNNL-21-2	3	90	140	88	139	1998	12,1	8,8				10,68	439
322	PNNL-22-2	3	90	140	88	138	1998	12,2	10,9				12,62	523
323	PNNL-23-2	3	90	140	88	139	1996	12,7	8,0				12,88	532
324	PNNL-24-2	3	90	140	88	138	1995	11,3	10,0				12,60	525
325	PNNL-25-2	3	90	140	88	138	1995	11,3	11,5				13,06	544
326	PNNL-26-2	3	90	140	89	138	1996	10,9	10,5				12,82	526
327	PNNL-27-2	3	90	140	88	138	1995	12,3	9,7				12,70	524
328	PNNL-28-2	3	90	140	88	139	1997	10,6	10,4				12,96	532
329	PNNL-29-2	3	90	140	88	139	1996	10,8	9,5				13,26	545
330	PNNL-30-2	3	90	140	89	139	1997	9,8	10,2				14,50	589
331	PNNL-01-1	3	90	140	88	139	1000	10,9	10,9				7,20	589
332	PNNL-02-1	3	90	140	88	139	1000	11,0	9,2				6,16	505
333	PNNL-03-1	3	90	140	87	138	1000	10,7	10,5				6,60	550
334	PNNL-04-1	3	90	140	88	138	1000	8,9	9,5				6,08	501
335	PNNL-05-1	3	90	140	89	139	1000	11,2	10,9				6,92	565
336	PNNL-06-1	3	90	140	89	139	1000	9,9	9,7				6,38	519
337	PNNL-07-1	3	90	140	88	138	1000	9,9	12,6				7,72	636
338	PNNL-08-1	3	90	140	88	138	1000	10,1	11,9				7,60	629
339	PNNL-09-1	3	90	140	89	140	1000	9,6	8,4				5,56	450
340	PNNL-10-1	3	90	140	88	139	1000	10,5	9,6				6,32	519
341	PNNL-11-1	3	90	140	88	137	1000	10,1	11,9				6,80	564
342	PNNL-12-1	3	90	140	87	138	1000	9,6	9,4				6,44	536
343	PNNL-13-1	3	90	140	88	139	1000	10,8	9,8				6,72	555
344	PNNL-14-1	3	90	140	88	139	1000	10,1	10,1				6,82	560
345	PNNL-15-1	3	90	140	88	138	1000	9,8	9,6				6,14	506
346	PNNL-16-1	3	90	140	88	138	1000	10,6	12,6				7,20	593
347	PNNL-17-1	3	90	140	88	139	1000	10,4	9,6				6,52	538
348	PNNL-18-1	3	90	140	87	139	1000	9,1	10,8				6,58	546
349	PNNL-19-1	3	90	140	87	138	1000	9,8	10,9				6,94	578
350	PNNL-20-1	3	90	140	88	138	1000	11,7	14,6				8,26	687
351	PNNL-21-1	3	90	140	88	139	1000	11,2	9,5				5,34	438
352	PNNL-22-1	3	90	140	88	138	1000	11,3	11,5				6,42	532
353	PNNL-23-1	3	90	140	88	139	1000	11,9	9,8				6,48	535
354	PNNL-24-1	3	90	140	88	138	1000	10,3	10,5				6,36	529

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
355	PNNL-25-1	3	90	140	88	138	1000	11,2	11,1				6,48	539
356	PNNL-26-1	3	90	140	89	138	1000	11,1	10,1				6,50	532
357	PNNL-27-1	3	90	140	88	138	1000	10,4	9,3				6,36	524
358	PNNL-28-1	3	90	140	88	139	1000	10,1	8,5				6,60	542
359	PNNL-29-1	3	90	140	88	139	1000	11,2	9,4				6,68	548
360	PNNL-30-1	3	90	140	89	139	1000	9,8	10,1				7,46	605
361	PNPN-01-4	4	90	140	87	138	3989	8,1	10,7	67	324	0,36	26,86	563
362	PNPN-02-4	4	90	140	88	139	3988	8,5	11,9	67	324	0,21	27,58	567
363	PNPN-03-4	4	90	140	89	138	3998	8,2	9,8	64	321	0,33	24,84	511
364	PNPN-04-4	4	90	140	88	138	4020	8,4	12,3	67	324	0,35	28,94	596
365	PNPN-05-4	4	90	140	89	138	3993	9,4	8,9	64	321	0,29	23,32	480
366	PNPN-06-4	4	90	140	88	138	4002	10,8	12,1	64	322	0,12	28,00	576
367	PNPN-07-4	4	90	140	86	137	3997	11,0	11,6	67	324	0,26	27,18	579
368	PNPN-08-4	4	90	140	88	138	3995	8,5	10,2	67	324	0,24	28,66	596
369	PNPN-09-4	4	90	140	89	139	4004	8,8	11,7	67	324	0,05	33,46	682
370	PNPN-10-4	4	90	140	88	138	3999	7,2	7,2	67	324	0,33	26,40	547
371	PNPN-11-4	4	90	140	88	139	4005	7,3	11,2	67	324	0,17	35,18	718
372	PNPN-12-4	4	90	140	86	137	3994	8,8	10,2	67	324	0,26	28,70	610
373	PNPN-13-4	4	90	140	87	138	3983	10,7	8,6	67	324	0,36	26,46	555
374	PNPN-14-4	4	90	140	86	138	3993	8,5	8,8	67	324	0,11	25,72	543
375	PNPN-15-4	4	90	140	86	138	3993	10,6	11,1	67	324	0,35	30,52	644
376	PNPN-16-4	4	90	140	86	138	3989	10,2	8,9	67	324	0,48	25,52	544
377	PNPN-17-4	4	90	140	89	138	4002	9,1	9,2	67	324	0,22	23,12	473
378	PNPN-18-4	4	90	140	89	138	3997	9,0	9,1	67	324	0,51	25,62	525
379	PNPN-19-4	4	90	140	88	139	3988	9,3	11,3	67	324	0,20	27,88	574
380	PNPN-20-4	4	90	140	89	139	4000	11,3	11,3	67	324	0,22	28,50	579
381	PNPN-21-4	4	90	140	87	137	3997	11,8	11,4	67	324	0,43	28,14	591
382	PNPN-22-4	4	90	140	87	136	3991	8,2	9,6	67	324	0,38	25,00	529
383	PNPN-23-4	4	90	140	88	137	3994	11,0	11,3	67	321	0,43	27,78	580
384	PNPN-24-4	4	90	140	88	138	3998	9,1	8,2	67	324	0,27	23,44	483
385	PNPN-25-4	4	90	140	88	138	3995	11,4	11,2	67	324	0,41	30,84	642
386	PNPN-26-4	4	90	140	87	138	3992	9,9	10,5	67	324	0,23	27,44	573
387	PNPN-27-4	4	90	140	88	139	4007	9,8	11,0	67	324	0,14	29,64	607
388	PNPN-28-4	4	90	140	88	138	3995	10,1	10,6	67	324	0,37	29,14	601
389	PNPN-29-4	4	90	140	87	138	3994	8,6	10,5	67	324	0,14	25,98	547
390	PNPN-30-4	4	90	140	85	138	3989	10,1	11,4	67	324	0,06	27,24	588
391	PNPN-01-3	4	90	140	87	138	2991	8,7	11,0	67	324	0,14	20,18	564
392	PNPN-02-3	4	90	140	88	139	2990	9,7	11,4	64	324	0,21	20,84	572
393	PNPN-03-3	4	90	140	89	138	2995	8,6	9,9	64	321	0,33	18,66	512
394	PNPN-04-3	4	90	140	88	138	2990	11,2	11,9	67	324	0,35	21,42	593
395	PNPN-05-3	4	90	140	89	138	2996	9,3	8,4	64	321	0,29	17,76	487
396	PNPN-06-3	4	90	140	88	138	2994	10,7	12,1	64	322	0,12	20,98	577
397	PNPN-07-3	4	90	140	86	137	2987	11,1	12,2	67	324	0,26	20,98	598
398	PNPN-08-3	4	90	140	88	138	2994	9,6	11,3	67	324	0,24	21,66	601
399	PNPN-09-3	4	90	140	89	139	2996	8,6	10,1	67	324	0,05	24,52	668
400	PNPN-10-3	4	90	140	88	138	2993	7,4	8,3	67	324	0,33	19,28	533
401	PNPN-11-3	4	90	140	88	139	2995	10,3	13,7	67	324	0,17	26,08	712
402	PNPN-12-3	4	90	140	86	137	2991	10,7	11,4	67	324	0,26	21,18	601
403	PNPN-13-3	4	90	140	87	138	2995	10,1	8,9	67	324	0,32	20,00	558
404	PNPN-14-3	4	90	140	86	138	2991	9,6	10,4	67	324	0,11	19,26	543
405	PNPN-15-3	4	90	140	86	138	2992	9,8	11,1	67	324	0,21	23,04	649
406	PNPN-16-3	4	90	140	86	138	2993	9,5	8,1	67	324	0,48	19,12	543
407	PNPN-17-3	4	90	140	89	138	2989	9,7	8,5	64	321	0,22	17,44	478
408	PNPN-18-3	4	90	140	89	138	2990	10,2	8,9	67	324	0,51	19,12	524
409	PNPN-19-3	4	90	140	88	139	2991	9,7	9,8	67	324	0,20	21,48	589
410	PNPN-20-3	4	90	140	89	139	2995	12,3	10,1	67	324	0,22	21,34	579
411	PNPN-21-3	4	90	140	87	137	2993	11,7	11,0	67	324	0,43	20,38	571
412	PNPN-22-3	4	90	140	87	136	2994	7,3	8,7	67	324	0,39	18,90	534
413	PNPN-23-3	4	90	140	88	137	2996	11,4	11,1	64	321	0,43	20,86	581
414	PNPN-24-3	4	90	140	88	138	2991	9,6	7,9	64	322	0,24	17,34	477
415	PNPN-25-3	4	90	140	88	138	2996	11,5	11,1	67	324	0,41	23,52	653
416	PNPN-26-3	4	90	140	87	138	2987	10,2	10,0	67	324	0,17	20,02	558
417	PNPN-27-3	4	90	140	88	139	2990	9,6	9,7	67	324	0,14	21,38	587
418	PNPN-28-3	4	90	140	88	138	2992	9,6	10,3	67	321	0,23	21,70	597
419	PNPN-29-3	4	90	140	87	138	2994	7,9	10,5	67	324	0,14	18,88	530
420	PNPN-30-3	4	90	140	85	138	2988	8,9	11,2	67	324	0,00	20,40	588
421	PNPN-01-2	4	90	140	87	138	1987	8,5	10,4				13,16	554
422	PNPN-02-2	4	90	140	88	139	1993	9,5	11,5				13,72	565
423	PNPN-03-2	4	90	140	89	138	1988	7,8	9,6				12,42	513
424	PNPN-04-2	4	90	140	88	138	1991	12,2	11,3				14,02	583
425	PNPN-05-2	4	90	140	89	138	1996	9,3	8,4				12,08	497
426	PNPN-06-2	4	90	140	88	138	1993	11,6	12,0				14,10	583

N	Probeta	E	CantoN	CaraN	Canto	Cara	Long	CHX	CHC	CV1	CV2	CKDR	Masa	Deng
427	PNPN-07-2	4	90	140	86	137	1990	9,9	11,8				13,64	584
428	PNPN-08-2	4	90	140	88	138	1994	11,1	11,4				14,58	608
429	PNPN-09-2	4	90	140	89	139	1994	8,7	10,3				16,32	668
430	PNPN-10-2	4	90	140	88	138	1996	7,4	8,1				12,76	529
431	PNPN-11-2	4	90	140	88	139	1989	10,7	12,2				17,64	725
432	PNPN-12-2	4	90	140	86	137	1988	10,6	11,8				15,26	652
433	PNPN-13-2	4	90	140	87	138	1988	9,4	8,7				14,60	614
434	PNPN-14-2	4	90	140	86	138	1993	10,1	10,7				12,86	544
435	PNPN-15-2	4	90	140	86	138	1994	11,2	10,5				15,18	641
436	PNPN-16-2	4	90	140	86	138	1993	10,4	8,7				12,76	545
437	PNPN-17-2	4	90	140	89	138	1991	8,9	9,2				11,70	481
438	PNPN-18-2	4	90	140	89	138	1993	9,4	9,2				12,94	532
439	PNPN-19-2	4	90	140	88	139	1993	9,2	10,5				14,00	576
440	PNPN-20-2	4	90	140	89	139	1995	10,9	10,6				14,02	571
441	PNPN-21-2	4	90	140	87	137	1993	11,1	11,4				14,06	592
442	PNPN-22-2	4	90	140	87	136	1990	8,3	9,4				12,30	522
443	PNPN-23-2	4	90	140	88	137	1995	11,2	11,1				13,78	576
444	PNPN-24-2	4	90	140	88	138	1993	9,1	8,7				11,34	469
445	PNPN-25-2	4	90	140	88	138	1992	10,5	11,2				16,12	673
446	PNPN-26-2	4	90	140	87	138	1989	9,1	9,9				13,34	559
447	PNPN-27-2	4	90	140	88	139	1994	9,5	9,9				14,52	597
448	PNPN-28-2	4	90	140	88	138	1991	9,6	10,4				14,28	591
449	PNPN-29-2	4	90	140	87	138	1991	8,1	10,2				12,68	535
450	PNPN-30-2	4	90	140	85	138	1987	8,4	11,0				13,60	589
451	PNPN-01-1	4	90	140	87	138	999	8,5	10,4				6,62	554
452	PNPN-02-1	4	90	140	88	139	999	9,5	11,5				6,74	554
453	PNPN-03-1	4	90	140	89	138	1000	7,8	9,6				6,44	529
454	PNPN-04-1	4	90	140	88	138	1000	12,2	11,3				7,24	600
455	PNPN-05-1	4	90	140	89	138	1000	9,3	8,4				5,98	491
456	PNPN-06-1	4	90	140	88	138	1000	11,6	12,0				6,92	570
457	PNPN-07-1	4	90	140	86	137	1000	9,9	11,8				6,98	595
458	PNPN-08-1	4	90	140	88	138	1000	11,1	11,4				7,24	602
459	PNPN-09-1	4	90	140	89	139	1001	8,7	10,3				8,58	699
460	PNPN-10-1	4	90	140	88	138	1000	7,4	8,1				6,52	540
461	PNPN-11-1	4	90	140	88	139	1000	10,7	12,2				9,14	747
462	PNPN-12-1	4	90	140	86	137	1000	10,6	11,8				6,90	586
463	PNPN-13-1	4	90	140	87	138	1001	9,4	8,7				6,68	558
464	PNPN-14-1	4	90	140	86	138	1001	10,1	10,7				6,30	530
465	PNPN-15-1	4	90	140	86	138	1000	11,2	10,5				7,70	649
466	PNPN-16-1	4	90	140	86	138	1000	10,4	8,7				6,30	536
467	PNPN-17-1	4	90	140	89	138	1001	8,9	9,2				5,96	488
468	PNPN-18-1	4	90	140	89	138	999	9,4	9,2				6,26	513
469	PNPN-19-1	4	90	140	88	139	1003	9,2	10,5				6,98	571
470	PNPN-20-1	4	90	140	89	139	1001	10,9	10,6				7,10	577
471	PNPN-21-1	4	90	140	87	137	1002	11,1	11,4				7,00	586
472	PNPN-22-1	4	90	140	87	136	1000	8,3	9,4				6,32	534
473	PNPN-23-1	4	90	140	88	137	1002	11,2	11,1				6,86	571
474	PNPN-24-1	4	90	140	88	138	1001	9,1	8,7				5,56	457
475	PNPN-25-1	4	90	140	88	138	995	10,5	11,2				7,92	662
476	PNPN-26-1	4	90	140	87	138	1002	9,1	9,9				6,68	555
477	PNPN-27-1	4	90	140	88	139	1003	9,5	9,9				7,34	600
478	PNPN-28-1	4	90	140	88	138	1002	9,6	10,4				7,10	583
479	PNPN-29-1	4	90	140	87	138	1002	8,1	10,2				6,44	540
480	PNPN-30-1	4	90	140	85	138	1002	8,4	11,0				6,76	581

B.4.2 Mediciones testa-testa con equipos no destructivos

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
1	PNRD-01-4	1	3993	797	4878	731	5327			777	5029	569	4544	576	4600
2	PNRD-02-4	1	3997	741	5241	678	5738			726	5379	603	4820	605	4836
3	PNRD-03-4	1	3996	721	5385	661	5885			712	5481	653	5219	659	5267
4	PNRD-04-4	1	4001	737	5274	673	5786			720	5425	607	4857	615	4921
5	PNRD-05-4	1	3997	820	4752	757	5157			789	4959	537	4293	542	4333
6	PNRD-06-4	1	3996	804	4843	740	5268			776	5036	577	4611	581	4643
7	PNRD-07-4	1	3997	751	5177	694	5613			731	5340	593	4740	600	4796
8	PNRD-08-4	1	3997	861	4531	797	4901			825	4747	512	4093	517	4133
9	PNRD-09-4	1	3997	760	5117	687	5665			730	5350	602	4812	610	4876
10	PNRD-10-4	1	3998	697	5564	639	6080			676	5769	678	5421	683	5461
11	PNRD-11-4	1	3994	707	5482	647	6001			689	5657	652	5208	659	5264
12	PNRD-12-4	1	3995	733	5298	665	5845			704	5537	643	5138	654	5225
13	PNRD-13-4	1	4002	798	4883	727	5368			770	5085	598	4786	576	4610
14	PNRD-14-4	1	3999	733	5299	670	5808			710	5496	616	4927	620	4959
15	PNRD-15-4	1	3995	743	5228	681	5715			725	5380	615	4914	620	4954
16	PNRD-16-4	1	3998	697	5567	651	5976			682	5715	637	5093	644	5149
17	PNRD-17-4	1	4001	777	5010	712	5481			745	5250	574	4593	581	4649
18	PNRD-18-4	1	3990	741	5236	683	5692			715	5450	592	4724	595	4748
19	PNRD-19-4	1	3995	831	4686	764	5108			809	4836	533	4259	537	4291
20	PNRD-20-4	1	3999	718	5407	658	5915			695	5616	609	4871	615	4919
21	PNRD-21-4	1	3998	793	4911	729	5352			758	5155	568	4542	576	4606
22	PNRD-22-4	1	3997	708	5482	646	6015			678	5751	646	5164	649	5188
23	PNRD-23-4	1	3994	731	5310	670	5805			703	5547	636	5080	644	5144
24	PNRD-24-4	1	3997	740	5252	670	5805			706	5528	644	5148	649	5188
25	PNRD-25-4	1	3999	810	4809	727	5364			758	5160	549	4391	561	4487
26	PNRD-26-4	1	3996	798	4876	735	5303			778	5026	550	4396	556	4444
27	PNRD-27-4	1	3996	889	4388	810	4823			856	4574	499	3988	508	4060
28	PNRD-28-4	1	3999	839	4649	756	5163			801	4885	549	4391	556	4447
29	PNRD-29-4	1	3999	817	4769	755	5173			788	4967	539	4311	547	4375
30	PNRD-30-4	1	3999	750	5186	700	5569			725	5385	565	4519	571	4567
31	PNRD-01-3	1	2990	585	4929	534	5411			573	5067	759	4536	766	4581
32	PNRD-02-3	1	2991	541	5321	494	5841			533	5433	819	4900	820	4905
33	PNRD-03-3	1	2994	533	5403	489	5899			526	5513	880	5269	888	5317
34	PNRD-04-3	1	2992	541	5323	495	5832			531	5454	806	4821	815	4877
35	PNRD-05-3	1	2993	616	4694	547	5297			586	4959	720	4309	727	4352
36	PNRD-06-3	1	2994	584	4948	528	5478			564	5153	784	4692	791	4737
37	PNRD-07-3	1	2991	554	5196	506	5702			542	5350	798	4774	805	4816
38	PNRD-08-3	1	2992	620	4667	578	5020			600	4849	693	4146	698	4177
39	PNRD-09-3	1	2995	551	5235	505	5726			542	5357	811	4855	815	4882
40	PNRD-10-3	1	2997	514	5601	474	6091			504	5746	912	5467	917	5496
41	PNRD-11-3	1	2995	521	5520	479	6020			513	5650	870	5211	874	5235
42	PNRD-12-3	1	2994	535	5384	491	5876			523	5539	874	5232	878	5257
43	PNRD-13-3	1	2994	587	4919	537	5394			576	5048	761	4559	766	4587
44	PNRD-14-3	1	2993	543	5301	496	5823			531	5456	833	4988	834	4992
45	PNRD-15-3	1	2995	550	5240	505	5726			536	5415	830	4973	834	4996
46	PNRD-16-3	1	2990	525	5470	482	5974			515	5620	866	5176	874	5227
47	PNRD-17-3	1	2996	568	5086	520	5568			559	5201	763	4572	766	4590
48	PNRD-18-3	1	2994	546	5279	498	5802			535	5423	783	4689	791	4737
49	PNRD-19-3	1	2991	612	4724	558	5188			594	4891	714	4270	722	4319
50	PNRD-20-3	1	2994	524	5493	477	6048			510	5675	819	4904	825	4940
51	PNRD-21-3	1	2992	574	5024	524	5520			560	5185	776	4641	781	4674
52	PNRD-22-3	1	2994	526	5472	482	5982			519	5585	873	5228	878	5257
53	PNRD-23-3	1	2996	541	5325	496	5823			533	5447	854	5117	864	5177
54	PNRD-24-3	1	2997	537	5370	492	5876			529	5488	861	5158	864	5179
55	PNRD-25-3	1	2996	573	5043	519	5574			562	5174	728	4363	732	4386
56	PNRD-26-3	1	2994	595	4860	536	5399			583	4990	733	4392	742	4443
57	PNRD-27-3	1	2995	656	4423	598	4858			646	4514	658	3941	664	3977
58	PNRD-28-3	1	2990	613	4715	555	5213			601	4838	739	4422	747	4467
59	PNRD-29-3	1	2994	605	4778	547	5294			587	4952	716	4287	722	4323
60	PNRD-30-3	1	2991	557	5169	500	5774			544	5331	763	4562	766	4582
61	PNRD-01-2	1	1985	382	4924	348	5423			371	5115	1138	4518	1142	4534
62	PNRD-02-2	1	1986	364	5157	333	5649			353	5367	1210	4806	1215	4826
63	PNRD-03-2	1	1978	342	5440	316	5921			339	5555	1344	5317	1347	5329
64	PNRD-04-2	1	1985	357	5243	328	5728			352	5371	1193	4736	1200	4764
65	PNRD-05-2	1	1985	387	4864	353	5343			382	4968	1106	4391	1113	4419
66	PNRD-06-2	1	1988	377	4994	347	5446			366	5183	1190	4731	1196	4755

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
67	PNRD-07-2	1	1984	362	5179	332	5668			352	5376	1197	4750	1200	4762
68	PNRD-08-2	1	1974	395	4738	362	5187			386	4898	1065	4205	1074	4240
69	PNRD-09-2	1	1980	354	5272	327	5738			350	5387	1244	4926	1249	4946
70	PNRD-10-2	1	1979	336	5534	311	6014			327	5744	1382	5470	1386	5486
71	PNRD-11-2	1	1984	342	5457	316	5931			336	5611	1314	5214	1318	5230
72	PNRD-12-2	1	1983	347	5380	321	5840			342	5515	1292	5124	1293	5128
73	PNRD-13-2	1	1980	376	4980	346	5432			369	5122	1155	4574	1161	4598
74	PNRD-14-2	1	1984	355	5275	326	5758			347	5450	1264	5016	1269	5035
75	PNRD-15-2	1	1984	358	5233	330	5692			350	5398	1263	5012	1269	5035
76	PNRD-16-2	1	1978	342	5448	313	5975			329	5716	1308	5174	1313	5194
77	PNRD-17-2	1	1981	375	4995	341	5517			364	5192	1133	4489	1142	4525
78	PNRD-18-2	1	1981	360	5191	327	5733			348	5427	1188	4707	1191	4719
79	PNRD-19-2	1	1980	399	4708	365	5169			389	4876	1089	4312	1098	4348
80	PNRD-20-2	1	1980	346	5394	314	5954			334	5632	1223	4843	1230	4871
81	PNRD-21-2	1	1981	366	5111	335	5611			354	5332	1184	4691	1191	4719
82	PNRD-22-2	1	1983	343	5446	317	5910			331	5697	1348	5346	1357	5382
83	PNRD-23-2	1	1976	352	5289	325	5752			340	5526	1281	5063	1288	5090
84	PNRD-24-2	1	1987	349	5369	321	5852			339	5573	1293	5138	1298	5158
85	PNRD-25-2	1	1981	370	5059	339	5541			352	5368	1102	4366	1108	4390
86	PNRD-26-2	1	1983	382	4919	349	5403			377	5032	1107	4390	1113	4414
87	PNRD-27-2	1	1982	427	4418	389	4863			409	4646	982	3891	986	3909
88	PNRD-28-2	1	1978	390	4806	358	5260			380	4975	1127	4458	1132	4478
89	PNRD-29-2	1	1987	389	4839	357	5291			380	5004	1093	4344	1098	4363
90	PNRD-30-2	1	1980	359	5209	330	5681			351	5380	1194	4728	1210	4792
91	PNRD-01-1	1	998	187	4796	172	5252			183	4989	2262	4515		
92	PNRD-02-1	1	998	172	5155	158	5669			172	5279	2375	4741		
93	PNRD-03-1	1	999	165	5354	151	5892			163	5548	2712	5419		
94	PNRD-04-1	1	999	177	5043	162	5549			173	5242	2332	4659		
95	PNRD-05-1	1	1000	188	4771	172	5262			186	4913	2146	4292		
96	PNRD-06-1	1	999	186	4824	169	5327			183	4981	2362	4719		
97	PNRD-07-1	1	989	177	4980	163	5448			176	5110	2376	4700		
98	PNRD-08-1	1	994	195	4600	177	5083			194	4710	2175	4324		
99	PNRD-09-1	1	995	168	5262	155	5734			170	5319	2533	5041		
100	PNRD-10-1	1	993	162	5423	150	5909			160	5592	2813	5587		
101	PNRD-11-1	1	992	166	5288	153	5800			166	5419	2633	5224		
102	PNRD-12-1	1	994	168	5256	154	5778			167	5386	2599	5167		
103	PNRD-13-1	1	993	184	4830	170	5281			181	5014	2269	4506		
104	PNRD-14-1	1	993	175	5051	162	5500			171	5280	2527	5019		
105	PNRD-15-1	1	993	172	5129	160	5577			164	5484	2526	5017		
106	PNRD-16-1	1	1000	164	5388	152	5881			158	5712	2534	5068		
107	PNRD-17-1	1	994	178	4992	164	5460			172	5258	2247	4467		
108	PNRD-18-1	1	1000	176	5061	163	5508			168	5389	2326	4652		
109	PNRD-19-1	1	1000	191	4704	178	5088			188	4865	2118	4236		
110	PNRD-20-1	1	1000	169	5247	156	5729			161	5600	2411	4822		
111	PNRD-21-1	1	1000	177	5048	164	5493			168	5404	2411	4822		
112	PNRD-22-1	1	1000	166	5330	155	5779			160	5648	2655	5310		
113	PNRD-23-1	1	1000	172	5165	161	5585			168	5404	2499	4998		
114	PNRD-24-1	1	1000	169	5260	158	5681			164	5523	2569	5138		
115	PNRD-25-1	1	1000	175	5086	163	5508			171	5303	2291	4582		
116	PNRD-26-1	1	1000	187	4794	173	5235			180	5075	2225	4450		
117	PNRD-27-1	1	1000	207	4374	191	4772			196	4694	1873	3746		
118	PNRD-28-1	1	1000	186	4817	170	5304			182	5024	2261	4522		
119	PNRD-29-1	1	1000	191	4704	176	5140			184	4974	2204	4408		
120	PNRD-30-1	1	1000	177	5048	164	5478			174	5220	2427	4854		
121	PSY-01-4	2	4000	757	5180	694	5627	746	5283	758	5174	606	4848	620	4960
122	PSY-02-4	2	4001	763	5138	699	5589	753	5236	764	5139	584	4673	600	4801
123	PSY-03-4	2	4000	732	5353	670	5824	722	5456	736	5326	600	4800	615	4920
124	PSY-04-4	2	4001	726	5394	666	5860	718	5487	730	5374	617	4937	630	5041
125	PSY-05-4	2	4001	729	5376	671	5817	722	5457	737	5320	629	5033	644	5153
126	PSY-06-4	2	3999	745	5260	691	5650	724	5439	742	5286	602	4815	615	4919
127	PSY-07-4	2	4000	729	5371	669	5833	722	5456	735	5337	624	4992	644	5152
128	PSY-08-4	2	3999	736	5323	675	5780	729	5403	739	5307	626	5007	639	5111
129	PSY-09-4	2	4000	732	5350	678	5757	715	5508	729	5380	604	4832	620	4960
130	PSY-10-4	2	4000	716	5470	658	5932	712	5531	720	5446	637	5096	649	5192
131	PSY-11-4	2	4001	720	5438	656	5951	704	5598	715	5481	644	5153	654	5233
132	PSY-12-4	2	3999	916	4294	841	4662	907	4358	903	4356	495	3959	508	4063
133	PSY-13-4	2	4001	697	5614	638	6115	687	5730	694	5647	674	5393	688	5505
134	PSY-14-4	2	4001	781	5025	716	5464	771	5118	782	5023	567	4537	581	4649
135	PSY-15-4	2	3997	832	4715	770	5080	838	4707	818	4798	524	4189	537	4293
136	PSY-16-4	2	3996	744	5260	682	5722	735	5359	738	5306	603	4819	615	4915
137	PSY-17-4	2	4000	792	4955	731	5353	777	5078	781	5025	558	4464	571	4568
138	PSY-18-4	2	4000	749	5234	692	5643	749	5262	737	5322	598	4784	610	4880

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
139	PNSY-19-4	2	4002	761	5153	713	5487	759	5196	748	5245	554	4434	571	4570
140	PNSY-20-4	2	4001	799	4911	733	5340	794	4969	782	5023	558	4465	576	4609
141	PNSY-21-4	2	4001	782	5019	719	5441	774	5096	775	5064	570	4561	581	4649
142	PNSY-22-4	2	4001	740	5294	676	5775	727	5420	738	5313	627	5017	639	5113
143	PNSY-23-4	2	4001	769	5102	711	5497	755	5222	766	5123	563	4505	581	4649
144	PNSY-24-4	2	4000	747	5248	688	5675	742	5311	755	5195	613	4904	625	5000
145	PNSY-25-4	2	4001	703	5571	647	6027	699	5634	709	5526	663	5305	678	5425
146	PNSY-26-4	2	4001	864	4551	797	4919	860	4593	868	4531	517	4137	532	4257
147	PNSY-27-4	2	4000	725	5400	664	5880	717	5497	735	5333	626	5008	639	5112
148	PNSY-28-4	2	4001	723	5420	664	5877	715	5513	724	5417	646	5169	659	5273
149	PNSY-29-4	2	4000	818	4798	753	5196	817	4830	806	4872	556	4448	571	4568
150	PNSY-30-4	2	4001	815	4819	757	5171	818	4828	813	4835	543	4345	556	4449
151	PNSY-01-3	2	2994	564	5169	513	5651	556	5279	565	5166	819	4904	825	4940
152	PNSY-02-3	2	2992	569	5121	519	5589	562	5220	570	5114	792	4739	800	4787
153	PNSY-03-3	2	2995	549	5304	501	5784	544	5399	552	5286	809	4846	820	4912
154	PNSY-04-3	2	2992	548	5308	498	5818	540	5433	546	5333	836	5003	844	5050
155	PNSY-05-3	2	2993	545	5343	498	5819	540	5430	548	5321	850	5088	859	5142
156	PNSY-06-3	2	2992	546	5327	498	5818	541	5418	551	5286	821	4913	830	4967
157	PNSY-07-3	2	2993	538	5405	494	5865	537	5460	546	5335	849	5082	854	5112
158	PNSY-08-3	2	2991	540	5387	496	5833	539	5441	547	5322	847	5067	854	5109
159	PNSY-09-3	2	2994	534	5447	489	5925	527	5568	541	5385	820	4910	830	4970
160	PNSY-10-3	2	2990	531	5474	488	5929	530	5530	537	5421	858	5131	864	5167
161	PNSY-11-3	2	2991	528	5506	483	5990	523	5604	534	5453	865	5174	869	5198
162	PNSY-12-3	2	2992	682	4291	617	4724	667	4415	668	4384	658	3937	664	3973
163	PNSY-13-3	2	2993	516	5634	471	6142	511	5737	516	5641	901	5393	913	5465
164	PNSY-14-3	2	2993	578	5045	527	5504	571	5141	581	5021	776	4645	781	4675
165	PNSY-15-3	2	2992	612	4767	559	5201	604	4863	591	4937	720	4308	727	4350
166	PNSY-16-3	2	2986	552	5260	502	5755	543	5393	554	5247	809	4831	815	4867
167	PNSY-17-3	2	2992	582	5006	523	5543	568	5166	578	5045	771	4614	776	4644
168	PNSY-18-3	2	2993	559	5208	497	5831	536	5475	547	5330	814	4873	820	4909
169	PNSY-19-3	2	2992	569	5117	504	5750	539	5443	545	5342	753	4506	761	4554
170	PNSY-20-3	2	2990	588	4953	528	5493	570	5145	567	5142	759	4539	766	4581
171	PNSY-21-3	2	2988	579	5024	525	5515	569	5154	578	5038	777	4643	781	4667
172	PNSY-22-3	2	2995	541	5385	495	5858	537	5463	543	5367	848	5080	854	5115
173	PNSY-23-3	2	2989	569	5116	514	5636	557	5260	563	5175	762	4555	766	4579
174	PNSY-24-3	2	2994	545	5340	497	5827	537	5462	546	5341	834	4994	839	5024
175	PNSY-25-3	2	2993	522	5571	479	6037	521	5624	527	5527	898	5375	903	5405
176	PNSY-26-3	2	2992	639	4570	585	4976	631	4659	635	4603	714	4273	722	4320
177	PNSY-27-3	2	2994	537	5417	492	5884	534	5492	537	5424	853	5108	859	5144
178	PNSY-28-3	2	2995	537	5419	492	5886	531	5529	541	5386	868	5199	874	5235
179	PNSY-29-3	2	2994	582	5009	531	5465	568	5174	577	5057	771	4617	776	4647
180	PNSY-30-3	2	2997	598	4883	546	5330	589	4993	582	5020	740	4436	747	4478
181	PNSY-01-2	2	1994	371	5156	341	5573	371	5224	370	5185	1224	4881	1230	4905
182	PNSY-02-2	2	1994	375	5110	345	5511	374	5177	375	5112	1187	4734	1191	4750
183	PNSY-03-2	2	1992	365	5232	335	5662	364	5316	366	5235	1210	4821	1215	4841
184	PNSY-04-2	2	1993	357	5347	322	5891	356	5435	357	5364	1258	5014	1264	5038
185	PNSY-05-2	2	1992	359	5316	329	5769	358	5403	361	5304	1287	5127	1293	5151
186	PNSY-06-2	2	1989	363	5252	330	5735	360	5366	360	5303	1263	5024	1269	5048
187	PNSY-07-2	2	1994	355	5379	326	5825	354	5460	356	5381	1282	5113	1288	5137
188	PNSY-08-2	2	1992	358	5337	329	5769	358	5403	360	5311	1275	5080	1283	5111
189	PNSY-09-2	2	1995	358	5346	323	5871	352	5493	351	5450	1245	4968	1249	4984
190	PNSY-10-2	2	1991	350	5444	321	5903	350	5520	348	5492	1295	5157	1303	5189
191	PNSY-11-2	2	1994	348	5490	320	5929	348	5551	351	5447	1296	5168	1303	5196
192	PNSY-12-2	2	1993	448	4303	404	4742	435	4467	437	4414	987	3934	996	3970
193	PNSY-13-2	2	1994	342	5582	310	6101	340	5686	340	5616	1368	5456	1371	5468
194	PNSY-14-2	2	1993	379	5056	348	5463	380	5101	376	5097	1182	4711	1191	4747
195	PNSY-15-2	2	1994	397	4837	359	5313	391	4964	394	4875	1102	4395	1108	4419
196	PNSY-16-2	2	1993	362	5277	334	5681	364	5319	368	5210	1210	4823	1215	4843
197	PNSY-17-2	2	1991	375	5096	344	5518	376	5142	380	5040	1177	4687	1186	4723
198	PNSY-18-2	2	1993	362	5284	330	5747	358	5405	360	5321	1231	4907	1240	4943
199	PNSY-19-2	2	1995	363	5268	329	5777	356	5440	355	5399	1142	4557	1147	4577
200	PNSY-20-2	2	1990	379	5048	351	5418	379	5106	376	5096	1145	4557	1152	4585
201	PNSY-21-2	2	1994	379	5058	346	5496	377	5143	379	5060	1171	4670	1176	4690
202	PNSY-22-2	2	1994	356	5372	327	5800	358	5408	356	5374	1278	5097	1283	5117
203	PNSY-23-2	2	1994	373	5130	341	5573	371	5217	370	5185	1179	4702	1186	4730
204	PNSY-24-2	2	1990	353	5397	325	5822	353	5472	353	5407	1254	4991	1259	5011
205	PNSY-25-2	2	1993	342	5572	316	5988	344	5611	346	5528	1352	5389	1357	5409
206	PNSY-26-2	2	1994	412	4662	376	5076	407	4774	407	4725	1103	4399	1113	4439
207	PNSY-27-2	2	1993	356	5369	324	5848	356	5428	358	5343	1282	5110	1283	5114
208	PNSY-28-2	2	1990	352	5412	322	5882	352	5487	355	5378	1312	5222	1318	5246
209	PNSY-29-2	2	1992	364	5253	329	5760	358	5403	362	5290	1192	4749	1200	4781
210	PNSY-30-2	2	1992	388	4934	353	5387	379	5112	385	4986	1127	4490	1132	4510

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
211	PNSY-01-1	2	1000	182	5071	167	5455	185	5097	179	5167	2492	4984		
212	PNSY-02-1	2	1000	184	5007	168	5411	187	5058	182	5088	2394	4788		
213	PNSY-03-1	2	1000	184	5020	167	5440	185	5110	182	5075	2412	4824		
214	PNSY-04-1	2	1000	177	5203	161	5640	178	5299	172	5361	2517	5034		
215	PNSY-05-1	2	1000	172	5327	158	5720	178	5285	178	5180	2603	5206		
216	PNSY-06-1	2	1000	177	5189	163	5577	180	5244	178	5180	2529	5058		
217	PNSY-07-1	2	1000	172	5327	158	5720	176	5356	168	5478	2498	4996		
218	PNSY-08-1	2	1000	173	5313	158	5737	175	5371	169	5448	2547	5094		
219	PNSY-09-1	2	1000	173	5313	158	5737	175	5385	176	5248	2499	4998		
220	PNSY-10-1	2	1000	169	5429	155	5820	173	5444	174	5304	2590	5180		
221	PNSY-11-1	2	1000	170	5399	155	5820	172	5473	172	5361	2615	5230		
222	PNSY-12-1	2	1000	224	4180	198	4655	215	4431	216	4328	1968	3936		
223	PNSY-13-1	2	1000	166	5518	152	5924	169	5565	164	5585	2738	5476		
224	PNSY-14-1	2	1000	186	4958	170	5353	189	5008	188	4937	2399	4798		
225	PNSY-15-1	2	1000	182	5058	166	5470	184	5123	189	4913	2276	4552		
226	PNSY-16-1	2	1000	177	5189	163	5577	181	5216	181	5114	2461	4922		
227	PNSY-17-1	2	1000	183	5045	168	5426	186	5071	188	4925	2314	4628		
228	PNSY-18-1	2	1000	180	5110	165	5500	184	5123	185	5012	2442	4884		
229	PNSY-19-1	2	1000	183	5032	166	5470	183	5149	176	5235	2276	4552		
230	PNSY-20-1	2	1000	185	4982	169	5396	185	5110	187	4962	2282	4564		
231	PNSY-21-1	2	1000	184	5007	169	5396	185	5097	182	5088	2355	4710		
232	PNSY-22-1	2	1000	174	5285	161	5640	176	5342	173	5318	2559	5118		
233	PNSY-23-1	2	1000	184	5007	168	5411	186	5084	185	4999	2418	4836		
234	PNSY-24-1	2	1000	174	5271	161	5640	176	5342	174	5304	2529	5058		
235	PNSY-25-1	2	1000	170	5399	156	5803	173	5429	172	5361	2725	5450		
236	PNSY-26-1	2	1000	204	4562	186	4943	204	4658	202	4607	2258	4516		
237	PNSY-27-1	2	1000	174	5271	160	5672	177	5328	178	5194	2565	5130		
238	PNSY-28-1	2	1000	174	5285	159	5688	176	5356	176	5248	2580	5160		
239	PNSY-29-1	2	1000	181	5097	167	5455	184	5136	181	5114	2449	4898		
240	PNSY-30-1	2	1000	197	4712	177	5160	193	4897	193	4807	2234	4468		
241	PNNL-01-4	3	4038	798	4915	735	5346			779	5001	563	4547	566	4571
242	PNNL-02-4	3	4028	796	4915	722	5426			774	5020	582	4691	586	4721
243	PNNL-03-4	3	4020	784	4981	724	5401			757	5118	563	4527	571	4591
244	PNNL-04-4	3	4017	774	5037	699	5584			749	5164	590	4740	595	4780
245	PNNL-05-4	3	4018	826	4732	741	5278			786	4930	552	4436	556	4468
246	PNNL-06-4	3	4025	833	4699	749	5232			795	4885	551	4436	556	4476
247	PNNL-07-4	3	4034	759	5158	686	5711			738	5260	612	4938	615	4962
248	PNNL-08-4	3	4040	727	5386	655	5982			708	5486	643	5195	649	5244
249	PNNL-09-4	3	4030	936	4202	851	4625			887	4400	488	3933	493	3974
250	PNNL-10-4	3	4040	843	4665	764	5148			804	4853	541	4371	547	4420
251	PNNL-11-4	3	4036	784	4998	703	5580			750	5181	591	4771	600	4843
252	PNNL-12-4	3	4036	775	5054	701	5591			742	5235	612	4940	620	5005
253	PNNL-13-4	3	4030	757	5166	686	5702			738	5258	599	4828	605	4876
254	PNNL-14-4	3	4004	784	4958	717	5430			772	4999	584	4677	590	4725
255	PNNL-15-4	3	4026	816	4798	747	5247			793	4901	552	4445	556	4477
256	PNNL-16-4	3	4024	771	5064	701	5575			754	5140	590	4748	595	4789
257	PNNL-17-4	3	4021	808	4835	727	5380			775	5002	573	4608	576	4632
258	PNNL-18-4	3	4010	748	5201	685	5681			733	5266	612	4908	620	4972
259	PNNL-19-4	3	4027	830	4721	763	5138			818	4758	546	4397	551	4438
260	PNNL-20-4	3	4030	704	5543	643	6071			701	5521	641	5166	649	5231
261	PNNL-21-4	3	4006	830	4693	748	5211			799	4839	563	4511	571	4575
262	PNNL-22-4	3	4023	846	4626	768	5100			807	4813	532	4280	532	4280
263	PNNL-23-4	3	4035	921	4272	834	4720			867	4506	496	4003	503	4059
264	PNNL-24-4	3	4010	775	5025	709	5494			756	5112	590	4732	600	4812
265	PNNL-25-4	3	4010	795	4902	717	5435			770	5022	583	4676	590	4732
266	PNNL-26-4	3	4030	769	5085	702	5579			749	5184	595	4796	600	4836
267	PNNL-27-4	3	4014	801	4868	724	5389			764	5062	575	4616	581	4664
268	PNNL-28-4	3	4024	775	5042	703	5563			745	5199	598	4813	605	4869
269	PNNL-29-4	3	4030	748	5223	689	5681			736	5272	598	4820	605	4876
270	PNNL-30-4	3	4040	784	5003	705	5566			739	5264	592	4783	600	4848
271	PNNL-01-3	3	2996	584	4935	535	5395			572	4986	758	4542	761	4560
272	PNNL-02-3	3	2994	574	5014	524	5500			570	5003	794	4754	800	4790
273	PNNL-03-3	3	2995	583	4938	521	5533			552	5156	764	4576	771	4618
274	PNNL-04-3	3	2995	566	5080	518	5564			554	5142	780	4672	795	4762
275	PNNL-05-3	3	2993	592	4862	545	5290			563	5061	740	4430	742	4442
276	PNNL-06-3	3	2998	609	4739	550	5257			581	4919	740	4437	752	4509
277	PNNL-07-3	3	2995	548	5240	501	5739			538	5288	826	4948	830	4972
278	PNNL-08-3	3	2997	521	5508	477	6026			500	5672	873	5233	878	5263
279	PNNL-09-3	3	2994	679	4265	615	4709			639	4483	660	3952	664	3976
280	PNNL-10-3	3	2995	600	4807	551	5242			574	4967	735	4403	742	4445
281	PNNL-11-3	3	2998	570	5055	504	5712			536	5312	792	4749	795	4767
282	PNNL-12-3	3	2995	547	5254	499	5761			522	5436	830	4972	839	5026

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbvp	VbvpC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
283	PNNL-13-3	3	2996	556	5169	501	5741			528	5379	810	4854	815	4883
284	PNNL-14-3	3	2997	586	4917	524	5506			552	5159	777	4657	781	4681
285	PNNL-15-3	3	2995	602	4791	544	5302			581	4910	736	4409	742	4445
286	PNNL-16-3	3	2996	562	5121	509	5660			541	5261	810	4854	815	4883
287	PNNL-17-3	3	2996	593	4859	533	5410			563	5066	767	4596	776	4650
288	PNNL-18-3	3	2996	562	5121	501	5747			531	5351	825	4943	830	4973
289	PNNL-19-3	3	2995	621	4650	556	5192			580	4918	730	4373	737	4415
290	PNNL-20-3	3	2996	525	5466	479	6000			511	5549	860	5153	869	5207
291	PNNL-21-3	3	2998	613	4710	546	5289			586	4879	750	4497	756	4533
292	PNNL-22-3	3	3000	620	4665	542	5335			570	5013	709	4254	717	4302
293	PNNL-23-3	3	2997	673	4306	598	4843			625	4583	672	4028	678	4064
294	PNNL-24-3	3	2996	566	5082	509	5655			550	5180	797	4776	805	4824
295	PNNL-25-3	3	2995	572	5029	518	5558			548	5196	785	4702	791	4738
296	PNNL-26-3	3	2996	561	5125	509	5655			539	5280	795	4764	800	4794
297	PNNL-27-3	3	2993	576	4992	513	5607			553	5148	777	4651	786	4705
298	PNNL-28-3	3	2995	559	5141	506	5690			545	5223	811	4858	815	4882
299	PNNL-29-3	3	2995	561	5123	501	5739			541	5255	800	4792	805	4822
300	PNNL-30-3	3	2993	551	5209	498	5774			530	5360	802	4801	810	4849
301	PNNL-01-2	3	1996	383	4915	347	5434			353	5233	1153	4603	1157	4619
302	PNNL-02-2	3	1994	376	4997	344	5473			363	5094	1198	4778	1205	4806
303	PNNL-03-2	3	1996	370	5078	338	5570			354	5219	1141	4555	1147	4579
304	PNNL-04-2	3	1997	375	5017	342	5512			362	5108	1193	4765	1196	4777
305	PNNL-05-2	3	1998	388	4860	351	5373			374	4959	1121	4480	1132	4523
306	PNNL-06-2	3	1998	390	4831	352	5366			374	4959	1111	4440	1118	4468
307	PNNL-07-2	3	1998	357	5257	327	5752			347	5322	1240	4955	1244	4971
308	PNNL-08-2	3	1997	344	5433	315	5955			330	5564	1321	5276	1327	5300
309	PNNL-09-2	3	1996	430	4401	391	4847			414	4511	995	3972	1000	3992
310	PNNL-10-2	3	1992	390	4822	357	5272			376	4919	1109	4418	1113	4434
311	PNNL-11-2	3	1998	358	5243	326	5761			345	5343	1207	4823	1215	4855
312	PNNL-12-2	3	1996	358	5238	328	5730			345	5338	1258	5022	1259	5026
313	PNNL-13-2	3	1995	359	5222	328	5719			349	5279	1210	4828	1215	4848
314	PNNL-14-2	3	1996	372	5052	339	5555			354	5219	1183	4723	1186	4735
315	PNNL-15-2	3	1996	394	4780	359	5255			387	4799	1116	4455	1122	4479
316	PNNL-16-2	3	1996	360	5211	330	5689			349	5281	1214	4846	1215	4850
317	PNNL-17-2	3	1997	381	4936	346	5444			371	5000	1150	4593	1157	4621
318	PNNL-18-2	3	1995	361	5188	329	5711			342	5386	1245	4968	1249	4984
319	PNNL-19-2	3	1995	392	4801	357	5287			384	4837	1095	4369	1103	4401
320	PNNL-20-2	3	1995	341	5472	312	5994			340	5415	1296	5171	1298	5179
321	PNNL-21-2	3	1998	395	4773	360	5253			380	4892	1128	4507	1132	4523
322	PNNL-22-2	3	1998	381	4945	342	5507			371	4996	1083	4328	1088	4348
323	PNNL-23-2	3	1996	426	4440	380	4980			399	4664	1034	4128	1039	4148
324	PNNL-24-2	3	1995	369	5088	335	5607			359	5149	1180	4708	1186	4732
325	PNNL-25-2	3	1995	365	5134	334	5622			353	5230	1193	4760	1196	4772
326	PNNL-26-2	3	1996	362	5177	330	5697			352	5247	1194	4766	1200	4790
327	PNNL-27-2	3	1995	371	5063	338	5560			360	5129	1171	4672	1176	4692
328	PNNL-28-2	3	1997	363	5166	332	5660			354	5222	1218	4865	1225	4893
329	PNNL-29-2	3	1996	367	5117	336	5602			360	5139	1206	4814	1210	4830
330	PNNL-30-2	3	1997	358	5234	326	5766			354	5222	1176	4697	1181	4717
331	PNNL-01-1	3	1000	187	4760	170	5240			176	4880	2362	4724		
332	PNNL-02-1	3	1000	182	4876	167	5338			175	4904	2462	4924		
333	PNNL-03-1	3	1000	178	4973	163	5440			171	5014	2282	4564		
334	PNNL-04-1	3	1000	180	4924	164	5425			171	5002	2368	4736		
335	PNNL-05-1	3	1000	193	4628	174	5133			181	4775	2139	4278		
336	PNNL-06-1	3	1000	190	4682	172	5186			174	4928	2189	4378		
337	PNNL-07-1	3	1000	178	4961	160	5545			167	5104	2489	4978		
338	PNNL-08-1	3	1000	170	5179	154	5720			163	5210	2642	5284		
339	PNNL-09-1	3	1000	216	4183	195	4633			206	4266	1984	3968		
340	PNNL-10-1	3	1000	196	4565	178	5029			184	4707	2253	4506		
341	PNNL-11-1	3	1000	176	5011	160	5530			171	5014	2462	4924		
342	PNNL-12-1	3	1000	175	5036	160	5545			169	5065	2512	5024		
343	PNNL-13-1	3	1000	177	4998	164	5410			173	4952	2399	4798		
344	PNNL-14-1	3	1000	185	4806	169	5282			179	4809	2311	4622		
345	PNNL-15-1	3	1000	194	4596	177	5055			185	4685	2233	4466		
346	PNNL-16-1	3	1000	177	4998	160	5545			165	5170	2419	4838		
347	PNNL-17-1	3	1000	188	4727	171	5227			170	5040	2268	4536		
348	PNNL-18-1	3	1000	181	4888	165	5396			159	5335	2504	5008		
349	PNNL-19-1	3	1000	198	4523	176	5081			177	4856	2196	4392		
350	PNNL-20-1	3	1000	167	5261	152	5803			155	5452	2549	5098		
351	PNNL-21-1	3	1000	194	4596	177	5055			184	4696	2198	4396		
352	PNNL-22-1	3	1000	195	4586	178	5042			177	4856	2167	4334		
353	PNNL-23-1	3	1000	204	4394	184	4882			193	4506	2030	4060		
354	PNNL-24-1	3	1000	179	4937	163	5440			169	5065	2339	4678		

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
355	PNNL-25-1	3	1000	181	4888	163	5455			162	5238	2439	4878		
356	PNNL-26-1	3	1000	180	4912	162	5470			170	5027	2377	4754		
357	PNNL-27-1	3	1000	184	4829	168	5310			157	5378	2331	4662		
358	PNNL-28-1	3	1000	179	4949	163	5455			165	5170	2412	4824		
359	PNNL-29-1	3	1000	183	4853	167	5324			161	5279	2413	4826		
360	PNNL-30-1	3	1000	179	4937	161	5500			162	5251	2341	4682		
361	PNPN-01-4	4	3989	996	3877	923	4170			963	4016	438	3494	439	3502
362	PNPN-02-4	4	3988	904	4255	834	4597			892	4327	496	3956	508	4052
363	PNPN-03-4	4	3998	962	4019	891	4324			943	4110	462	3694	468	3742
364	PNPN-04-4	4	4020	882	4394	815	4735			858	4529	510	4100	512	4116
365	PNPN-05-4	4	3993	784	4889	719	5303			758	5069	583	4656	590	4712
366	PNPN-06-4	4	4002	809	4754	740	5170			795	4853	550	4402	551	4410
367	PNPN-07-4	4	3997	897	4296	827	4645			867	4455	486	3885	493	3941
368	PNPN-08-4	4	3995	780	4915	712	5355			749	5127	581	4642	586	4682
369	PNPN-09-4	4	4004	932	4150	861	4474			893	4340	487	3900	493	3948
370	PNPN-10-4	4	3999	1033	3750	954	4049			998	3891	427	3415	434	3471
371	PNPN-11-4	4	4005	983	3941	911	4240			947	4099	483	3869	488	3909
372	PNPN-12-4	4	3994	809	4742	742	5150			779	4936	538	4298	547	4369
373	PNPN-13-4	4	3983	1000	3857	923	4162			945	4084	439	3497	444	3537
374	PNPN-14-4	4	3993	813	4718	743	5139			795	4839	551	4400	556	4440
375	PNPN-15-4	4	3993	897	4294	826	4643			865	4463	496	3961	503	4017
376	PNPN-16-4	4	3989	982	3931	904	4255			955	4051	457	3646	464	3702
377	PNPN-17-4	4	4002	853	4515	773	4959			834	4634	538	4306	547	4378
378	PNPN-18-4	4	3997	1058	3664	979	3946			1008	3850	421	3365	425	3397
379	PNPN-19-4	4	3988	992	3891	909	4231			947	4081	462	3685	468	3733
380	PNPN-20-4	4	4000	802	4789	728	5249			783	4919	556	4448	566	4528
381	PNPN-21-4	4	3997	860	4477	801	4787			822	4690	511	4085	517	4133
382	PNPN-22-4	4	3991	1021	3785	942	4091			981	3947	434	3464	444	3544
383	PNPN-23-4	4	3994	921	4187	847	4536			876	4410	494	3946	498	3978
384	PNPN-24-4	4	3998	823	4672	756	5061			800	4816	559	4470	561	4486
385	PNPN-25-4	4	3995	989	3908	906	4250			941	4114	423	3380	425	3396
386	PNPN-26-4	4	3992	1012	3819	932	4135			972	3985	469	3744	473	3776
387	PNPN-27-4	4	4007	991	3914	911	4242			965	4026	462	3702	468	3751
388	PNPN-28-4	4	3995	820	4685	761	5025			797	4830	512	4091	522	4171
389	PNPN-29-4	4	3994	812	4725	749	5101			796	4834	559	4465	561	4481
390	PNPN-30-4	4	3989	862	4455	793	4823			848	4545	526	4196	532	4244
391	PNPN-01-3	4	2991	743	3853	686	4157			717	4006	565	3380	576	3446
392	PNPN-02-3	4	2990	670	4251	614	4618			653	4380	651	3893	659	3941
393	PNPN-03-3	4	2995	699	4090	644	4417			675	4247	605	3624	615	3684
394	PNPN-04-3	4	2990	609	4655	565	4996			597	4771	702	4198	708	4234
395	PNPN-05-3	4	2996	577	4913	522	5388			564	5046	766	4590	771	4620
396	PNPN-06-3	4	2994	597	4750	544	5184			588	4847	736	4407	737	4413
397	PNPN-07-3	4	2987	666	4274	602	4696			638	4474	658	3931	664	3967
398	PNPN-08-3	4	2994	574	4934	523	5380			566	5022	762	4563	771	4617
399	PNPN-09-3	4	2996	678	4212	622	4570			659	4350	659	3949	664	3979
400	PNPN-10-3	4	2993	747	3838	685	4165			729	3945	587	3514	590	3532
401	PNPN-11-3	4	2995	698	4095	644	4420			680	4217	670	4013	673	4031
402	PNPN-12-3	4	2991	589	4810	536	5247			579	4914	711	4253	722	4319
403	PNPN-13-3	4	2995	729	3931	670	4257			716	4014	591	3540	595	3564
404	PNPN-14-3	4	2991	598	4742	547	5152			597	4769	714	4271	722	4319
405	PNPN-15-3	4	2992	635	4477	584	4841			614	4645	676	4045	678	4057
406	PNPN-16-3	4	2993	721	3971	666	4279			712	4035	610	3651	615	3681
407	PNPN-17-3	4	2989	617	4600	565	4994			608	4687	705	4214	712	4256
408	PNPN-18-3	4	2990	747	3834	688	4141			722	3978	572	3421	576	3444
409	PNPN-19-3	4	2991	726	3942	665	4282			700	4099	615	3679	615	3679
410	PNPN-20-3	4	2995	587	4828	535	5268			576	4945	716	4289	727	4355
411	PNPN-21-3	4	2993	613	4635	557	5068			608	4690	673	4029	678	4059
412	PNPN-22-3	4	2994	744	3854	686	4158			720	3994	564	3377	571	3419
413	PNPN-23-3	4	2996	641	4443	597	4752			618	4626	660	3955	664	3979
414	PNPN-24-3	4	2991	588	4818	536	5247			584	4870	747	4469	752	4498
415	PNPN-25-3	4	2996	704	4066	651	4374			693	4143	560	3356	576	3451
416	PNPN-26-3	4	2987	683	4173	630	4502			662	4315	660	3943	664	3967
417	PNPN-27-3	4	2990	703	4061	643	4416			693	4137	650	3887	654	3911
418	PNPN-28-3	4	2992	590	4804	542	5199			574	4952	706	4225	717	4291
419	PNPN-29-3	4	2994	593	4784	540	5216			587	4851	754	4515	761	4557
420	PNPN-30-3	4	2988	634	4478	581	4862			624	4571	707	4225	712	4255
421	PNPN-01-2	4	1987	491	3793	447	4131			483	3876	848	3370	864	3434
422	PNPN-02-2	4	1993	433	4279	394	4662			427	4359	990	3946	996	3970
423	PNPN-03-2	4	1988	459	4042	416	4417			440	4228	887	3527	888	3531
424	PNPN-04-2	4	1991	391	4698	356	5111			392	4722	1077	4289	1083	4313
425	PNPN-05-2	4	1996	377	4865	343	5301			365	5051	1133	4523	1142	4559
426	PNPN-06-2	4	1993	394	4664	363	5026			394	4698	1094	4361	1098	4377

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	Long	Tsyl	VsylC	Tusl	VuslC	Tbpv	VbpvC	Tmst	VmstC	Fplg	Vplg	Fmtg	Vmtg
427	PNPN-07-2	4	1990	425	4347	387	4732			424	4386	1042	4147	1049	4175
428	PNPN-08-2	4	1994	377	4860	345	5261			377	4897	1133	4518	1137	4534
429	PNPN-09-2	4	1994	436	4253	395	4648			428	4357	1000	3988	1010	4028
430	PNPN-10-2	4	1996	487	3840	443	4189			467	4019	879	3509	888	3545
431	PNPN-11-2	4	1989	435	4247	398	4609			432	4304	1021	4062	1025	4077
432	PNPN-12-2	4	1988	387	4730	353	5143			386	4777	1055	4195	1074	4270
433	PNPN-13-2	4	1988	484	3843	434	4248			466	4011	892	3547	898	3570
434	PNPN-14-2	4	1993	393	4681	356	5110			390	4743	1107	4413	1113	4436
435	PNPN-15-2	4	1994	408	4518	370	4935			402	4614	1029	4104	1035	4128
436	PNPN-16-2	4	1993	486	3838	435	4249			470	3985	908	3619	913	3639
437	PNPN-17-2	4	1991	410	4496	369	4940			406	4570	1042	4149	1049	4177
438	PNPN-18-2	4	1993	493	3787	454	4084			478	3922	843	3360	844	3364
439	PNPN-19-2	4	1993	451	4119	408	4514			448	4168	951	3791	956	3811
440	PNPN-20-2	4	1995	384	4781	351	5181			385	4805	1106	4413	1108	4421
441	PNPN-21-2	4	1993	403	4573	369	4945			403	4601	1051	4189	1058	4217
442	PNPN-22-2	4	1990	484	3847	442	4180			476	3931	837	3331	844	3359
443	PNPN-23-2	4	1995	403	4578	366	4993			395	4692	1010	4030	1015	4050
444	PNPN-24-2	4	1993	380	4828	346	5244			375	4919	1128	4496	1132	4512
445	PNPN-25-2	4	1992	457	4067	418	4407			442	4223	909	3620	922	3673
446	PNPN-26-2	4	1989	405	4543	370	4923			398	4645	1009	4014	1015	4038
447	PNPN-27-2	4	1994	440	4213	402	4573			434	4296	1001	3992	1005	4008
448	PNPN-28-2	4	1991	393	4676	355	5124			382	4836	1081	4305	1088	4332
449	PNPN-29-2	4	1991	387	4743	353	5151			383	4825	1134	4516	1142	4547
450	PNPN-30-2	4	1987	414	4442	376	4846			406	4561	1072	4260	1078	4284
451	PNPN-01-1	4	999	236	3717	215	4020			225	3915	1679	3355		
452	PNPN-02-1	4	999	210	4106	193	4400			201	4331	1992	3980		
453	PNPN-03-1	4	1000	222	3925	202	4246			216	4070	1797	3594		
454	PNPN-04-1	4	1000	192	4448	176	4773			185	4658	2003	4006		
455	PNPN-05-1	4	1000	184	4602	170	4913			178	4815	2213	4426		
456	PNPN-06-1	4	1000	193	4419	179	4705			187	4604	2218	4436		
457	PNPN-07-1	4	1000	201	4268	185	4566			195	4451	1959	3918		
458	PNPN-08-1	4	1000	183	4623	170	4913			182	4724	2347	4694		
459	PNPN-09-1	4	1001	213	4064	195	4371			208	4212	1906	3816		
460	PNPN-10-1	4	1000	236	3713	215	4024			227	3888	1674	3348		
461	PNPN-11-1	4	1000	208	4144	191	4454			202	4316	1965	3930		
462	PNPN-12-1	4	1000	192	4439	178	4727			187	4604	2320	4640		
463	PNPN-13-1	4	1001	232	3780	211	4094			220	4009	1798	3600		
464	PNPN-14-1	4	1001	196	4365	181	4666			189	4567	2126	4256		
465	PNPN-15-1	4	1000	222	3925	209	4115			192	4501	2019	4038		
466	PNPN-16-1	4	1000	235	3727	214	4032			220	4005	1799	3598		
467	PNPN-17-1	4	1001	207	4174	189	4488			195	4445	2003	4010		
468	PNPN-18-1	4	999	225	3875	205	4179			219	4009	1804	3604		
469	PNPN-19-1	4	1003	221	3952	202	4258			212	4142	1922	3856		
470	PNPN-20-1	4	1001	189	4503	174	4812			182	4718	2239	4482		
471	PNPN-21-1	4	1002	196	4379	178	4726			184	4689	2024	4056		
472	PNPN-22-1	4	1000	248	3561	223	3891			230	3843	1711	3422		
473	PNPN-23-1	4	1002	202	4267	184	4606			192	4510	1965	3938		
474	PNPN-24-1	4	1001	188	4523	172	4859			185	4663	2245	4494		
475	PNPN-25-1	4	995	218	3959	199	4279			211	4126	1873	3727		
476	PNPN-26-1	4	1002	197	4351	178	4726			194	4480	2013	4034		
477	PNPN-27-1	4	1003	216	4031	196	4360			210	4176	1944	3900		
478	PNPN-28-1	4	1002	194	4418	177	4748			188	4593	2250	4509		
479	PNPN-29-1	4	1002	193	4428	177	4759			189	4572	2245	4499		
480	PNPN-30-1	4	1002	203	4240	187	4533			193	4490	2117	4242		

B.4.3 Mediciones directas (cara y canto) con equipos no destructivos

N	Probeta	E	LcRD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LcTD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
1	PNRD-01-4	1	3514	713	655		690	3516	716	677		696
2	PNRD-02-4	1	3519	659	601		641	3520	662	619		637
3	PNRD-03-4	1	3517	650	595		641	3519	650	594		643
4	PNRD-04-4	1	3522	658	603		647	3524	655	603		636
5	PNRD-05-4	1	3519	764	702		708	3520	751	706		715
6	PNRD-06-4	1	3518	732	687		695	3519	734	687		713
7	PNRD-07-4	1	3518	692	636		666	3520	698	660		676
8	PNRD-08-4	1	3519	791	749		747	3520	801	751		750
9	PNRD-09-4	1	3519	673	615		653	3520	683	650		660
10	PNRD-10-4	1	3519	634	572		602	3521	633	577		614
11	PNRD-11-4	1	3515	632	568		609	3517	660	588		635
12	PNRD-12-4	1	3516	647	591		627	3518	631	579		618
13	PNRD-13-4	1	3524	722	667		689	3525	765	679		696
14	PNRD-14-4	1	3520	665	613		637	3522	677	622		631
15	PNRD-15-4	1	3516	661	605		641	3518	667	607		653
16	PNRD-16-4	1	3520	657	584		610	3521	645	590		616
17	PNRD-17-4	1	3523	704	643		660	3524	716	661		662
18	PNRD-18-4	1	3511	691	633		642	3513	707	626		647
19	PNRD-19-4	1	3517	751	697		725	3518	741	705		722
20	PNRD-20-4	1	3521	671	593		616	3522	660	614		625
21	PNRD-21-4	1	3519	736	670		661	3521	708	654		662
22	PNRD-22-4	1	3518	652	579		605	3520	625	569		593
23	PNRD-23-4	1	3516	655	592		613	3517	677	606		628
24	PNRD-24-4	1	3519	681	601		622	3520	659	603		622
25	PNRD-25-4	1	3520	748	666		674	3522	754	715		690
26	PNRD-26-4	1	3517	759	684		709	3519	743	681		697
27	PNRD-27-4	1	3518	802	757		777	3519	816	763		792
28	PNRD-28-4	1	3521	758	678		719	3522	779	690		731
29	PNRD-29-4	1	3521	779	700		712	3522	797	714		720
30	PNRD-30-4	1	3520	699	630		652	3522	682	628		641
31	PNRD-01-3	1	2522	497	455		484	2524	508	453		488
32	PNRD-02-3	1	2522	458	416		448	2524	471	424		461
33	PNRD-03-3	1	2522	453	417		447	2524	462	424		452
34	PNRD-04-3	1	2522	470	428		458	2524	468	422		452
35	PNRD-05-3	1	2522	530	487		505	2524	523	484		510
36	PNRD-06-3	1	2522	498	455		483	2524	514	468		502
37	PNRD-07-3	1	2522	486	439		470	2524	493	446		475
38	PNRD-08-3	1	2522	561	517		535	2524	554	518		528
39	PNRD-09-3	1	2522	477	432		465	2524	478	434		467
40	PNRD-10-3	1	2522	437	403		426	2524	449	411		439
41	PNRD-11-3	1	2522	438	402		429	2524	458	420		455
42	PNRD-12-3	1	2522	457	418		444	2524	449	411		438
43	PNRD-13-3	1	2522	500	454		486	2524	492	450		482
44	PNRD-14-3	1	2522	465	423		452	2524	470	427		458
45	PNRD-15-3	1	2522	471	433		457	2524	478	438		463
46	PNRD-16-3	1	2522	457	417		443	2524	461	422		445
47	PNRD-17-3	1	2522	491	446		479	2524	491	445		478
48	PNRD-18-3	1	2522	470	426		457	2524	475	427		459
49	PNRD-19-3	1	2522	525	476		513	2524	525	475		516
50	PNRD-20-3	1	2522	452	408		443	2524	455	412		438
51	PNRD-21-3	1	2522	496	445		472	2524	485	445		464
52	PNRD-22-3	1	2522	454	415		446	2524	443	407		439
53	PNRD-23-3	1	2522	455	418		450	2524	455	417		451
54	PNRD-24-3	1	2522	460	420		451	2524	466	422		461
55	PNRD-25-3	1	2522	495	438		475	2524	510	470		494
56	PNRD-26-3	1	2522	517	469		493	2524	535	470		504
57	PNRD-27-3	1	2522	568	519		558	2524	595	540		565
58	PNRD-28-3	1	2522	519	474		513	2524	532	484		524
59	PNRD-29-3	1	2522	543	467		508	2524	528	479		518
60	PNRD-30-3	1	2522	487	419		454	2524	467	424		449
61	PNRD-01-2	1	1508	292	268		284	1512	305	280		300
62	PNRD-02-2	1	1510	272	250		266	1513	278	255		274
63	PNRD-03-2	1	1502	275	253		268	1505	282	260		272
64	PNRD-04-2	1	1508	284	260		280	1512	280	258		281
65	PNRD-05-2	1	1509	301	276		295	1512	302	277		308
66	PNRD-06-2	1	1512	294	272		281	1515	304	279		288

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
67	PNRD-07-2	1	1507	290	266		284	1511	298	274		290
68	PNRD-08-2	1	1498	320	304		308	1501	315	288		302
69	PNRD-09-2	1	1504	277	254		270	1507	285	262		277
70	PNRD-10-2	1	1503	262	242		254	1506	274	252		263
71	PNRD-11-2	1	1507	263	243		256	1510	283	261		280
72	PNRD-12-2	1	1506	277	255		268	1510	269	249		262
73	PNRD-13-2	1	1504	297	273		291	1507	295	272		287
74	PNRD-14-2	1	1507	283	261		275	1511	286	263		278
75	PNRD-15-2	1	1507	283	261		274	1511	289	266		280
76	PNRD-16-2	1	1502	268	248		255	1505	277	255		268
77	PNRD-17-2	1	1505	295	267		284	1508	296	272		284
78	PNRD-18-2	1	1504	281	257		272	1508	281	257		275
79	PNRD-19-2	1	1504	311	283		303	1507	311	285		307
80	PNRD-20-2	1	1504	270	248		265	1507	271	250		270
81	PNRD-21-2	1	1504	285	261		275	1508	287	264		270
82	PNRD-22-2	1	1506	270	250		261	1510	265	244		258
83	PNRD-23-2	1	1500	270	250		262	1503	273	252		263
84	PNRD-24-2	1	1511	277	255		267	1514	283	261		266
85	PNRD-25-2	1	1504	288	265		279	1508	291	267		278
86	PNRD-26-2	1	1506	288	266		280	1510	300	274		289
87	PNRD-27-2	1	1506	331	301		321	1509	341	312		335
88	PNRD-28-2	1	1502	299	274		293	1505	317	288		301
89	PNRD-29-2	1	1511	304	278		297	1514	320	292		308
90	PNRD-30-2	1	1503	272	251		267	1507	288	264		278
91	PNRD-01-1	1	528	103	94		101	538	112	102		112
92	PNRD-02-1	1	528	99	90		95	538	109	100		104
93	PNRD-03-1	1	529	105	95		98	538	124	113		120
94	PNRD-04-1	1	529	101	92		96	539	108	99		102
95	PNRD-05-1	1	530	104	95		100	540	121	110		116
96	PNRD-06-1	1	529	110	100		104	539	125	114		124
97	PNRD-07-1	1	519	108	99		105	529	127	118		121
98	PNRD-08-1	1	524	111	102		103	534	118	108		114
99	PNRD-09-1	1	525	100	92		95	535	116	108		112
100	PNRD-10-1	1	523	95	88		92	533	121	112		116
101	PNRD-11-1	1	522	99	91		95	530	123	113		123
102	PNRD-12-1	1	524	103	94		97	534	110	102		106
103	PNRD-13-1	1	524	107	98		102	533	121	112		119
104	PNRD-14-1	1	523	106	99		100	533	112	102		107
105	PNRD-15-1	1	523	104	96		96	533	116	107		106
106	PNRD-16-1	1	530	106	99		98	540	115	107		112
107	PNRD-17-1	1	524	102	95		97	534	114	106		108
108	PNRD-18-1	1	530	101	94		99	540	116	107		113
109	PNRD-19-1	1	530	109	101		104	540	121	113		114
110	PNRD-20-1	1	530	98	91		95	540	108	100		95
111	PNRD-21-1	1	530	108	100		96	540	112	104		102
112	PNRD-22-1	1	530	101	94		91	539	108	103		102
113	PNRD-23-1	1	531	99	93		95	540	116	109		115
114	PNRD-24-1	1	530	104	98		98	539	118	110		116
115	PNRD-25-1	1	530	102	95		93	540	116	108		112
116	PNRD-26-1	1	530	103	96		95	539	117	100		119
117	PNRD-27-1	1	530	113	105		108	540	128	118		126
118	PNRD-28-1	1	530	101	94		98	540	124	113		131
119	PNRD-29-1	1	530	110	102		105	540	125	115		120
120	PNRD-30-1	1	529	98	91		91	539	105	98		102
121	PSY-01-4	2	3521	690	628	677	677	3523	683	624	695	677
122	PSY-02-4	2	3522	702	653	674	687	3524	692	655	672	683
123	PSY-03-4	2	3521	685	619	646	662	3523	664	606	651	662
124	PSY-04-4	2	3522	670	605	642	656	3524	663	597	641	653
125	PSY-05-4	2	3522	652	595	643	653	3524	654	597	642	656
126	PSY-06-4	2	3520	681	622	647	658	3522	676	620	663	661
127	PSY-07-4	2	3521	649	591	636	648	3523	667	607	655	666
128	PSY-08-4	2	3520	668	605	655	655	3522	668	611	660	670
129	PSY-09-4	2	3521	677	627	668	657	3523	667	627	649	658
130	PSY-10-4	2	3521	655	590	635	645	3523	661	609	630	649
131	PSY-11-4	2	3522	663	587	629	639	3524	669	594	645	634
132	PSY-12-4	2	3520	836	763	868	801	3522	835	761	883	803
133	PSY-13-4	2	3522	633	564	609	617	3524	634	567	610	618
134	PSY-14-4	2	3522	697	639	689	698	3524	689	632	679	692
135	PSY-15-4	2	3518	760	712	817	739	3520	764	728	822	732
136	PSY-16-4	2	3517	676	621	668	668	3519	678	622	667	667
137	PSY-17-4	2	3521	718	656	703	693	3523	695	632	679	697
138	PSY-18-4	2	3521	690	647	662	660	3523	693	645	672	677

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
139	PNSY-19-4	2	3523	713	667	703	685	3525	695	647	697	676
140	PNSY-20-4	2	3522	735	684	786	691	3524	728	681	790	702
141	PNSY-21-4	2	3522	726	671	726	702	3524	729	670	730	703
142	PNSY-22-4	2	3522	668	600	646	654	3524	658	593	641	648
143	PNSY-23-4	2	3522	732	639	686	686	3524	712	653	676	686
144	PNSY-24-4	2	3521	669	623	673	663	3523	678	624	672	686
145	PNSY-25-4	2	3522	632	575	621	629	3524	628	575	622	624
146	PNSY-26-4	2	3522	781	716	773	762	3524	798	730	787	784
147	PNSY-27-4	2	3521	652	595	640	652	3523	658	615	640	656
148	PNSY-28-4	2	3522	647	591	637	640	3524	646	593	640	643
149	PNSY-29-4	2	3521	731	685	763	709	3523	768	707	785	746
150	PNSY-30-4	2	3522	743	698	762	728	3524	749	701	786	728
151	PNSY-01-3	2	2522	481	433	469	480	2524	479	441	473	485
152	PNSY-02-3	2	2522	501	444	479	488	2524	501	443	482	490
153	PNSY-03-3	2	2522	486	430	464	479	2524	481	441	474	481
154	PNSY-04-3	2	2522	459	418	454	460	2524	464	423	458	470
155	PNSY-05-3	2	2522	464	423	459	465	2524	463	422	422	467
156	PNSY-06-3	2	2522	470	428	471	474	2524	470	424	461	472
157	PNSY-07-3	2	2522	461	417	452	462	2524	475	435	474	481
158	PNSY-08-3	2	2522	466	428	462	470	2524	475	436	473	481
159	PNSY-09-3	2	2522	465	432	454	466	2524	459	424	456	474
160	PNSY-10-3	2	2522	474	421	456	467	2524	455	421	455	468
161	PNSY-11-3	2	2522	470	413	446	456	2524	462	408	443	455
162	PNSY-12-3	2	2522	590	533	583	571	2524	568	532	583	571
163	PNSY-13-3	2	2522	441	400	435	441	2524	446	402	435	448
164	PNSY-14-3	2	2522	500	449	486	495	2524	493	444	481	492
165	PNSY-15-3	2	2522	562	485	504	506	2524	514	460	475	494
166	PNSY-16-3	2	2522	498	431	462	473	2524	495	434	467	485
167	PNSY-17-3	2	2522	517	444	480	490	2524	512	447	483	499
168	PNSY-18-3	2	2522	493	425	456	476	2524	473	433	461	478
169	PNSY-19-3	2	2522	497	431	457	518	2524	513	449	480	478
170	PNSY-20-3	2	2522	518	458	496	485	2524	520	464	491	485
171	PNSY-21-3	2	2522	509	458	491	500	2524	506	455	492	494
172	PNSY-22-3	2	2522	462	422	457	464	2524	466	420	455	462
173	PNSY-23-3	2	2522	499	462	479	489	2524	496	456	466	480
174	PNSY-24-3	2	2522	466	431	456	468	2524	466	424	455	468
175	PNSY-25-3	2	2522	442	404	438	445	2524	442	406	443	448
176	PNSY-26-3	2	2522	542	495	536	531	2524	555	510	550	544
177	PNSY-27-3	2	2522	465	425	458	464	2524	464	422	456	455
178	PNSY-28-3	2	2522	456	419	451	460	2524	461	423	458	462
179	PNSY-29-3	2	2522	494	455	479	476	2524	514	482	494	506
180	PNSY-30-3	2	2522	518	474	497	500	2524	513	483	476	503
181	PNSY-01-2	2	1517	291	265	286	285	1520	291	268	291	294
182	PNSY-02-2	2	1517	297	271	292	294	1520	298	275	297	304
183	PNSY-03-2	2	1515	287	264	286	287	1518	298	274	297	300
184	PNSY-04-2	2	1516	279	259	281	284	1519	283	260	282	287
185	PNSY-05-2	2	1515	279	256	278	276	1518	290	260	281	288
186	PNSY-06-2	2	1512	285	260	283	279	1515	286	263	287	293
187	PNSY-07-2	2	1517	278	253	275	274	1520	291	270	295	299
188	PNSY-08-2	2	1515	290	262	286	283	1518	292	271	295	304
189	PNSY-09-2	2	1518	305	252	274	275	1521	296	264	287	292
190	PNSY-10-2	2	1514	287	254	277	277	1517	292	262	286	289
191	PNSY-11-2	2	1517	279	255	276	274	1520	275	253	276	282
192	PNSY-12-2	2	1516	347	323	373	342	1519	356	320	350	350
193	PNSY-13-2	2	1517	268	243	265	263	1520	266	245	267	271
194	PNSY-14-2	2	1516	297	272	298	295	1519	297	272	299	299
195	PNSY-15-2	2	1517	298	268	294	293	1520	304	271	295	295
196	PNSY-16-2	2	1516	281	258	283	279	1519	291	267	294	296
197	PNSY-17-2	2	1514	319	271	299	294	1517	312	279	300	298
198	PNSY-18-2	2	1516	295	261	278	280	1519	286	265	288	293
199	PNSY-19-2	2	1518	325	262	284	282	1521	283	254	277	278
200	PNSY-20-2	2	1513	305	265	287	285	1516	287	262	287	280
201	PNSY-21-2	2	1517	303	275	299	296	1520	303	277	303	305
202	PNSY-22-2	2	1517	277	256	280	274	1520	283	259	282	288
203	PNSY-23-2	2	1517	294	266	288	282	1520	288	264	285	287
204	PNSY-24-2	2	1513	292	254	277	277	1516	285	259	281	287
205	PNSY-25-2	2	1516	267	246	268	265	1519	266	246	270	272
206	PNSY-26-2	2	1517	313	286	309	309	1520	325	296	320	320
207	PNSY-27-2	2	1516	278	253	278	279	1519	284	260	285	289
208	PNSY-28-2	2	1513	276	248	272	275	1516	283	256	281	284
209	PNSY-29-2	2	1515	284	261	286	286	1518	307	281	305	308
210	PNSY-30-2	2	1515	307	282	296	302	1518	319	275	295	302

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
211	PNSY-01-1	2	528	103	93	106	99	538	125	110	124	121
212	PNSY-02-1	2	528	106	95	107	105	538	122	108	120	118
213	PNSY-03-1	2	528	112	99	110	102	538	125	115	127	118
214	PNSY-04-1	2	528	100	92	104	100	538	116	107	121	120
215	PNSY-05-1	2	528	99	90	103	99	538	117	110	122	115
216	PNSY-06-1	2	528	102	94	105	98	538	121	112	124	121
217	PNSY-07-1	2	528	96	87	100	90	538	130	118	131	127
218	PNSY-08-1	2	528	107	88	110	93	538	127	116	130	122
219	PNSY-09-1	2	528	101	92	103	95	538	125	113	126	116
220	PNSY-10-1	2	527	105	95	107	103	538	124	112	126	126
221	PNSY-11-1	2	528	110	97	110	102	538	116	105	117	115
222	PNSY-12-1	2	528	122	107	118	114	538	142	126	140	136
223	PNSY-13-1	2	528	95	87	97	97	538	113	105	117	115
224	PNSY-14-1	2	528	104	94	105	105	538	113	104	116	118
225	PNSY-15-1	2	527	102	93	103	103	538	118	108	120	120
226	PNSY-16-1	2	527	103	90	101	102	538	119	105	117	120
227	PNSY-17-1	2	527	106	94	105	105	538	112	102	114	114
228	PNSY-18-1	2	528	106	98	109	105	538	124	114	126	124
229	PNSY-19-1	2	528	108	97	107	103	538	117	105	116	110
230	PNSY-20-1	2	528	107	96	107	102	538	121	109	119	110
231	PNSY-21-1	2	528	115	105	116	108	538	128	117	131	120
232	PNSY-22-1	2	528	102	95	104	101	538	126	115	127	125
233	PNSY-23-1	2	528	112	101	111	100	538	116	104	114	107
234	PNSY-24-1	2	527	104	93	104	98	538	126	117	128	115
235	PNSY-25-1	2	528	103	94	105	101	538	114	103	115	114
236	PNSY-26-1	2	527	117	103	115	110	538	130	118	132	127
237	PNSY-27-1	2	528	101	94	103	97	538	121	114	125	121
238	PNSY-28-1	2	528	101	93	103	100	538	116	107	119	113
239	PNSY-29-1	2	527	113	103	113	108	538	140	128	138	142
240	PNSY-30-1	2	527	113	105	114	108	538	122	112	122	126
241	PNNL-01-4	3	3559	730	685		705	3561	711	681		678
242	PNNL-02-4	3	3549	737	671		699	3551	699	659		682
243	PNNL-03-4	3	3541	748	707		694	3543	720	680		679
244	PNNL-04-4	3	3538	713	658		677	3540	701	654		676
245	PNNL-05-4	3	3539	768	683		708	3541	776	701		706
246	PNNL-06-4	3	3546	760	690		721	3548	764	695		721
247	PNNL-07-4	3	3555	704	623		656	3557	713	628		656
248	PNNL-08-4	3	3561	665	590		618	3563	663	580		622
249	PNNL-09-4	3	3551	860	784		803	3553	863	787		800
250	PNNL-10-4	3	3561	779	708		722	3563	770	694		692
251	PNNL-11-4	3	3557	740	667		684	3559	719	644		666
252	PNNL-12-4	3	3557	697	627		653	3559	698	599		647
253	PNNL-13-4	3	3551	716	636		668	3553	708	626		672
254	PNNL-14-4	3	3525	716	660		689	3527	717	661		700
255	PNNL-15-4	3	3547	758	671		716	3549	758	699		739
256	PNNL-16-4	3	3545	709	649		681	3547	695	631		672
257	PNNL-17-4	3	3542	715	663		718	3544	715	672		703
258	PNNL-18-4	3	3531	678	621		658	3533	670	626		660
259	PNNL-19-4	3	3548	773	695		735	3550	752	715		745
260	PNNL-20-4	3	3551	641	584		635	3553	654	577		632
261	PNNL-21-4	3	3527	761	701		722	3529	759	697		734
262	PNNL-22-4	3	3544	772	723		739	3546	773	722		721
263	PNNL-23-4	3	3556	792	774		781	3558	811	783		787
264	PNNL-24-4	3	3531	706	647		680	3533	675	644		664
265	PNNL-25-4	3	3531	718	666		693	3533	702	653		686
266	PNNL-26-4	3	3551	709	632		668	3553	675	651		666
267	PNNL-27-4	3	3535	738	665		677	3537	752	682		683
268	PNNL-28-4	3	3545	717	641		670	3547	709	654		679
269	PNNL-29-4	3	3551	697	639		659	3553	687	612		650
270	PNNL-30-4	3	3561	719	668		668	3563	725	665		678
271	PNNL-01-3	3	2522	515	466		486	2524	488	473		468
272	PNNL-02-3	3	2522	500	458		490	2524	487	425		457
273	PNNL-03-3	3	2522	508	461		467	2524	509	477		473
274	PNNL-04-3	3	2522	493	449		473	2524	493	451		476
275	PNNL-05-3	3	2522	517	481		488	2524	515	474		489
276	PNNL-06-3	3	2522	535	485		500	2524	544	480		498
277	PNNL-07-3	3	2522	466	424		450	2524	471	431		464
278	PNNL-08-3	3	2522	440	402		422	2524	449	411		442
279	PNNL-09-3	3	2522	580	543		560	2524	580	547		558
280	PNNL-10-3	3	2522	521	482		495	2524	518	476		469
281	PNNL-11-3	3	2522	504	442		467	2524	487	442		454
282	PNNL-12-3	3	2522	479	423		440	2524	487	414		444

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
283	PNNL-13-3	3	2522	498	435		456	2524	494	437		461
284	PNNL-14-3	3	2522	504	452		480	2524	520	464		486
285	PNNL-15-3	3	2522	531	470		503	2524	558	498		530
286	PNNL-16-3	3	2522	492	438		460	2524	483	429		452
287	PNNL-17-3	3	2522	510	458		483	2524	512	454		482
288	PNNL-18-3	3	2522	492	425		447	2524	491	431		461
289	PNNL-19-3	3	2522	548	477		491	2524	540	485		503
290	PNNL-20-3	3	2522	480	410		427	2524	480	411		449
291	PNNL-21-3	3	2522	548	489		506	2524	561	498		534
292	PNNL-22-3	3	2522	569	497		505	2524	580	480		482
293	PNNL-23-3	3	2522	598	527		538	2524	596	522		520
294	PNNL-24-3	3	2522	516	443		469	2524	493	424		456
295	PNNL-25-3	3	2522	509	449		475	2524	485	439		473
296	PNNL-26-3	3	2522	495	446		466	2524	476	431		464
297	PNNL-27-3	3	2522	493	439		462	2524	484	452		476
298	PNNL-28-3	3	2522	471	430		458	2524	473	431		469
299	PNNL-29-3	3	2522	481	435		469	2524	465	419		449
300	PNNL-30-3	3	2522	480	435		449	2524	485	453		484
301	PNNL-01-2	3	1519	291	262		262	1522	287	261		265
302	PNNL-02-2	3	1517	294	269		272	1520	277	253		260
303	PNNL-03-2	3	1518	287	262		271	1522	284	258		277
304	PNNL-04-2	3	1520	298	269		274	1523	312	285		290
305	PNNL-05-2	3	1521	309	282		289	1524	304	273		296
306	PNNL-06-2	3	1521	314	280		288	1524	319	287		300
307	PNNL-07-2	3	1521	280	258		261	1524	287	265		268
308	PNNL-08-2	3	1520	264	244		246	1523	275	253		270
309	PNNL-09-2	3	1519	336	313		323	1522	325	297		328
310	PNNL-10-2	3	1515	300	279		285	1518	295	271		288
311	PNNL-11-2	3	1521	282	259		277	1524	275	252		268
312	PNNL-12-2	3	1518	280	255		264	1522	281	259		278
313	PNNL-13-2	3	1518	287	259		268	1521	288	265		284
314	PNNL-14-2	3	1519	289	261		287	1522	307	279		295
315	PNNL-15-2	3	1519	312	283		299	1522	323	297		324
316	PNNL-16-2	3	1519	287	261		271	1522	283	258		271
317	PNNL-17-2	3	1520	298	269		287	1523	296	268		298
318	PNNL-18-2	3	1517	276	251		262	1521	286	260		281
319	PNNL-19-2	3	1517	304	276		297	1521	313	284		311
320	PNNL-20-2	3	1518	270	249		265	1521	278	254		266
321	PNNL-21-2	3	1521	309	282		294	1524	335	306		326
322	PNNL-22-2	3	1521	314	284		301	1524	301	273		293
323	PNNL-23-2	3	1519	334	306		309	1522	311	278		288
324	PNNL-24-2	3	1518	323	262		278	1521	312	264		275
325	PNNL-25-2	3	1518	281	260		274	1521	287	260		278
326	PNNL-26-2	3	1519	284	260		274	1522	291	263		282
327	PNNL-27-2	3	1518	290	264		282	1521	296	267		292
328	PNNL-28-2	3	1520	287	259		273	1523	293	269		294
329	PNNL-29-2	3	1519	293	268		283	1522	281	257		277
330	PNNL-30-2	3	1520	281	253		273	1523	301	274		304
331	PNNL-01-1	3	527	108	98		98	538	114	104		101
332	PNNL-02-1	3	527	105	97		94	538	109	103		107
333	PNNL-03-1	3	527	99	93		92	538	121	112		110
334	PNNL-04-1	3	527	108	98		91	538	125	112		115
335	PNNL-05-1	3	527	111	101		97	538	130	116		121
336	PNNL-06-1	3	527	108	98		89	538	121	112		112
337	PNNL-07-1	3	527	106	95		87	538	121	109		115
338	PNNL-08-1	3	527	102	92		95	538	120	108		112
339	PNNL-09-1	3	527	120	109		109	538	128	115		128
340	PNNL-10-1	3	527	105	97		100	538	120	109		118
341	PNNL-11-1	3	527	108	96		98	538	114	105		109
342	PNNL-12-1	3	527	102	93		94	538	121	111		115
343	PNNL-13-1	3	527	103	93		97	538	122	110		115
344	PNNL-14-1	3	527	100	91		95	538	124	114		120
345	PNNL-15-1	3	527	112	102		101	538	135	124		127
346	PNNL-16-1	3	527	104	93		92	538	116	104		108
347	PNNL-17-1	3	527	102	91		91	538	116	105		102
348	PNNL-18-1	3	527	102	93		85	538	118	108		104
349	PNNL-19-1	3	527	107	100		91	538	125	116		112
350	PNNL-20-1	3	527	99	90		85	538	113	104		104
351	PNNL-21-1	3	527	113	103		96	538	148	137		137
352	PNNL-22-1	3	527	105	96		89	538	112	103		97
353	PNNL-23-1	3	527	109	99		98	538	117	108		109
354	PNNL-24-1	3	527	103	94		92	538	108	99		102

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
355	PNNL-25-1	3	527	99	89		92	538	116	105		114
356	PNNL-26-1	3	527	109	97		86	538	117	107		109
357	PNNL-27-1	3	527	105	94		89	538	120	110		104
358	PNNL-28-1	3	527	104	95		86	538	125	113		107
359	PNNL-29-1	3	527	107	97		87	538	116	104		97
360	PNNL-30-1	3	528	103	93		86	538	126	115		108
361	PNPN-01-4	4	3510	910	854		888	3512	886	839		860
362	PNPN-02-4	4	3509	810	754		795	3511	790	739		767
363	PNPN-03-4	4	3519	867	809		838	3521	859	802		830
364	PNPN-04-4	4	3541	792	744		761	3543	787	741		752
365	PNPN-05-4	4	3514	707	655		682	3516	715	667		691
366	PNPN-06-4	4	3523	750	689		710	3525	737	698		700
367	PNPN-07-4	4	3518	824	766		792	3520	834	752		772
368	PNPN-08-4	4	3516	695	651		675	3518	733	685		690
369	PNPN-09-4	4	3525	861	804		807	3527	853	794		816
370	PNPN-10-4	4	3520	931	870		898	3522	927	871		889
371	PNPN-11-4	4	3526	884	828		846	3528	895	859		859
372	PNPN-12-4	4	3515	716	672		690	3517	698	648		672
373	PNPN-13-4	4	3504	909	847		859	3506	920	862		857
374	PNPN-14-4	4	3514	751	698		725	3516	760	690		692
375	PNPN-15-4	4	3514	806	755		777	3516	838	745		764
376	PNPN-16-4	4	3510	883	817		852	3512	897	817		847
377	PNPN-17-4	4	3523	766	695		744	3525	803	707		743
378	PNPN-18-4	4	3518	967	895		901	3520	998	911		917
379	PNPN-19-4	4	3509	896	831		851	3511	923	849		852
380	PNPN-20-4	4	3521	725	662		694	3523	738	672		695
381	PNPN-21-4	4	3518	797	751		758	3520	810	756		764
382	PNPN-22-4	4	3512	951	864		858	3514	912	857		863
383	PNPN-23-4	4	3515	868	815		791	3517	868	806		810
384	PNPN-24-4	4	3519	754	687		704	3521	736	676		697
385	PNPN-25-4	4	3516	893	828		842	3518	929	860		873
386	PNPN-26-4	4	3513	886	827		851	3515	887	814		833
387	PNPN-27-4	4	3528	874	816		851	3530	916	860		882
388	PNPN-28-4	4	3516	751	712		719	3518	787	762		748
389	PNPN-29-4	4	3515	723	672		712	3517	724	669		713
390	PNPN-30-4	4	3510	778	720		756	3512	763	718		746
391	PNPN-01-3	4	2522	656	615		634	2524	643	598		622
392	PNPN-02-3	4	2522	568	519		558	2524	544	499		534
393	PNPN-03-3	4	2522	601	563		586	2524	592	559		572
394	PNPN-04-3	4	2522	545	511		521	2524	552	526		532
395	PNPN-05-3	4	2522	499	456		481	2524	492	448		486
396	PNPN-06-3	4	2522	520	480		503	2524	512	463		494
397	PNPN-07-3	4	2521	585	541		553	2524	571	431		540
398	PNPN-08-3	4	2522	501	449		480	2524	519	479		494
399	PNPN-09-3	4	2522	606	570		578	2524	611	563		581
400	PNPN-10-3	4	2522	646	602		622	2524	626	587		608
401	PNPN-11-3	4	2522	606	556		586	2524	612	577		592
402	PNPN-12-3	4	2521	504	464		489	2524	498	451		479
403	PNPN-13-3	4	2522	643	602		619	2524	631	589		611
404	PNPN-14-3	4	2521	523	476		520	2524	498	454		497
405	PNPN-15-3	4	2521	565	523		542	2524	586	557		570
406	PNPN-16-3	4	2521	640	581		608	2524	627	568		595
407	PNPN-17-3	4	2522	538	488		520	2524	536	482		515
408	PNPN-18-3	4	2522	658	618		634	2524	676	634		644
409	PNPN-19-3	4	2522	625	571		580	2524	627	572		589
410	PNPN-20-3	4	2522	505	454		486	2524	529	470		497
411	PNPN-21-3	4	2522	545	489		542	2524	548	510		535
412	PNPN-22-3	4	2522	654	613		620	2524	645	609		620
413	PNPN-23-3	4	2522	568	536		539	2524	560	521		532
414	PNPN-24-3	4	2522	506	455		493	2524	508	475		498
415	PNPN-25-3	4	2522	618	582		585	2524	645	608		619
416	PNPN-26-3	4	2522	561	529		549	2524	519	495		513
417	PNPN-27-3	4	2522	593	551		580	2524	632	585		618
418	PNPN-28-3	4	2522	521	478		498	2524	550	506		544
419	PNPN-29-3	4	2521	514	473		503	2524	514	465		502
420	PNPN-30-3	4	2521	553	498		535	2524	527	483		516
421	PNPN-01-2	4	1510	389	350		375	1513	369	337		361
422	PNPN-02-2	4	1516	348	318		345	1519	329	302		316
423	PNPN-03-2	4	1511	371	334		357	1514	354	316		353
424	PNPN-04-2	4	1514	310	278		303	1517	324	293		318
425	PNPN-05-2	4	1519	292	267		285	1522	300	272		288
426	PNPN-06-2	4	1516	311	281		310	1519	304	279		301

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrD	TCrDsyl	TCrDusl	TCrDbpv	TCrDmst	LCtD	TCtDsyl	TCtDusl	TCtDbpv	TCtDmst
427	PNPN-07-2	4	1512	338	299		321	1516	331	300		330
428	PNPN-08-2	4	1517	292	265		288	1520	305	274		300
429	PNPN-09-2	4	1517	364	328		351	1520	363	325		353
430	PNPN-10-2	4	1519	373	343		366	1522	366	332		361
431	PNPN-11-2	4	1512	342	308		344	1515	364	327		354
432	PNPN-12-2	4	1510	304	274		297	1514	293	266		290
433	PNPN-13-2	4	1511	362	329		359	1514	359	327		347
434	PNPN-14-2	4	1515	331	286		314	1519	294	268		300
435	PNPN-15-2	4	1516	329	294		316	1520	347	314		353
436	PNPN-16-2	4	1515	364	336		360	1519	368	340		352
437	PNPN-17-2	4	1514	312	288		314	1517	320	293		322
438	PNPN-18-2	4	1516	391	350		373	1519	401	370		391
439	PNPN-19-2	4	1516	348	315		348	1519	370	340		365
440	PNPN-20-2	4	1518	293	270		289	1521	309	285		310
441	PNPN-21-2	4	1515	311	285		313	1519	304	279		310
442	PNPN-22-2	4	1513	375	355		357	1516	370	338		359
443	PNPN-23-2	4	1518	328	297		324	1521	317	287		318
444	PNPN-24-2	4	1516	299	274		289	1519	299	273		302
445	PNPN-25-2	4	1515	351	324		342	1518	374	355		365
446	PNPN-26-2	4	1512	317	289		308	1515	295	263		283
447	PNPN-27-2	4	1517	345	316		337	1520	383	344		370
448	PNPN-28-2	4	1514	296	266		289	1517	344	311		334
449	PNPN-29-2	4	1513	307	282		301	1517	308	282		306
450	PNPN-30-2	4	1509	329	295		317	1513	311	283		300
451	PNPN-01-1	4	526	133	122		122	537	116	106		106
452	PNPN-02-1	4	526	122	112		108	537	112	103		110
453	PNPN-03-1	4	527	118	108		108	538	138	126		131
454	PNPN-04-1	4	527	110	100		102	538	120	110		115
455	PNPN-05-1	4	527	97	89		90	538	121	112		109
456	PNPN-06-1	4	527	109	101		102	538	114	106		112
457	PNPN-07-1	4	527	112	103		105	538	116	107		114
458	PNPN-08-1	4	527	100	92		95	538	125	115		119
459	PNPN-09-1	4	528	131	118		123	539	135	122		137
460	PNPN-10-1	4	527	125	114		118	538	125	112		122
461	PNPN-11-1	4	527	120	110		112	538	140	129		132
462	PNPN-12-1	4	527	97	90		88	538	99	92		94
463	PNPN-13-1	4	528	125	110		111	539	129	115		116
464	PNPN-14-1	4	528	116	106		109	539	108	98		104
465	PNPN-15-1	4	527	110	102		100	538	138	127		130
466	PNPN-16-1	4	527	123	112		113	538	130	120		122
467	PNPN-17-1	4	528	108	99		101	539	122	111		115
468	PNPN-18-1	4	526	120	107		115	537	136	123		127
469	PNPN-19-1	4	530	114	104		107	541	143	128		133
470	PNPN-20-1	4	528	101	94		93	539	125	113		116
471	PNPN-21-1	4	529	107	98		99	540	121	108		114
472	PNPN-22-1	4	527	123	111		110	537	138	120		124
473	PNPN-23-1	4	529	120	109		106	540	120	109		115
474	PNPN-24-1	4	528	107	98		95	539	117	107		119
475	PNPN-25-1	4	522	119	108		108	533	140	125		130
476	PNPN-26-1	4	529	109	100		105	540	112	100		102
477	PNPN-27-1	4	530	120	111		119	541	150	133		148
478	PNPN-28-1	4	529	103	96		101	540	144	129		137
479	PNPN-29-1	4	529	109	98		104	540	118	108		121
480	PNPN-30-1	4	529	113	104		111	540	110	100		111

B.4.4 Mediciones indirectas (cara y canto) con equipos no destructivos

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusl	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TCtIsyl	TCtIusl	TCtIbpv	TCtImst
1	PNRD-01-4	1	3513	711	654		687	3513	699	648		678
2	PNRD-02-4	1	3517	676	613		656	3517	671	638		643
3	PNRD-03-4	1	3516	642	585		626	3516	662	607		650
4	PNRD-04-4	1	3521	674	610		642	3521	661	611		640
5	PNRD-05-4	1	3517	758	712		720	3517	753	711		718
6	PNRD-06-4	1	3516	720	672		684	3516	752	691		727
7	PNRD-07-4	1	3517	691	629		661	3517	695	646		678
8	PNRD-08-4	1	3517	793	747		736	3517	786	751		731
9	PNRD-09-4	1	3517	675	613		654	3517	664	608		648
10	PNRD-10-4	1	3518	635	568		596	3518	617	561		600
11	PNRD-11-4	1	3514	642	578		617	3514	659	592		631
12	PNRD-12-4	1	3515	650	580		615	3515	632	578		623
13	PNRD-13-4	1	3522	716	662		685	3522	742	670		695
14	PNRD-14-4	1	3519	673	610		646	3519	654	611		618
15	PNRD-15-4	1	3515	652	595		630	3515	650	593		637
16	PNRD-16-4	1	3518	653	587		612	3518	635	576		611
17	PNRD-17-4	1	3521	692	639		685	3521	734	671		685
18	PNRD-18-4	1	3510	679	634		648	3510	681	629		660
19	PNRD-19-4	1	3515	754	692		721	3515	743	710		716
20	PNRD-20-4	1	3519	652	593		622	3519	641	613		615
21	PNRD-21-4	1	3518	723	657		663	3518	754	675		691
22	PNRD-22-4	1	3517	659	584		612	3517	638	583		617
23	PNRD-23-4	1	3514	663	588		616	3514	684	616		638
24	PNRD-24-4	1	3517	668	601		616	3517	663	608		624
25	PNRD-25-4	1	3519	751	670		672	3519	737	702		686
26	PNRD-26-4	1	3516	751	686		713	3516	734	685		706
27	PNRD-27-4	1	3516	810	760		782	3516	819	773		779
28	PNRD-28-4	1	3519	755	687		729	3519	759	680		722
29	PNRD-29-4	1	3519	771	695		705	3519	781	714		734
30	PNRD-30-4	1	3519	703	630		649	3519	669	625		632
31	PNRD-01-3	1	2520	502	454		486	2520	491	444		475
32	PNRD-02-3	1	2520	470	428		459	2520	478	443		463
33	PNRD-03-3	1	2520	445	406		435	2520	469	429		461
34	PNRD-04-3	1	2520	467	420		454	2520	463	417		452
35	PNRD-05-3	1	2520	535	483		515	2520	528	489		516
36	PNRD-06-3	1	2520	489	441		474	2520	520	481		503
37	PNRD-07-3	1	2520	481	431		459	2520	494	451		483
38	PNRD-08-3	1	2520	550	511		521	2520	536	506		509
39	PNRD-09-3	1	2520	472	429		461	2520	464	425		456
40	PNRD-10-3	1	2520	433	396		423	2520	427	392		422
41	PNRD-11-3	1	2520	447	410		439	2520	459	422		452
42	PNRD-12-3	1	2520	448	408		435	2520	444	409		442
43	PNRD-13-3	1	2520	493	444		481	2520	497	452		485
44	PNRD-14-3	1	2520	470	431		459	2520	446	403		437
45	PNRD-15-3	1	2520	461	421		441	2520	457	418		445
46	PNRD-16-3	1	2520	461	418		445	2520	444	406		434
47	PNRD-17-3	1	2520	493	446		479	2520	505	460		493
48	PNRD-18-3	1	2520	477	433		468	2520	484	441		472
49	PNRD-19-3	1	2520	520	473		507	2520	525	472		508
50	PNRD-20-3	1	2520	460	417		445	2520	450	405		428
51	PNRD-21-3	1	2520	493	448		475	2520	513	471		482
52	PNRD-22-3	1	2520	454	414		446	2520	447	411		444
53	PNRD-23-3	1	2520	452	415		446	2520	462	422		457
54	PNRD-24-3	1	2520	449	410		443	2520	459	418		455
55	PNRD-25-3	1	2520	490	451		465	2520	494	454		478
56	PNRD-26-3	1	2520	509	474		493	2520	538	475		509
57	PNRD-27-3	1	2520	564	524		551	2520	601	538		565
58	PNRD-28-3	1	2520	523	477		516	2520	520	472		508
59	PNRD-29-3	1	2520	537	465		503	2520	549	490		528
60	PNRD-30-3	1	2520	496	422		456	2520	527	427		453
61	PNRD-01-2	1	1505	302	276		289	1505	292	263		289
62	PNRD-02-2	1	1506	278	256		271	1506	274	250		269
63	PNRD-03-2	1	1498	261	239		257	1498	279	257		272
64	PNRD-04-2	1	1505	272	249		270	1505	270	247		272
65	PNRD-05-2	1	1505	318	291		310	1505	304	278		307
66	PNRD-06-2	1	1508	280	257		265	1508	292	268		276

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusl	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TCTIsyl	TCTIusl	TCTIbpv	TCTImst
67	PNRD-07-2	1	1504	283	256		271	1504	303	266		284
68	PNRD-08-2	1	1494	319	295		301	1494	287	261		278
69	PNRD-09-2	1	1500	272	250		264	1500	273	252		265
70	PNRD-10-2	1	1499	256	235		250	1499	252	232		243
71	PNRD-11-2	1	1504	270	248		261	1504	278	257		278
72	PNRD-12-2	1	1503	263	240		256	1503	262	242		258
73	PNRD-13-2	1	1500	286	263		278	1500	288	266		284
74	PNRD-14-2	1	1504	285	264		278	1504	263	242		258
75	PNRD-15-2	1	1504	272	250		263	1504	271	249		266
76	PNRD-16-2	1	1498	269	245		252	1498	264	243		253
77	PNRD-17-2	1	1501	290	265		284	1501	299	275		294
78	PNRD-18-2	1	1501	289	265		278	1501	288	260		288
79	PNRD-19-2	1	1500	308	283		299	1500	303	277		301
80	PNRD-20-2	1	1500	278	257		272	1500	257	235		253
81	PNRD-21-2	1	1501	292	269		283	1501	291	267		277
82	PNRD-22-2	1	1503	267	247		258	1503	267	247		265
83	PNRD-23-2	1	1496	264	244		256	1496	273	252		263
84	PNRD-24-2	1	1507	266	245		261	1507	269	247		258
85	PNRD-25-2	1	1501	272	250		266	1501	280	256		272
86	PNRD-26-2	1	1503	291	266		284	1503	304	277		295
87	PNRD-27-2	1	1502	328	297		318	1502	331	301		322
88	PNRD-28-2	1	1498	308	281		300	1498	300	273		291
89	PNRD-29-2	1	1507	295	269		292	1507	320	292		311
90	PNRD-30-2	1	1500	275	253		271	1500	262	241		253
91	PNRD-01-1	1	518	98	88		94	518	87	79		85
92	PNRD-02-1	1	518	92	82		87	518	90	80		88
93	PNRD-03-1	1	519	84	76		79	519	89	79		89
94	PNRD-04-1	1	519	87	79		86	519	87	79		87
95	PNRD-05-1	1	520	104	94		98	520	101	91		96
96	PNRD-06-1	1	519	91	83		86	519	94	85		92
97	PNRD-07-1	1	509	87	80		84	509	97	89		92
98	PNRD-08-1	1	514	98	89		92	514	89	82		84
99	PNRD-09-1	1	515	86	79		83	515	88	81		88
100	PNRD-10-1	1	513	80	74		77	513	80	73		80
101	PNRD-11-1	1	512	88	80		85	512	90	83		89
102	PNRD-12-1	1	514	85	76		81	514	85	77		83
103	PNRD-13-1	1	513	93	86		87	513	96	89		100
104	PNRD-14-1	1	513	92	85		86	513	83	77		88
105	PNRD-15-1	1	513	87	80		80	513	86	79		86
106	PNRD-16-1	1	520	86	79		79	520	87	81		84
107	PNRD-17-1	1	514	91	84		87	514	97	89		94
108	PNRD-18-1	1	520	93	85		91	520	91	84		87
109	PNRD-19-1	1	520	105	97		98	520	95	89		89
110	PNRD-20-1	1	520	98	91		91	520	82	76		74
111	PNRD-21-1	1	520	98	90		86	520	94	88		86
112	PNRD-22-1	1	520	87	80		79	520	84	79		77
113	PNRD-23-1	1	520	86	80		77	520	90	83		90
114	PNRD-24-1	1	520	86	81		82	520	83	78		86
115	PNRD-25-1	1	520	84	79		76	520	87	82		83
116	PNRD-26-1	1	520	88	82		79	520	101	94		97
117	PNRD-27-1	1	520	103	95		97	520	105	97		113
118	PNRD-28-1	1	520	99	90		99	520	99	91		101
119	PNRD-29-1	1	520	96	88		92	520	102	93		100
120	PNRD-30-1	1	520	87	80		81	520	83	77		79
121	PNSY-01-4	2	3520	688	621	670	681	3520	698	642	693	674
122	PNSY-02-4	2	3521	698	632	668	678	3521	698	642	659	673
123	PNSY-03-4	2	3520	677	610	648	663	3520	663	583	629	643
124	PNSY-04-4	2	3521	671	599	645	656	3521	637	582	629	638
125	PNSY-05-4	2	3521	658	601	649	657	3521	659	602	649	660
126	PNSY-06-4	2	3519	691	629	670	675	3519	676	610	654	665
127	PNSY-07-4	2	3520	655	597	644	655	3520	664	616	644	665
128	PNSY-08-4	2	3519	658	598	645	654	3519	645	590	636	647
129	PNSY-09-4	2	3520	684	636	683	671	3520	662	592	617	653
130	PNSY-10-4	2	3520	655	594	641	650	3520	660	618	643	659
131	PNSY-11-4	2	3521	664	589	635	644	3521	672	600	645	653
132	PNSY-12-4	2	3519	851	772	888	811	3519	844	750	866	800
133	PNSY-13-4	2	3521	633	569	613	619	3521	629	562	605	622
134	PNSY-14-4	2	3521	696	640	688	698	3521	712	651	700	713
135	PNSY-15-4	2	3517	757	709	808	741	3517	768	722	825	744
136	PNSY-16-4	2	3516	683	635	666	681	3516	662	608	631	653
137	PNSY-17-4	2	3520	717	655	704	695	3520	732	672	722	714
138	PNSY-18-4	2	3520	693	635	672	672	3520	676	607	651	660

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusi	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TCtIsyl	TCtIusi	TCtIbpv	TCtImst
139	PNSY-19-4	2	3522	692	639	683	678	3522	698	655	645	674
140	PNSY-20-4	2	3521	724	673	792	695	3521	719	675	793	700
141	PNSY-21-4	2	3521	715	663	714	694	3521	733	675	734	719
142	PNSY-22-4	2	3521	683	618	668	666	3521	676	619	666	668
143	PNSY-23-4	2	3521	700	629	674	675	3521	698	652	669	685
144	PNSY-24-4	2	3520	691	637	682	684	3520	689	636	690	694
145	PNSY-25-4	2	3521	624	569	614	626	3521	622	568	613	617
146	PNSY-26-4	2	3521	781	718	781	766	3521	773	713	771	760
147	PNSY-27-4	2	3520	659	600	648	658	3520	653	613	640	656
148	PNSY-28-4	2	3521	657	597	643	644	3521	645	594	639	647
149	PNSY-29-4	2	3520	747	702	788	730	3520	716	677	764	702
150	PNSY-30-4	2	3521	745	692	778	723	3521	724	685	766	709
151	PNSY-01-3	2	2520	486	441	477	489	2520	471	430	465	473
152	PNSY-02-3	2	2520	510	440	474	486	2520	505	431	465	476
153	PNSY-03-3	2	2520	488	429	462	478	2520	448	411	445	457
154	PNSY-04-3	2	2520	462	422	458	470	2520	449	411	447	455
155	PNSY-05-3	2	2520	464	422	458	466	2520	463	423	423	467
156	PNSY-06-3	2	2520	486	441	475	487	2520	471	432	471	479
157	PNSY-07-3	2	2520	465	426	462	470	2520	472	426	461	470
158	PNSY-08-3	2	2520	471	427	461	471	2520	454	416	451	457
159	PNSY-09-3	2	2520	488	438	467	480	2520	453	404	439	450
160	PNSY-10-3	2	2520	468	424	458	472	2520	469	426	458	476
161	PNSY-11-3	2	2520	463	418	452	460	2520	478	415	448	463
162	PNSY-12-3	2	2520	593	531	573	576	2520	571	530	570	566
163	PNSY-13-3	2	2520	447	402	435	443	2520	437	395	426	443
164	PNSY-14-3	2	2520	494	452	488	500	2520	501	450	488	502
165	PNSY-15-3	2	2520	557	490	531	515	2520	519	503	523	523
166	PNSY-16-3	2	2520	496	442	477	489	2520	488	415	448	468
167	PNSY-17-3	2	2520	503	441	476	487	2520	520	463	499	512
168	PNSY-18-3	2	2520	487	438	471	478	2520	448	412	443	461
169	PNSY-19-3	2	2520	509	434	466	480	2520	505	424	439	452
170	PNSY-20-3	2	2520	517	456	481	481	2520	522	468	505	492
171	PNSY-21-3	2	2520	499	448	477	485	2520	510	467	496	503
172	PNSY-22-3	2	2520	469	430	466	470	2520	462	421	455	467
173	PNSY-23-3	2	2520	503	447	471	485	2520	490	442	453	463
174	PNSY-24-3	2	2520	474	431	467	476	2520	488	449	485	492
175	PNSY-25-3	2	2520	439	402	434	440	2520	435	398	430	438
176	PNSY-26-3	2	2520	543	498	532	535	2520	537	493	520	533
177	PNSY-27-3	2	2520	469	430	466	470	2520	462	418	450	456
178	PNSY-28-3	2	2520	460	418	448	460	2520	460	422	457	463
179	PNSY-29-3	2	2520	489	453	469	480	2520	487	442	474	484
180	PNSY-30-3	2	2520	511	484	499	492	2520	491	458	445	474
181	PNSY-01-2	2	1514	293	265	286	290	1514	278	256	276	286
182	PNSY-02-2	2	1514	287	265	284	292	1514	277	240	277	282
183	PNSY-03-2	2	1512	288	263	284	288	1512	267	246	266	271
184	PNSY-04-2	2	1513	284	257	278	283	1513	267	248	269	271
185	PNSY-05-2	2	1512	275	256	277	279	1512	274	252	273	274
186	PNSY-06-2	2	1509	301	268	291	288	1509	275	255	277	283
187	PNSY-07-2	2	1514	288	259	282	282	1514	298	253	275	284
188	PNSY-08-2	2	1512	294	262	284	284	1512	271	247	271	272
189	PNSY-09-2	2	1515	306	267	287	291	1515	264	242	264	266
190	PNSY-10-2	2	1511	286	256	279	276	1511	285	257	283	284
191	PNSY-11-2	2	1514	285	254	277	277	1514	276	252	270	278
192	PNSY-12-2	2	1513	370	321	359	344	1513	362	302	356	329
193	PNSY-13-2	2	1514	270	243	264	263	1514	263	231	251	260
194	PNSY-14-2	2	1513	298	273	301	300	1513	291	267	291	296
195	PNSY-15-2	2	1514	328	289	313	320	1514	315	283	304	312
196	PNSY-16-2	2	1513	294	269	293	293	1513	275	250	273	281
197	PNSY-17-2	2	1511	309	268	293	293	1511	314	287	314	313
198	PNSY-18-2	2	1513	298	268	290	292	1513	307	245	266	272
199	PNSY-19-2	2	1515	321	248	270	272	1515	261	239	261	260
200	PNSY-20-2	2	1510	312	257	280	281	1510	300	274	273	286
201	PNSY-21-2	2	1514	305	262	287	285	1514	297	273	295	293
202	PNSY-22-2	2	1514	289	267	287	283	1514	277	251	272	278
203	PNSY-23-2	2	1514	297	253	275	273	1514	270	247	269	268
204	PNSY-24-2	2	1510	289	264	286	285	1510	287	256	274	281
205	PNSY-25-2	2	1513	263	240	261	262	1513	256	239	261	260
206	PNSY-26-2	2	1514	313	288	312	312	1514	326	282	305	313
207	PNSY-27-2	2	1513	282	258	281	283	1513	274	247	270	275
208	PNSY-28-2	2	1510	269	244	265	269	1510	276	251	276	280
209	PNSY-29-2	2	1512	297	271	291	293	1512	271	247	269	270
210	PNSY-30-2	2	1512	294	278	282	291	1512	273	242	265	270

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusI	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TCTIsyl	TCTIusI	TCTIbpv	TCTImst
211	PNSY-01-1	2	520	90	82	93	90	520	90	81	93	88
212	PNSY-02-1	2	520	95	85	96	94	520	89	80	91	85
213	PNSY-03-1	2	520	97	87	98	95	520	88	78	88	80
214	PNSY-04-1	2	520	91	83	93	90	520	84	77	88	84
215	PNSY-05-1	2	520	89	82	93	91	520	82	78	88	86
216	PNSY-06-1	2	520	97	90	99	92	520	86	81	91	84
217	PNSY-07-1	2	520	91	82	93	90	520	90	80	91	89
218	PNSY-08-1	2	520	95	95	97	86	520	86	79	89	83
219	PNSY-09-1	2	520	101	90	100	92	520	83	76	86	80
220	PNSY-10-1	2	520	94	84	95	93	520	95	86	97	98
221	PNSY-11-1	2	520	90	81	92	88	520	87	78	89	91
222	PNSY-12-1	2	520	125	109	120	114	520	111	99	111	113
223	PNSY-13-1	2	520	85	78	88	86	520	81	73	83	85
224	PNSY-14-1	2	520	98	87	98	100	520	91	83	93	96
225	PNSY-15-1	2	520	105	94	105	102	520	100	90	101	97
226	PNSY-16-1	2	520	91	81	91	89	520	89	77	87	90
227	PNSY-17-1	2	520	97	83	94	92	520	102	91	101	100
228	PNSY-18-1	2	520	98	90	100	96	520	84	77	87	90
229	PNSY-19-1	2	520	87	80	90	86	520	89	78	90	86
230	PNSY-20-1	2	520	92	80	90	87	520	91	84	95	84
231	PNSY-21-1	2	520	98	86	97	89	520	103	93	104	90
232	PNSY-22-1	2	520	99	88	98	92	520	88	82	92	91
233	PNSY-23-1	2	520	100	82	92	82	520	90	78	88	81
234	PNSY-24-1	2	520	104	90	99	92	520	96	87	96	88
235	PNSY-25-1	2	520	89	77	88	84	520	86	77	87	86
236	PNSY-26-1	2	520	106	94	106	103	520	99	91	101	100
237	PNSY-27-1	2	520	97	88	97	94	520	87	80	88	90
238	PNSY-28-1	2	520	88	80	89	84	520	90	82	91	91
239	PNSY-29-1	2	520	100	92	100	96	520	88	81	90	92
240	PNSY-30-1	2	520	100	89	97	96	520	84	78	87	89
241	PNNL-01-4	3	3558	723	683		690	3558	715	678		677
242	PNNL-02-4	3	3548	724	669		696	3548	706	652		683
243	PNNL-03-4	3	3540	724	683		698	3540	718	682		685
244	PNNL-04-4	3	3537	695	649		671	3537	720	609		650
245	PNNL-05-4	3	3538	760	680		712	3538	759	678		689
246	PNNL-06-4	3	3545	757	686		717	3545	769	683		702
247	PNNL-07-4	3	3554	697	626		664	3554	691	612		660
248	PNNL-08-4	3	3560	667	596		631	3560	660	582		606
249	PNNL-09-4	3	3550	860	776		798	3550	869	786		809
250	PNNL-10-4	3	3560	779	709		722	3560	778	687		698
251	PNNL-11-4	3	3556	740	666		694	3556	729	622		667
252	PNNL-12-4	3	3556	685	628		663	3556	696	617		647
253	PNNL-13-4	3	3550	716	631		672	3550	700	634		661
254	PNNL-14-4	3	3524	701	659		695	3524	705	653		690
255	PNNL-15-4	3	3546	756	675		725	3546	754	667		713
256	PNNL-16-4	3	3544	699	640		672	3544	694	634		680
257	PNNL-17-4	3	3541	735	667		705	3541	720	666		713
258	PNNL-18-4	3	3530	664	616		651	3530	670	615		646
259	PNNL-19-4	3	3547	767	701		736	3547	748	699		732
260	PNNL-20-4	3	3550	651	602		646	3550	637	570		626
261	PNNL-21-4	3	3526	762	701		738	3526	733	682		721
262	PNNL-22-4	3	3543	782	714		739	3543	755	711		714
263	PNNL-23-4	3	3555	814	773		785	3555	849	775		790
264	PNNL-24-4	3	3530	713	636		669	3530	693	632		679
265	PNNL-25-4	3	3530	711	660		682	3530	705	657		686
266	PNNL-26-4	3	3550	708	630		667	3550	684	629		668
267	PNNL-27-4	3	3534	740	668		687	3534	749	682		703
268	PNNL-28-4	3	3544	719	640		677	3544	678	639		683
269	PNNL-29-4	3	3550	698	616		654	3550	672	624		656
270	PNNL-30-4	3	3560	704	645		672	3560	715	650		666
271	PNNL-01-3	3	2520	509	468		482	2520	480	448		454
272	PNNL-02-3	3	2520	496	453		482	2520	478	432		472
273	PNNL-03-3	3	2520	539	472		501	2520	489	425		462
274	PNNL-04-3	3	2520	493	446		467	2520	469	430		453
275	PNNL-05-3	3	2520	506	464		473	2520	503	459		466
276	PNNL-06-3	3	2520	524	471		488	2520	507	470		475
277	PNNL-07-3	3	2520	481	439		458	2520	469	427		464
278	PNNL-08-3	3	2520	457	420		428	2520	422	387		414
279	PNNL-09-3	3	2520	589	547		553	2520	564	530		551
280	PNNL-10-3	3	2520	526	479		494	2520	509	481		478
281	PNNL-11-3	3	2520	503	453		470	2520	449	420		451
282	PNNL-12-3	3	2520	483	434		450	2520	494	404		433

ANEXO B. TABLAS RESUMEN DE RESULTADOS

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusi	TCrIbpv	TCrImst	LCtl	TCtlIsyl	TCtlIusi	TCtlIbpv	TCtlImst
283	PNNL-13-3	3	2520	497	433		456	2520	500	451		451
284	PNNL-14-3	3	2520	509	452		475	2520	505	440		466
285	PNNL-15-3	3	2520	527	466		499	2520	539	480		503
286	PNNL-16-3	3	2520	488	428		458	2520	485	445		460
287	PNNL-17-3	3	2520	514	462		479	2520	509	454		478
288	PNNL-18-3	3	2520	484	428		439	2520	484	418		436
289	PNNL-19-3	3	2520	545	480		501	2520	547	486		505
290	PNNL-20-3	3	2520	473	424		444	2520	475	402		428
291	PNNL-21-3	3	2520	536	480		515	2520	549	485		509
292	PNNL-22-3	3	2520	560	490		491	2520	564	460		480
293	PNNL-23-3	3	2520	594	529		535	2520	594	519		537
294	PNNL-24-3	3	2520	503	441		459	2520	500	454		463
295	PNNL-25-3	3	2520	503	443		465	2520	485	446		465
296	PNNL-26-3	3	2520	477	425		458	2520	471	431		461
297	PNNL-27-3	3	2520	489	444		471	2520	497	453		488
298	PNNL-28-3	3	2520	490	445		472	2520	475	426		461
299	PNNL-29-3	3	2520	471	423		454	2520	466	418		447
300	PNNL-30-3	3	2520	483	445		465	2520	480	433		454
301	PNNL-01-2	3	1516	286	259		262	1516	274	251		258
302	PNNL-02-2	3	1514	284	261		268	1514	278	255		268
303	PNNL-03-2	3	1516	299	275		283	1516	277	253		274
304	PNNL-04-2	3	1517	301	270		283	1517	275	253		268
305	PNNL-05-2	3	1518	315	276		291	1518	267	246		263
306	PNNL-06-2	3	1518	308	270		280	1518	286	265		278
307	PNNL-07-2	3	1518	286	259		262	1518	272	249		263
308	PNNL-08-2	3	1517	262	241		247	1517	247	228		243
309	PNNL-09-2	3	1516	333	305		324	1516	307	280		305
310	PNNL-10-2	3	1512	300	270		275	1512	286	260		276
311	PNNL-11-2	3	1518	300	268		280	1518	272	250		270
312	PNNL-12-2	3	1516	292	260		274	1516	260	238		263
313	PNNL-13-2	3	1515	287	262		275	1515	304	246		271
314	PNNL-14-2	3	1516	296	269		288	1516	277	249		283
315	PNNL-15-2	3	1516	307	281		301	1516	283	260		278
316	PNNL-16-2	3	1516	278	253		269	1516	278	252		277
317	PNNL-17-2	3	1517	296	267		288	1517	299	252		283
318	PNNL-18-2	3	1515	275	245		259	1515	258	237		260
319	PNNL-19-2	3	1515	322	280		295	1515	313	290		310
320	PNNL-20-2	3	1515	285	258		267	1515	258	237		254
321	PNNL-21-2	3	1518	326	297		314	1518	298	272		294
322	PNNL-22-2	3	1518	300	271		290	1518	274	249		265
323	PNNL-23-2	3	1516	319	290		296	1516	301	274		298
324	PNNL-24-2	3	1515	311	255		266	1515	325	268		282
325	PNNL-25-2	3	1515	274	252		273	1515	278	253		270
326	PNNL-26-2	3	1516	277	251		265	1516	275	248		268
327	PNNL-27-2	3	1515	299	270		285	1515	298	267		293
328	PNNL-28-2	3	1517	298	269		277	1517	278	253		282
329	PNNL-29-2	3	1516	275	252		271	1516	274	250		272
330	PNNL-30-2	3	1517	298	269		287	1517	273	246		278
331	PNNL-01-1	3	520	97	86		79	520	86	79		78
332	PNNL-02-1	3	520	86	80		80	520	85	79		76
333	PNNL-03-1	3	520	114	103		100	520	85	77		78
334	PNNL-04-1	3	520	105	95		92	520	88	79		78
335	PNNL-05-1	3	520	108	93		90	520	90	81		80
336	PNNL-06-1	3	520	90	82		80	520	88	81		74
337	PNNL-07-1	3	520	101	89		89	520	86	79		76
338	PNNL-08-1	3	520	89	79		76	520	78	71		73
339	PNNL-09-1	3	520	114	104		104	520	95	86		90
340	PNNL-10-1	3	520	92	83		81	520	90	80		84
341	PNNL-11-1	3	520	100	90		90	520	82	75		80
342	PNNL-12-1	3	520	94	85		80	520	83	76		85
343	PNNL-13-1	3	520	98	87		92	520	90	81		82
344	PNNL-14-1	3	520	99	90		87	520	90	81		83
345	PNNL-15-1	3	520	101	91		93	520	94	85		85
346	PNNL-16-1	3	520	89	79		77	520	87	78		84
347	PNNL-17-1	3	520	97	86		87	520	82	74		74
348	PNNL-18-1	3	520	88	78		73	520	82	75		77
349	PNNL-19-1	3	520	98	89		84	520	93	84		88
350	PNNL-20-1	3	520	97	88		82	520	79	73		76
351	PNNL-21-1	3	520	111	102		102	520	95	89		84
352	PNNL-22-1	3	520	91	83		81	520	85	78		73
353	PNNL-23-1	3	520	91	82		82	520	94	86		78
354	PNNL-24-1	3	520	91	82		78	520	86	80		79

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusi	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TcItIsyl	TcItIusi	TcItIbpv	TcItImst
355	PNNL-25-1	3	520	86	79		84	520	86	80		83
356	PNNL-26-1	3	520	91	81		80	520	85	78		78
357	PNNL-27-1	3	520	99	88		86	520	91	84		84
358	PNNL-28-1	3	520	104	95		88	520	89	81		83
359	PNNL-29-1	3	520	90	83		76	520	86	78		76
360	PNNL-30-1	3	520	102	91		83	520	85	77		78
361	PNPN-01-4	4	3509	926	879		899	3509	910	874		884
362	PNPN-02-4	4	3508	817	755		793	3508	811	755		791
363	PNPN-03-4	4	3518	879	821		848	3518	863	810		829
364	PNPN-04-4	4	3540	786	739		743	3540	781	739		757
365	PNPN-05-4	4	3513	712	656		686	3513	707	660		698
366	PNPN-06-4	4	3522	733	688		704	3522	727	683		690
367	PNPN-07-4	4	3517	857	787		780	3517	800	760		767
368	PNPN-08-4	4	3515	699	650		678	3515	711	657		682
369	PNPN-09-4	4	3524	840	791		794	3524	846	784		814
370	PNPN-10-4	4	3519	944	881		903	3519	945	891		896
371	PNPN-11-4	4	3525	878	825		846	3525	873	819		835
372	PNPN-12-4	4	3514	723	678		690	3514	719	660		695
373	PNPN-13-4	4	3503	953	867		865	3503	913	852		863
374	PNPN-14-4	4	3513	745	690		708	3513	738	695		718
375	PNPN-15-4	4	3513	814	737		762	3513	781	726		734
376	PNPN-16-4	4	3509	910	827		848	3509	894	821		861
377	PNPN-17-4	4	3522	771	693		740	3522	770	713		751
378	PNPN-18-4	4	3517	969	892		902	3517	941	871		894
379	PNPN-19-4	4	3508	894	826		848	3508	909	837		864
380	PNPN-20-4	4	3520	722	665		699	3520	722	658		680
381	PNPN-21-4	4	3517	786	739		734	3517	794	735		750
382	PNPN-22-4	4	3511	937	873		868	3511	916	858		865
383	PNPN-23-4	4	3514	864	817		795	3514	868	825		808
384	PNPN-24-4	4	3518	744	688		696	3518	732	682		690
385	PNPN-25-4	4	3515	882	824		852	3515	868	820		834
386	PNPN-26-4	4	3512	886	825		847	3512	878	808		838
387	PNPN-27-4	4	3527	870	811		847	3527	882	826		851
388	PNPN-28-4	4	3515	757	712		728	3515	741	702		716
389	PNPN-29-4	4	3514	728	670		708	3514	720	670		706
390	PNPN-30-4	4	3509	774	722		749	3509	781	725		763
391	PNPN-01-3	4	2520	663	623		641	2520	665	622		654
392	PNPN-02-3	4	2520	560	521		546	2520	555	508		551
393	PNPN-03-3	4	2520	607	564		590	2520	607	571		592
394	PNPN-04-3	4	2520	541	492		512	2520	538	501		526
395	PNPN-05-3	4	2520	502	461		482	2520	508	462		498
396	PNPN-06-3	4	2520	527	470		500	2520	501	450		481
397	PNPN-07-3	4	2520	570	533		538	2520	561	516		538
398	PNPN-08-3	4	2520	507	452		484	2520	505	455		492
399	PNPN-09-3	4	2520	599	564		570	2520	591	542		570
400	PNPN-10-3	4	2520	647	605		632	2520	644	604		630
401	PNPN-11-3	4	2520	604	565		578	2520	595	561		581
402	PNPN-12-3	4	2520	507	469		488	2520	514	469		501
403	PNPN-13-3	4	2520	630	589		603	2520	650	610		622
404	PNPN-14-3	4	2520	513	469		500	2520	522	478		517
405	PNPN-15-3	4	2520	551	510		529	2520	541	512		530
406	PNPN-16-3	4	2520	633	584		612	2520	638	588		612
407	PNPN-17-3	4	2520	528	482		514	2520	539	490		526
408	PNPN-18-3	4	2520	655	611		626	2520	658	620		631
409	PNPN-19-3	4	2520	624	576		591	2520	621	571		599
410	PNPN-20-3	4	2520	506	459		493	2520	504	455		496
411	PNPN-21-3	4	2520	567	507		532	2520	556	517		546
412	PNPN-22-3	4	2520	658	617		627	2520	633	601		612
413	PNPN-23-3	4	2520	562	526		534	2520	559	503		512
414	PNPN-24-3	4	2520	503	444		488	2520	486	465		485
415	PNPN-25-3	4	2520	614	575		594	2520	609	572		589
416	PNPN-26-3	4	2520	557	523		545	2520	567	538		550
417	PNPN-27-3	4	2520	580	536		573	2520	592	555		580
418	PNPN-28-3	4	2520	523	483		512	2520	529	499		524
419	PNPN-29-3	4	2520	503	455		500	2520	514	475		510
420	PNPN-30-3	4	2520	534	492		524	2520	540	501		527
421	PNPN-01-2	4	1507	381	352		359	1507	363	343		349
422	PNPN-02-2	4	1513	340	302		331	1513	332	307		329
423	PNPN-03-2	4	1508	375	333		360	1508	354	330		342
424	PNPN-04-2	4	1511	298	271		300	1511	324	296		320
425	PNPN-05-2	4	1516	287	262		282	1516	296	264		284
426	PNPN-06-2	4	1513	301	274		300	1513	288	263		287

N	Probeta	E	LCrI	TCrIsyl	TCrIusi	TCrIbpv	TCrImst	LCtI	TCtIsyl	TCtIusi	TCtIbpv	TCtImst
427	PNPN-07-2	4	1510	323	290		317	1510	327	294		323
428	PNPN-08-2	4	1514	293	268		294	1514	294	267		298
429	PNPN-09-2	4	1514	354	318		335	1514	339	303		335
430	PNPN-10-2	4	1516	382	344		376	1516	393	354		383
431	PNPN-11-2	4	1509	352	319		342	1509	368	333		362
432	PNPN-12-2	4	1508	305	271		293	1508	307	282		311
433	PNPN-13-2	4	1508	365	333		357	1508	368	341		356
434	PNPN-14-2	4	1513	305	277		302	1513	319	287		318
435	PNPN-15-2	4	1514	330	298		326	1514	313	284		322
436	PNPN-16-2	4	1513	375	340		367	1513	379	345		376
437	PNPN-17-2	4	1511	329	298		321	1511	322	292		328
438	PNPN-18-2	4	1513	369	334		372	1513	366	340		367
439	PNPN-19-2	4	1513	351	319		352	1513	368	333		373
440	PNPN-20-2	4	1515	301	277		301	1515	295	271		301
441	PNPN-21-2	4	1513	308	281		309	1513	321	293		324
442	PNPN-22-2	4	1510	390	360		374	1510	375	342		379
443	PNPN-23-2	4	1515	322	290		316	1515	299	269		298
444	PNPN-24-2	4	1513	288	264		283	1513	287	260		284
445	PNPN-25-2	4	1512	362	333		347	1512	344	313		346
446	PNPN-26-2	4	1509	295	274		290	1509	322	301		301
447	PNPN-27-2	4	1514	330	303		322	1514	336	310		332
448	PNPN-28-2	4	1511	311	278		294	1511	310	284		306
449	PNPN-29-2	4	1511	298	271		290	1511	300	272		293
450	PNPN-30-2	4	1507	315	282		298	1507	310	281		306
451	PNPN-01-1	4	519	121	110		107	519	112	101		103
452	PNPN-02-1	4	519	105	96		92	519	102	93		96
453	PNPN-03-1	4	520	124	112		111	520	101	92		92
454	PNPN-04-1	4	520	98	89		92	520	111	102		100
455	PNPN-05-1	4	520	90	84		85	520	90	83		83
456	PNPN-06-1	4	520	96	88		88	520	93	85		87
457	PNPN-07-1	4	520	104	94		96	520	105	96		100
458	PNPN-08-1	4	520	98	90		94	520	99	91		94
459	PNPN-09-1	4	521	121	109		114	521	102	91		103
460	PNPN-10-1	4	520	132	120		120	520	127	115		126
461	PNPN-11-1	4	520	112	102		99	520	121	110		110
462	PNPN-12-1	4	520	91	85		85	520	100	92		96
463	PNPN-13-1	4	521	123	105		109	521	113	103		116
464	PNPN-14-1	4	521	99	91		89	521	110	98		107
465	PNPN-15-1	4	520	105	95		96	520	99	90		95
466	PNPN-16-1	4	520	120	107		104	520	116	106		109
467	PNPN-17-1	4	521	109	101		103	521	104	95		104
468	PNPN-18-1	4	519	116	105		110	519	99	89		95
469	PNPN-19-1	4	523	124	112		115	523	122	108		121
470	PNPN-20-1	4	521	101	92		93	521	95	88		90
471	PNPN-21-1	4	522	101	90		91	522	106	95		91
472	PNPN-22-1	4	520	130	115		113	520	121	108		116
473	PNPN-23-1	4	522	113	101		100	522	95	87		85
474	PNPN-24-1	4	521	91	85		83	521	89	83		84
475	PNPN-25-1	4	515	117	106		107	515	112	101		103
476	PNPN-26-1	4	522	92	84		87	522	90	82		88
477	PNPN-27-1	4	523	109	98		107	523	111	98		98
478	PNPN-28-1	4	522	101	92		100	522	99	88		95
479	PNPN-29-1	4	522	98	90		92	522	95	87		95
480	PNPN-30-1	4	522	99	89		94	522	100	91		96

B.4.5 Resultados de ensayos físico-mecánicos

N	Probeta	E	Long	PCTO	Eglo	PEL	Eloc
31	PNRD-01-3	1	2990	1,050	10549	0,087	11499
32	PNRD-02-3	1	2991	0,948	11510	0,084	11756
33	PNRD-03-3	1	2994	0,747	15059	0,059	17362
34	PNRD-04-3	1	2992	0,993	10986	0,082	12037
35	PNRD-05-3	1	2993	1,176	9234	0,113	8701
36	PNRD-06-3	1	2994	1,020	10639	0,086	11407
37	PNRD-07-3	1	2991	1,024	11273	0,084	12525
38	PNRD-08-3	1	2992	1,270	8419	0,104	9279
39	PNRD-09-3	1	2995	1,055	10234	0,083	11794
40	PNRD-10-3	1	2997	0,789	14105	0,061	16541
41	PNRD-11-3	1	2995	1,027	12427	0,081	14275
42	PNRD-12-3	1	2994	1,031	11132	0,097	10759
43	PNRD-13-3	1	2994	1,217	8972	0,110	8968
44	PNRD-14-3	1	2993	0,965	11424	0,081	12266
45	PNRD-15-3	1	2995	0,882	12487	0,071	13958
46	PNRD-16-3	1	2990	0,968	11269	0,080	12378
47	PNRD-17-3	1	2996	1,122	9927	0,092	11004
48	PNRD-18-3	1	2994	0,886	12495	0,080	12549
49	PNRD-19-3	1	2991	1,271	8467	0,105	9280
50	PNRD-20-3	1	2994	1,008	10555	0,079	12127
51	PNRD-21-3	1	2992	1,096	9848	0,082	11927
52	PNRD-22-3	1	2994	0,899	13616	0,072	15336
53	PNRD-23-3	1	2996	1,016	10482	0,083	11602
54	PNRD-24-3	1	2997	0,900	12584	0,071	14535
55	PNRD-25-3	1	2996	1,114	9939	0,083	12055
56	PNRD-26-3	1	2994	1,233	9173	0,095	10739
57	PNRD-27-3	1	2995	1,510	7235	0,138	7190
58	PNRD-28-3	1	2990	1,151	9428	0,091	10826
59	PNRD-29-3	1	2994	1,236	8780	0,102	9610
60	PNRD-30-3	1	2991	1,150	10133	0,093	11320
151	PNSY-01-3	2	2994	1,201	11806	0,098	13105
152	PNSY-02-3	2	2992	1,330	10721	0,112	11531
153	PNSY-03-3	2	2995	1,374	10490	0,115	11353
154	PNSY-04-3	2	2992	1,219	11697	0,102	12724
155	PNSY-05-3	2	2993	1,255	11737	0,102	13145
156	PNSY-06-3	2	2992	1,330	10955	0,106	12510
157	PNSY-07-3	2	2993	1,215	11863	0,101	12926
158	PNSY-08-3	2	2991	1,178	12167	0,099	13114
159	PNSY-09-3	2	2994	1,096	13151	0,090	14506
160	PNSY-10-3	2	2990	1,139	13149	0,092	14745
161	PNSY-11-3	2	2991	1,045	13716	0,085	15274
162	PNSY-12-3	2	2992	1,443	9988	0,137	9565
163	PNSY-13-3	2	2993	1,004	14432	0,084	15624
164	PNSY-14-3	2	2993	1,350	10562	0,113	11429
165	PNSY-15-3	2	2992	1,420	10432	0,113	11874
166	PNSY-16-3	2	2986	1,292	11341	0,113	11798
167	PNSY-17-3	2	2992	1,466	9995	0,120	11107
168	PNSY-18-3	2	2993	1,118	13106	0,094	14120
169	PNSY-19-3	2	2992	1,266	11385	0,107	12202
170	PNSY-20-3	2	2990	1,151	12798	0,095	14119
171	PNSY-21-3	2	2988	1,323	10834	0,099	13114
172	PNSY-22-3	2	2995	1,277	11287	0,110	11869
173	PNSY-23-3	2	2989	1,268	11427	0,107	12323
174	PNSY-24-3	2	2994	1,108	13225	0,089	14997
175	PNSY-25-3	2	2993	0,951	15659	0,078	17294
176	PNSY-26-3	2	2992	1,464	10009	0,127	10492
177	PNSY-27-3	2	2994	1,331	10713	0,111	11635
178	PNSY-28-3	2	2995	1,168	12405	0,097	13530
179	PNSY-29-3	2	2994	1,242	11545	0,103	12610
180	PNSY-30-3	2	2997	1,328	10682	0,116	11077
271	PNNL-01-3	3	2996	1,288	11197	0,088	14821
272	PNNL-02-3	3	2994	1,417	10285	0,106	12462
273	PNNL-03-3	3	2995	1,311	11369	0,115	11757
274	PNNL-04-3	3	2995	1,407	10473	0,113	11779
275	PNNL-05-3	3	2993	1,428	10153	0,118	11089
276	PNNL-06-3	3	2998	1,393	10295	0,115	11258

N	Probeta	E	Long	PCTO	Eglo	PEL	Eloc
277	PNNL-07-3	3	2995	0,862	17087	0,071	18740
278	PNNL-08-3	3	2997	0,815	18176	0,064	20878
279	PNNL-09-3	3	2994	1,961	7234	0,160	8014
280	PNNL-10-3	3	2995	1,307	11153	0,105	12624
281	PNNL-11-3	3	2998	1,205	12503	0,089	15410
282	PNNL-12-3	3	2995	1,069	13945	0,089	15094
283	PNNL-13-3	3	2996	1,118	13116	0,099	13468
284	PNNL-14-3	3	2997	1,288	11318	0,102	12960
285	PNNL-15-3	3	2995	1,596	9234	0,128	10412
286	PNNL-16-3	3	2996	1,075	13704	0,088	15176
287	PNNL-17-3	3	2996	1,319	11114	0,119	11181
288	PNNL-18-3	3	2996	0,978	15070	0,093	14330
289	PNNL-19-3	3	2995	1,317	11314	0,100	13436
290	PNNL-20-3	3	2996	0,856	17502	0,069	19731
291	PNNL-21-3	3	2998	1,798	8107	0,145	9081
292	PNNL-22-3	3	3000	1,555	9531	0,129	10401
293	PNNL-23-3	3	2997	1,656	8853	0,129	10284
294	PNNL-24-3	3	2996	1,391	10774	0,116	11708
295	PNNL-25-3	3	2995	1,325	11311	0,108	12600
296	PNNL-26-3	3	2996	1,152	12722	0,095	13972
297	PNNL-27-3	3	2993	1,299	11345	0,107	12448
298	PNNL-28-3	3	2995	1,171	12450	0,101	13092
299	PNNL-29-3	3	2995	1,200	12150	0,106	12495
300	PNNL-30-3	3	2993	1,143	12607	0,089	14677
391	PNPN-01-3	4	2991	2,367	6366	0,221	6168
392	PNPN-02-3	4	2990	1,767	8249	0,153	8628
393	PNPN-03-3	4	2995	2,500	5926	0,202	6644
394	PNPN-04-3	4	2990	1,609	9210	0,147	9140
395	PNPN-05-3	4	2996	1,517	9765	0,127	10593
396	PNPN-06-3	4	2994	1,578	9341	0,118	11326
397	PNPN-07-3	4	2987	1,825	8538	0,153	9208
398	PNPN-08-3	4	2994	1,418	10569	0,119	11363
399	PNPN-09-3	4	2996	1,578	9184	0,145	9032
400	PNPN-10-3	4	2993	2,343	6325	0,229	5873
401	PNPN-11-3	4	2995	1,416	10181	0,123	10613
402	PNPN-12-3	4	2991	1,555	9911	0,122	11407
403	PNPN-13-3	4	2995	2,350	6413	0,190	7189
404	PNPN-14-3	4	2991	1,534	9828	0,153	8918
405	PNPN-15-3	4	2992	1,451	10390	0,122	11236
406	PNPN-16-3	4	2993	2,124	7217	0,180	7727
407	PNPN-17-3	4	2989	1,786	8203	0,162	8188
408	PNPN-18-3	4	2990	2,903	5048	0,207	6410
409	PNPN-19-3	4	2991	1,926	7567	0,160	8270
410	PNPN-20-3	4	2995	1,518	9447	0,116	11190
411	PNPN-21-3	4	2993	1,901	8015	0,151	9119
412	PNPN-22-3	4	2994	2,640	5898	0,187	7548
413	PNPN-23-3	4	2996	1,753	8640	0,154	8930
414	PNPN-24-3	4	2991	1,561	9440	0,129	10328
415	PNPN-25-3	4	2996	2,163	6928	0,156	8717
416	PNPN-26-3	4	2987	1,718	8675	0,133	10162
417	PNPN-27-3	4	2990	1,753	8316	0,133	9909
418	PNPN-28-3	4	2992	1,377	10705	0,102	13024
419	PNPN-29-3	4	2994	1,352	11212	0,116	11883
420	PNPN-30-3	4	2988	1,477	10501	0,128	10981

ANEXO C. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE NORMALIDAD

La tabla C.1 muestra los valores del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las variables de velocidad y densidad utilizadas en el estudio de influencia del contenido de humedad de la madera en las técnicas no destructivas globales. Las figuras C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 y C.6 muestran algunos histogramas de frecuencias.

Tabla C.1 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (globales)

Especie	Nº	CH (%)	P-valor (Kolmogorov-Smirnov)						
			Vel Syl	Vel USL	Vel BPV	Vel MST	Vel PLG	Vel MTG	Dens glo
Pino radiata	1	52,7	0,68	0,67	-	0,92	0,55	0,78	0,48
	2	29,2	0,99	0,99	-	0,89	0,83	0,87	0,90
	3	21,3	0,88	0,75	-	0,50	0,97	0,94	0,84
	4	17,7	0,83	0,71	-	0,39	0,88	0,90	0,71
	5	14,8	0,52	0,49	-	0,41	0,94	0,98	0,88
	6	13,6	0,38	0,24	-	0,66	0,96	0,96	0,82
	7	11,6	0,26	0,36	-	0,49	0,91	0,88	0,87
	8	10,1	0,22	0,12	-	0,68	0,90	0,97	0,82
	9	9,1	0,09	0,18	-	0,57	0,98	0,89	0,94
	10	8,9	0,14	0,18	-	0,63	0,97	0,96	0,92
Pino silvestre	1	32,6	0,76	0,92	0,72	0,62	0,44	0,43	0,25
	2	23,5	0,91	0,68	0,66	0,78	0,54	0,79	0,98
	3	18,3	0,93	0,88	0,63	0,73	0,65	0,52	0,92
	4	15,2	0,91	0,89	0,89	0,88	0,63	0,62	0,56
	5	13,4	0,90	0,98	0,73	0,85	0,76	0,60	0,84
	6	12,2	0,82	0,97	0,94	0,86	0,73	0,62	0,46
	7	10,6	0,74	0,95	0,93	0,73	0,70	0,63	0,44
Pino laricio	1	62,6	0,99	0,98	-	0,99	0,94	0,95	0,98
	2	57,1	0,98	0,98	-	0,99	0,94	0,82	0,96
	3	45,2	0,99	0,98	-	0,99	0,95	0,90	0,89
	4	36,6	0,95	0,71	-	0,99	0,81	0,66	0,56
	5	26,8	0,94	0,65	-	0,89	0,64	0,88	0,88
	6	21,3	0,80	0,58	-	0,78	0,70	0,70	0,94
	7	16,4	0,88	0,82	-	0,76	0,77	0,81	0,93
	8	13,9	0,79	0,70	-	0,65	0,63	0,69	0,63
	9	12,6	0,80	0,65	-	0,93	0,58	0,40	0,55
	10	10,7	0,96	0,90	-	0,96	0,51	0,39	0,42
	11	10,5	0,91	0,89	-	0,95	0,52	0,59	0,57
	12	9,7	0,82	0,85	-	0,96	0,43	0,32	0,37
Pino pinaster	1	40,3	0,98	0,98	-	0,99	0,83	0,93	0,45
	2	24,8	0,65	0,78	-	0,81	0,55	0,63	0,43
	3	21,2	0,74	0,71	-	0,98	0,58	0,51	0,62
	4	18,4	0,97	0,96	-	0,89	0,50	0,53	0,80
	5	16,4	0,94	0,90	-	0,73	0,59	0,56	0,87
	6	14,3	0,85	0,81	-	0,99	0,62	0,52	0,82
	7	12,9	0,80	0,81	-	0,95	0,62	0,52	0,74
	8	11,5	0,83	0,72	-	0,96	0,49	0,38	0,64
	9	10,7	0,72	0,77	-	0,84	0,44	0,28	0,77
	10	9,3	0,83	0,73	-	0,72	0,33	0,37	0,85
	11	9,2	0,73	0,73	-	-	0,36	0,30	0,88

Figura C.1 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de Sylvatest para la especie pino pinaster y CH 40,3%

Figura C.2 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de USLab para la especie pino radiata y CH 29,2 %

Figura C.3 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de Steinkamp BPV para la especie pino silvestre y CH 10,6%

Figura C.4 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de MicroSecond Timer para la especie pino laricio y CH 62,6%

Figura C.5 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de PLG para la especie pino radiata y CH 9,0%

Figura C.6 Histograma de frecuencias de la variable densidad global para la especie pino laricio y CH 21,3%

La tabla C.2 muestra los valores del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las variables profundidad de penetración, fuerza de arranque de tornillo y densidad puntual, utilizadas en el estudio de influencia del contenido de humedad de la madera en las técnicas no destructivas puntuales. Las figuras C.7, C.8, C.9 y C.10 muestran un histograma de frecuencias para cada especie.

Tabla C.2 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (puntuales)

Especie	Nº	CH (%)	P-valor (Kolmogorov-Smirnov)		
			Prof. penetración	Fuerza arranque	Den pun
Pino radiata	1	57,8	0,72	0,84	0,73
	2	31,6	0,18	0,56	0,58
	3	20,2	0,66	0,55	0,98
	4	16,4	0,69	0,56	0,92
	5	12,4	0,18	0,53	0,97
	6	10,9	0,24	0,94	0,99
	7	8,9	0,46	0,79	0,97
Pino silvestre	1	46,5	0,80	0,75	0,30
	2	30,9	0,73	0,22	0,93
	3	22,1	0,07	0,82	0,40
	4	16,0	0,10	0,99	0,46
	5	14,4	0,80	0,94	0,73
	6	12,3	0,36	0,50	0,54
	7	11,1	0,20	0,78	0,67
	8	10,0	0,17	0,90	0,37
Pino laricio	1	65,1	0,72	0,84	0,89
	2	57,4	0,74	0,73	0,94
	3	45,0	0,77	0,77	0,99
	4	37,8	0,59	0,70	0,81
	5	26,0	0,68	0,87	0,54
	6	19,7	0,71	0,97	0,43
	7	17,7	0,76	0,65	0,42
	8	15,7	0,83	0,65	0,35
	9	14,5	0,32	0,54	0,17
	10	13,3	0,46	0,88	0,19
	11	10,9	0,08	0,46	0,41
	12	9,7	0,15	0,54	0,27
	13	9,0	0,22	0,33	0,37
	14	8,3	0,72	0,28	0,33
Pino pinaster	1	47,1	0,40	0,61	0,52
	2	22,5	0,68	0,99	0,87
	3	18,9	0,53	0,79	0,99
	4	16,4	0,72	0,79	0,98
	5	14,7	0,25	0,97	0,99
	6	11,8	0,50	0,99	0,97
	7	10,5	0,83	0,96	0,99
	8	8,6	0,57	0,88	0,87
	9	8,5	0,86	0,89	0,81

Figura C.7 Histograma de frecuencias de la variable profundidad de penetración para la especie pino pinaster y CH 10,5%

Figura C.8 Histograma de frecuencias de la variable fuerza de arranque para la especie pino silvestre y CH 10,0 %

Figura C.9 Histograma de frecuencias de la variable densidad puntual para la especie pino radiata y CH 10,9%

Figura C.10 Histograma de frecuencias de la variable densidad puntual para la especie pino laricio y CH 45,0%

La tabla C.3 muestra los valores del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las variables módulo de elasticidad local y global en flexión, tensión de rotura y densidad local, utilizadas en la estimación de propiedades físico-mecánicas mediante técnicas no destructivas. Las figuras C.11, C.12, C.13 y C.14 muestran un histograma de frecuencias de cada variable y cada especie.

Tabla C.3 P-valores del test Kolmogorov-Smirnov (propiedades)

Especie	Nº	CH (%)	P-valor (Kolmogorov-Smirnov)			
			Eloc	Eglo	Trot	Den loc
Pino radiata	1	52,7	0,95	0,75	-	-
	10	8,9	0,69	0,78	0,57	0,60
Pino silvestre	1	32,6	0,92	0,89	-	-
	7	10,6	0,83	0,94	0,98	0,56
Pino laricio	1	62,6	0,56	0,45	-	-
	12	9,7	0,85	0,60	0,97	0,94
Pino pinaster	1	40,3	0,60	0,64	-	-
	11	9,2	0,52	0,21	0,69	0,36

Figura C.11 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad local para la especie pino radiata y CH 52,7%

Figura C.12 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global para la especie pino silvestre y CH 10,6%

Figura C.13 Histograma de frecuencias de la variable tensión de rotura para la especie pino laricio y CH 9,7%

Figura C.14 Histograma de frecuencias de la variable densidad local para la especie pino pinaster y CH 9,2%

La tabla C.4 muestra los valores del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las variables tiempo de transmisión de onda de los equipos Sylvatest, USLab, Steinkamp BP-V y MST, velocidad de PLG y MTG, utilizadas en el estudio de la influencia de la distancia entre sensores. Las figuras C.15, C.16, C.17 y C.18 muestran un histograma de frecuencias para cada especie.

Tabla C.4 Resumen de p-valores del test Kolmogorov-Smirnov (distancia)

Especie	L (m)	P-valor (Kolmogorov-Smirnov)					
		T Syl	T USL	T BPV	T MST	Vel PLG	Vel MTG
Pino radiata	4	0,38	0,58	-	0,46	0,93	0,84
	3	0,55	0,33	-	0,42	0,94	0,83
	2	0,82	0,73	-	0,29	0,99	0,99
	1	0,41	0,52	-	0,70	0,98	-
Pino silvestre	4	0,37	0,47	0,46	0,27	0,66	0,76
	3	0,54	0,17	0,11	0,29	0,89	0,81
	2	0,26	0,22	0,21	0,33	0,97	0,97
	1	0,15	0,14	0,26	0,62	0,92	-
Pino laricio	4	0,67	0,65	-	0,75	0,86	0,88
	3	0,78	0,60	-	0,71	0,95	0,95
	2	0,74	0,77	-	0,36	0,95	0,95
	1	0,52	0,64	-	0,88	0,98	-
Pino pinaster	4	0,39	0,44	-	0,27	0,94	0,83
	3	0,56	0,57	-	0,66	0,79	0,80
	2	0,46	0,26	-	0,32	0,66	0,72
	1	0,63	0,54	-	0,25	0,75	-

Figura C.15 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de Sylvatest para la especie pino radiata y 2 m

Figura C.16 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de Steinkamp BPV para la especie pino silvestre y 1 m

Figura C.17 Histograma de frecuencias de la variable tiempo de MicroSecond Timer para la especie pino laricio y 3 m

Figura C.18 Histograma de frecuencias de la variable velocidad de PLG para la especie pino pinaster y 4 m

La tabla C.5 muestra los valores del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las variables densidad global y módulo de elasticidad local y global en flexión, utilizadas en el apartado homogeneización para el estudio de equivalencia entre equipos. Las figuras C.19 y C.20 muestran histogramas de frecuencias.

Tabla C.5 Resumen de p-valores del test Kolmogorov-Smirnov

Especie	L (m)	P-valor (Kolmogorov-Smirnov)		
		Eloc	Eglo	Den glo
Pino radiata	3	0,30	0,92	0,79
Pino silvestre	3	0,67	0,58	0,90
Pino laricio	3	0,72	0,30	0,93
Pino pinaster	3	0,96	0,79	0,45

Figura C.19 Histograma de frecuencias de la variable módulo de elasticidad global para la especie pino radiata

Figura C.20 Histograma de frecuencias de la variable densidad global para la especie pino pinaster y 3 m

ANEXO D. CLASIFICACIÓN VISUAL NORMA UNE 56544:2011 vs. DIN 4074-1:2012

D.1 Diferencias entre norma UNE 56544:2011 y DIN 4074-1:2012

Las normas de clasificación visual de los distintos países están expresamente adaptadas a las especies y procedencias más comunes en dichos países, sin embargo ante la similitud de muchas de ellas, se plantea la posibilidad de clasificar con otras normas diferentes a la propia del país de procedencia de la madera. Una de las normas pioneras y cuyo uso está más extendido, especialmente en el centro de Europa, es la norma de clasificación alemana de coníferas DIN 4074.

Existen unos requisitos mínimos a los cuales se deben ceñir todas las normas de clasificación visual de los países de la Unión Europea, regulados por la norma EN 14081-1:2016 y anteriormente a 2005 por la norma EN 518:1995.

Además, existen otras normas a nivel europeo que permiten estandarizar los resultados obtenidos con diferentes normas e intercompararlos, como la EN 1912:2012, la cual establece para cada calidad visual obtenida con cada norma de clasificación visual de cada país y especie, una clase resistente correspondiente, la cual permite comparar los resultados de distintos países.

En los últimos años se realizaron varias comparativas entre la clasificación visual con la norma de coníferas española UNE 56544 y la alemana DIN 4074:

En el año 2000 se publicó un estudio comparativo de clasificación con dichas normas, haciendo uso de 776 piezas de dimensiones 50x150x3000 mm (pequeña escuadría), procedentes de 22 árboles, de la especie pino laricio de procedencia española (Cazorla), sobre las cuales además, se realizaron ensayos de acuerdo a la norma EN 408 para obtener sus propiedades físico-mecánicas. Teniendo en cuenta que para pequeña escuadría en la norma española existen 2 calidades visuales y en la alemana 3, la clasificación realizada con ambas normas dio lugar a resultados similares (Díez *et al.* 2000).

En el año 2003 se defendió una tesis doctoral, en la cual para una muestra de 777 piezas de la especie pino laricio de procedencia española (Cazorla) de pequeña escuadría, se obtuvo menor número de rechazos con la norma alemana que con la española. Sin embargo, para la calidad visual superior (ME1 en la española y S13 en la alemana), se clasificaron más piezas con la norma española en dicha calidad, siendo por tanto la norma alemana más restrictiva para su calidad visual superior, pero con mayores rendimientos clasificatorios generales (Conde 2003).

En el año 2008 se publicó un estudio comparativo de clasificación visual con ambas normas, sobre un lote de 201 piezas de varias secciones (35 de ellas de gran escuadría) de pino silvestre de procedencia alemana, estableciendo un mayor número de rechazos haciendo uso de la norma española, cuya causa fue la forma de evaluar los nudos (Adell *et al.* 2008).

Las novedades que presentó este trabajo frente a estudios anteriores fueron que se utilizó madera de gran escuadría y que abarcó cuatro especies de procedencia española (pino radiata, silvestre, laricio y pinaster).

Las versiones utilizadas fueron UNE 56544:2011 (se presentan los resultados en el apartado 5.5) y DIN 4074-1:2012-06 (se presentan los resultados en el anexo D).

El primer punto a tener en cuenta son las especies y procedencias para las cuales es de aplicación cada norma. La norma española es aplicable a las 4 especies estudiadas de procedencia española, mientras la única especie coincidente con estas cuatro que se encuentra en la norma alemana es el pino silvestre, si bien este es de procedencia centro, norte y este de Europa.

Las dimensiones y calidades visuales asociadas es otro aspecto a tener en cuenta:

- En la norma española se describe como madera de gran escuadría aquella cuya dimensión menor (b) es superior a 70 mm, y solo se le asigna una única calidad visual (MEG).
- En la norma alemana se considera madera escuadrada (*Kantholz*) aquella cuya dimensión menor (b) es superior de 40 mm y cuya dimensión mayor (h) es al menos como la menor y no supera 3 veces a esta ($b \leq h \leq 3b$), y se le pueden asignar 3 calidades visuales (S13, S10 y S7).

Según la norma EN 1912:2012 las clases resistentes correspondientes a cada calidad visual se muestran en la tabla D.1.

Tabla D.1 Correspondencia de calidades visuales y clases resistentes (EN 1912:2012)

Especie	EN 1912:2012	Calidad visual			
		UNE 56544:2011	DIN 4074-1:2012-06		
		MEG	S13	S10	S7
Pino radiata	Clase Resistente	C20*	-	-	-
Pino silvestre		C22	C30	C24	C18
Pino laricio		C22	-	-	-
Pino pinaster		-	-	-	-
* aprobada y pendiente de incorporación en la EN 1912					

La principal diferencia entre ambas normas es la forma de medir los nudos:

- Paralelos a las aristas y nudos agrupados en la norma española (fig. D.1).
- Menor diámetro del nudo en la alemana (fig. D.2).

Además, el tamaño mínimo de nudo considerado se establece en 10 mm en la norma española, siendo 5 mm en la alemana.

Figura D.1 Medida y evaluación de la nudosidad (UNE 56544)

Figura D.2 Medida y evaluación de la nudosidad (DIN 4074-1)

La tabla D.2 muestra la tabla de criterios de calidad de la norma alemana traducida al castellano (corresponde con la tabla 2 de la norma DIN 4074-1:2012-06).

Tabla D.2 Criterios de calidad y especificaciones de cada una de las calidades para madera escuadrada, tablas y tabloncillos clasificados visualmente como madera escuadrada (K)

Criterios de calidad	Clases visuales		
	S 7, S 7K	S 10, S 10K	S 13, S 13K
1. Nudos	≤ 3/5	≤ 2/5	≤1/5
2. Desviación de la fibra	≤ 12 %	≤ 12%	≤ 7%
3. Médula	admitida	admitida	no admitida ^a
4. Anchura media del anillo			
- en general	≤ 6 mm	≤ 6 mm	≤ 4 mm
- para pino Oregón	≤ 8 mm	≤ 8 mm	≤ 6 mm
5. Fendas			
- de contracción ^b	≤ 1/2	≤ 1/2	≤ 2/5
- de rayo de heladura	no admitidas	no admitidas	no admitidas
6. Gemas	≤ 1/4	≤ 1/4	≤ 1/5
7. Deformaciones ^b			
- curvaturas (cara y canto)	≤ 8 mm	≤ 8 mm	≤ 8 mm
- alabeo (medido en 2 m)	1 mm / 25 mm altura	1 mm / 25 mm altura	1 mm / 25 mm altura
8. Alteraciones biológicas			
- azulado	admitido	admitido	admitido
- pudriciones pardo rojizas	≤ 2/5	≤ 2/5	≤ 1/5
- pudriciones blancas	no admitidas	no admitidas	no admitidas
9. Madera de compresión	≤ 2/5	≤ 2/5	≤ 1/5
10. Galerías de insectos xilófagos	galerías de salida hasta 2 mm de diámetro: admitidas		
11. Otros criterios	daños mecánicos, muérdago, entrecasco, daños en el tronco, rotura de la copa: tanto para su medición como su evaluación se tendrán en cuenta de una manera coherente los anteriores criterios de calidad así como sus valores límites		

^a Para madera escuadrada con un grosor del canto > 120 mm se admite.

^b Para piezas clasificadas en húmedo este criterio no debe ser considerado.

Ambas normas consideran menor del 20% el valor de contenido de humedad para clasificar como madera seca, sin embargo los valores máximos admitidos de deformaciones son más restrictivos en la norma alemana.

Se observa además en la tabla que pequeñas galerías de xilófagos son admitidas en la norma alemana, lo cual no está permitido en la norma española.

D.2 Rendimientos de clasificación visual según la norma DIN 4074-1:2012

Se recuerda a continuación las dos muestras utilizadas:

- Muestra 1: 100 piezas de 3 m clasificadas en húmedo y seco.
- Muestra 2: 120 piezas secas clasificadas a 4 y 3 m de longitud.

Muestra 1

Los resultados obtenidos en la clasificación visual realizada a las piezas de escuadría nominal 100x150x3000 mm, tanto en húmedo como en seco, arrojaron los resultados que figuran en las tablas D.3 y D.4 y en la figura D.3.

Tabla D.3 Calidad visual en húmedo (DIN 4074-1)

Especie	Húmedo								
	CH	S13		S10		S7		Rechazo	
	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Pino radiata	52,7	2	8	18	72	5	20	0	0
Pino silvestre	32,6	2	8	18	72	5	20	0	0
Pino laricio	62,6	0	0	8	32	15	60	2	8
Pino pinaster	40,3	0	0	14	56	9	36	2	8

Tabla D.4 Calidad visual en seco (DIN 4074-1)

Especie	Seco								
	CH	S13		S10		S7		Rechazo	
	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Pino radiata	9,0	2	8	10	40	4	16	9	36
Pino silvestre	10,6	1	4	10	40	3	12	11	44
Pino laricio	9,7	0	0	2	8	3	12	20	80
Pino pinaster	9,2	0	0	3	12	1	4	21	84

Figura D.3 Clasificación visual en húmedo y seco (DIN 4074-1)

Dado que durante la clasificación visual en seco se produjo un porcentaje de rechazos elevado en todas las especies, se profundizó en los parámetros de clasificación que dieron lugar a estos (tabla D.5). A su vez, observando la clasificación en húmedo, se encontraron buenos rendimientos clasificatorios, por tanto, esta diferencia entre clasificación visual en húmedo y seco, tenía que deberse a que los parámetros limitantes serían aquellos que solo se tuvieron en cuenta en la clasificación en seco, como fendas o deformaciones.

Tabla D.5 Calidad visual en seco por parámetro de clasificación (DIN 4074-1)

Parámetro de clasificación	Especie	Calidad visual							
		S13		S10		S7		Rechazo	
		nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	Pino radiata	3	12	14	56	8	32	0	0
	Pino silvestre	1	4	16	64	8	32	0	0
	Pino laricio	0	0	7	28	15	60	3	12
	Pino pinaster	0	0	12	48	12	48	1	4
Fendas	Pino radiata	25	100	0	0	0	0	0	0
	Pino silvestre	23	92	1	4	0	0	1	4
	Pino laricio	24	96	0	0	0	0	1	4
	Pino pinaster	23	92	2	8	0	0	0	0
Desviación de la fibra	Pino radiata	24	96	1	4	0	0	0	0
	Pino silvestre	25	100	0	0	0	0	0	0
	Pino laricio	24	96	1	4	0	0	0	0
	Pino pinaster	13	52	10	40	0	0	2	8
Deformaciones	Pino radiata	16	64	0	0	0	0	9	36
	Pino silvestre	14	56	0	0	0	0	11	44
	Pino laricio	5	20	0	0	0	0	20	80
	Pino pinaster	5	20	0	0	0	0	20	80
Alteraciones biológicas	Pino radiata	25	100	0	0	0	0	0	0
	Pino silvestre	25	100	0	0	0	0	0	0
	Pino laricio	25	100	0	0	0	0	0	0
	Pino pinaster	25	100	0	0	0	0	0	0

A la vista de los resultados, el parámetro de clasificación más limitante en madera seca para todas las especies fueron las deformaciones.

Muestra 2

Los resultados obtenidos en la clasificación visual realizada, a las piezas de escuadría nominal 90x140 mm a 4 y 3 m de longitud, arrojaron los resultados que figuran en la tabla D.6 y en la figura D.4.

Tabla D.6 Calidad visual a 4 y 3 m (DIN 4074-1)

Especie	CH	L	S13		S10		S7		Rechazo	
	%	m	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Pino radiata	10,1	4	1	3	11	37	2	6	16	54
		3	3	10	11	37	2	6	14	47
Pino silvestre	9,1	4	6	20	17	57	1	3	6	20
		3	9	30	15	50	1	3	5	17
Pino laricio	11,9	4	0	0	10	33	3	10	17	57
		3	0	0	7	23	4	13	19	64
Pino pinaster	10,3	4	0	0	1	3	3	10	26	87
		3	0	0	2	6	5	17	23	77

Figura D.4 Clasificación visual a 4 y 3 m (DIN 4074-1)

Dado que durante la clasificación visual se produjo una cantidad de rechazos elevado, excepto en la especie pino silvestre y anormalmente elevado en la especie pino pinaster (hasta un 87%), se profundizó en los parámetros de clasificación que dieron lugar a estos (tabla D.7).

Tabla D.7 Calidad visual por parámetro de clasificación para 4 y 3 m (DIN 4074-1)

Parámetro de clasificación	Especie	L (m)	Calidad visual							
			S13		S10		S7		Rechazo	
			nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Nudos	Pino radiata	4	3	10	26	87	1	3	0	0
		3	6	20	23	77	1	3	0	0
	Pino silvestre	4	13	43	16	54	1	3	0	0
		3	16	54	13	43	1	3	0	0
	Pino laricio	4	2	6	21	70	7	24	0	0
		3	2	6	23	77	5	17	0	0
	Pino pinaster	4	2	6	7	24	12	40	9	30
		3	2	6	11	37	11	37	6	20
Fendas	Pino radiata	4	30	100	0	0	0	0	0	0
		3	30	100	0	0	0	0	0	0
	Pino silvestre	4	23	77	4	13	0	0	3	10
		3	22	73	5	17	0	0	3	10
	Pino laricio	4	22	73	7	7	0	0	6	20
		3	22	73	2	7	0	0	6	20
	Pino pinaster	4	29	97	0	0	0	0	1	3
		3	29	97	0	0	0	0	1	3
Desviación de la fibra	Pino radiata	4	30	100	0	0	0	0	0	0
		3	29	97	1	3	0	0	0	0
	Pino silvestre	4	29	97	1	3	0	0	0	0
		3	30	100	0	0	0	0	0	0
	Pino laricio	4	28	94	1	3	0	0	1	3
		3	28	94	1	3	0	0	1	3
	Pino pinaster	4	11	37	9	30	0	0	10	33
		3	12	40	9	30	0	0	9	30
Deformaciones	Pino radiata	4	16	53	0	0	0	0	14	47
		3	19	63	0	0	0	0	11	37
	Pino silvestre	4	26	87	0	0	0	0	4	13
		3	27	90	0	0	0	0	3	10
	Pino laricio	4	17	57	0	0	0	0	13	43
		3	18	60	0	0	0	0	12	40
	Pino pinaster	4	9	30	0	0	0	0	21	70
		3	10	33	0	0	0	0	20	67
Alteraciones biológicas	Pino radiata	4	30	100	0	0	0	0	0	0
		3	30	100	0	0	0	0	0	0
	Pino silvestre	4	30	100	0	0	0	0	0	0
		3	30	100	0	0	0	0	0	0
	Pino laricio	4	30	100	0	0	0	0	0	0
		3	30	100	0	0	0	0	0	0
	Pino pinaster	4	24	80	0	0	0	0	6	20
		3	26	87	0	0	0	0	4	13

A la vista de los resultados, el parámetro de clasificación más limitante para todas las especies fueron las deformaciones.

En el caso del pino pinaster el valor anormalmente alto de porcentaje de rechazo observado en la tabla D.6 (hasta un 87%), se debió, además de a los nudos y las

deformaciones, a las alteraciones biológicas, que en esta especie fueron especialmente relevantes (20%).

El alto rechazo por deformaciones podría ser explicado por la presencia de médula en la cara y por lo tanto de madera juvenil, dado que fue esta deformación de cara la que produjo mayor número de rechazos.

D.3 Propiedades físicas y mecánicas por calidad visual (DIN 4074-1:2012)

Muestra 1

A continuación se muestra la relación entre las calidades visuales y las propiedades físico-mecánicas obtenidas mediante ensayo en máquina universal en húmedo y seco.

Tabla D.8 Calidad visual en húmedo vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M (N/mm ²)	M (N/mm ²)	Vc	M	Vc	M
						(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	52,7	S13	8	10358	8867	-	-	543	671
		S10	72	9512	8517	-	-	452	670
		S7	20	6455	6724	-	-	468	561
		Rechazo	0	-	-	-	-	-	-
Pino silvestre	32,6	S13	8	13620	11408	-	-	587	603
		S10	72	10728	9462	-	-	490	564
		S7	20	8645	7678	-	-	516	556
		Rechazo	0	-	-	-	-	-	-
Pino laricio	62,6	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	32	9361	7993	-	-	720	832
		S7	60	7219	6344	-	-	572	758
		Rechazo	8	6585	5827	-	-	677	800
Pino pinaster	40,3	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	56	7981	7106	-	-	622	697
		S7	36	5968	5348	-	-	575	651
		Rechazo	8	7716	6917	-	-	649	682

Tabla D.9 Calidad visual en seco vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M	M	Vc	M	Vc	M
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	9,0	S13	8	12560	11257	85,35	87,51	421	488
		S10	40	13849	12542	41,17	90,53	447	528
		S7	16	9113	8965	30,63	37,48	422	442
		Rechazo	36	9457	8934	28,91	50,38	416	483
Pino silvestre	10,6	S13	4	17128	14822	110,01	110,01	543	543
		S10	40	13154	12517	53,82	78,56	475	504
		S7	12	10384	9497	35,86	49,17	493	504
		Rechazo	44	12884	11034	48,92	74,29	463	507
Pino laricio	9,7	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	8	12426	11706	74,76	88,61	542	562
		S7	12	12814	11544	45,69	65,72	519	589
		Rechazo	80	9933	8956	18,44	46,51	475	570
Pino pinaster	9,2	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	12	11387	9881	66,39	79,87	532	560
		S7	4	8813	7346	48,96	48,96	504	504
		Rechazo	84	9141	7687	20,98	48,61	508	563

Nota: En el caso de una única pieza clasificada en una calidad visual, su valor característico de Trot y Den glo coincide con su valor medio.

Se realizaron análisis de la varianza por propiedades físico-mecánicas con objeto de estudiar si las diferencias entre calidades visuales por cada propiedad son estadísticamente significativas a modo de ejemplo se muestran a continuación las figuras D.5, D.6, D.7, D.8 y D.9, para pino silvestre en húmedo y seco.

Figura D.5 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en húmedo (pino silvestre)

Figura D.6 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual, en seco (pino silvestre)

Figura D.7 Gráfica de medias de T_{rot} y calidad visual, en seco (pino silvestre)

Figura D.8 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en húmedo (pino silvestre)

Figura D.9 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual, en seco (pino silvestre)

A la vista de los resultados, para el caso del módulo de elasticidad y la tensión de rotura, pudo afirmarse que las diferencias entre las calidades visuales unas veces mostraron diferencias estadísticamente significativas y otras no. Sin embargo, sí que se apreció una posible discriminación entre las tres calidades visuales en la mayoría de los casos, indistintamente de que la clasificación visual se realizara en húmedo o seco. El valor característico de la tensión de rotura discrimina entre calidades en todas la especies, excepto en pino laricio donde se presenta ineficaz entre la calidad S7 y el rechazo.

Sin embargo, en el caso de la densidad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna especie ni en húmedo ni en seco, y el valor medio no permitió discriminar entre las calidades visuales y el rechazo.

Muestra 2

A continuación se muestra la relación entre la clasificación visual y las propiedades físico-mecánicas obtenidas mediante ensayo en máquina universal en las piezas de 3 m de longitud, al CH al que fueron obtenidas.

Tabla D.10 Calidad visual en 3 m vs. propiedades físico-mecánicas (DIN 4074-1)

Especie	CH (%)	Calidad visual (%)		Propiedades físico-mecánicas					
				Eloc	Eglo	Trot		Den glo	
				M	M	Vc	M	Vc	M
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		(kg/m ³)	
Pino radiata	10,1	S13	10	13470	12003	-	-	456	493
		S10	37	12262	10842	-	-	471	504
		S7	6	13320	11739	-	-	506	539
		Rechazo	47	10976	10259	-	-	451	521
Pino silvestre	9,1	S13	30	13817	12551	-	-	470	533
		S10	50	12196	11226	-	-	422	509
		S7	3	12610	11545	-	-	553	553
		Rechazo	17	13162	12075	-	-	443	514
Pino laricio	11,9	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	23	15239	14104	-	-	536	589
		S7	13	12346	11056	-	-	518	547
		Rechazo	64	12596	11218	-	-	443	540
Pino pinaster	10,3	S13	0	-	-	-	-	-	-
		S10	6	10827	9391	-	-	477	527
		S7	17	9476	8648	-	-	478	531
		Rechazo	77	9160	8434	-	-	525	585

Nota: En el caso de una única pieza clasificada en una calidad visual, su valor característico de Den glo coincide con su valor medio.

Se realizaron análisis de la varianza por propiedades físico-mecánicas con objeto de estudiar si las diferencias entre calidades visuales por cada propiedad son estadísticamente significativas a modo de ejemplo se muestran algunas figuras:

Figura D.10 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino radiata)

Figura D.11 Gráfica de medias de Eglo y calidad visual (pino silvestre)

Figura D.12 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino radiata)

Figura D.13 Gráfica de medias de densidad global y calidad visual (pino silvestre)

A la vista de los resultados las diferencias entre calidades visuales para cada propiedad en la mayoría de los casos no muestran diferencias estadísticamente significativas, para ninguna de las propiedades estudiadas y su valor medio o característico no realiza una discriminación por calidad visual y rechazo.

D.4 Comparativa entre los resultados de la UNE 56544:2011 y la DIN 4074-1:2012

Para la presente comparativa fueron utilizados los resultados de la clasificación visual realizada con la norma española UNE 56544:2011 (que se encuentran en el apartado 5.5) y con la norma alemana DIN 4074-1:2012-06 (que se recogen en el presente anexo).

El parámetro que produjo mayor porcentaje de rechazo en la clasificación en seco con ambas normas fueron las deformaciones. Los valores máximos admisibles de curvatura de cara son más restrictivos en la norma alemana (8 mm) que en la española (10 mm), como es lógico, se produjo mayor número de rechazos por dicho parámetro con la norma alemana.

La forma de evaluar los nudos de la norma alemana dio lugar a un menor porcentaje de rechazo por este parámetro que la española (hasta un 13 % menos).

La mayor permisividad de la norma alemana con las alteraciones biológicas, produjo un incremento en el rendimiento clasificatorio por dicho parámetro de hasta un 13% en el caso del pino pinaster a 4 m de longitud.

Con ambas normas se encontró una gran diferencia entre la clasificación en húmedo y seco. Provocando que un gran número de piezas clasificadas en una calidad visual en húmedo, terminaran siendo rechazo cuando se usó la misma norma para clasificar en seco.

Con respecto a la relación entre las propiedades físico-mecánicas y la calidad visual asignada, la clasificación visual de madera aserrada de gran escuadría con ambas normas no siempre presenta diferencias estadísticamente significativas entre calidades visuales para el caso del módulo de elasticidad y la tensión de rotura, sin embargo, en la mayoría de los casos, sí que permite realizar una discriminación entre calidades visuales utilizando el valor medio y característico, tanto en húmedo como en seco. Esto no ocurre para el caso de la densidad.

ANEXO E. HOMOGENEIZACIÓN

E.1 Protocolo de ensayos

PROTOCOLO DE ENSAYOS CON

TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

VERSIÓN 2012.07

Índice

1. Objeto	
2. Datos generales	
3. Fase inicial de dimensiones	
4. Clasificación visual	
5. Ondas ultrasónicas, Sylvatest Duo	
6. Ondas de impacto, MicroSecond Timer	
7. Vibraciones inducidas, PLG	
8. Ensayo mecánico a flexión UNE 408	
9. Rebanada UNE 408	
10. Penetrómetro, Pilodyn 6J Forest	
11. Arranque de tornillos	
Anexo I: observaciones generales	
Anexo II: símbolos y abreviaturas	
Anexo III: colocación de palpadores	

1. Objeto y recomendaciones:

El objeto del presente protocolo es establecer un método de ensayos concreto, para el uso de técnicas no destructivas en la determinación de propiedades de la madera.

Se ha diseñado como apoyo una herramienta excel para el registro de los datos.

Se recomienda seguir un protocolo de ensayos en la cual se recojan al menos los datos que se describen en los siguientes apartados (entre paréntesis se observan las expresiones en inglés que se le ha dado a cada parámetro, correspondientes con la nomenclatura de la tabla Excel de recogida de datos)

2. Datos generales:

- **(N)** Numeración de la muestra (números del 1 al n)
- **(Code)** Código de la muestra, se recomienda (PS-001) los primeros 2 caracteres indican las especie botánica PS *Pinus sylvestris*, PR *Pinus radiata*
- **(Species)** Especie taxonómica de acuerdo con la norma EN 13556 (*Pinus Radiata*=1; *Pinus sylvestris*=2; *Pinus nigra*=3; *Pinus pinaster*=4; *Castanea sativa*=5; *Quercus sp.*=6; *Eucalyptus globulus*=7; *Erythrophleum sp.*=8; *Populus sp.*=9; *Pseudotsuga mezesii* =10; *Pinus uncinata*=11; *Pinus halepensis*=12; *Pinus pinea*=13; *Pinus canariensis*=14)
- **(Source)** Origen geográfico de la muestra, región, provincia/s y zona específica si fuera relevante
- **(LabPer)** Nombre del laboratorio y nombre de la persona que ha realizado los ensayos
- **(Project)** Proyecto de investigación al cual pertenecen los ensayos
- **(Year)** Año en el cual se finalizaron los ensayos

3. Fase inicial de dimensiones:

Se medirán las dimensiones reales de las piezas, longitud, cara y canto, la humedad se medirá con un xilohigrómetro (método de la resistencia eléctrica según la norma UNE-EN 13183-2)

- **(MC1)** Contenido de humedad de la muestra en % medida con xilohigrómetro en fase de dimensiones
- **(ThickNom)** Dimensión nominal del canto b_n en mm
- **(WidthNom)** Dimensión nominal de la cara h_n en mm
- **(Thick)** Dimensión real del canto b_r en mm, será la media de 3 medidas realizadas en el tercio central de la pieza
- **(Width)** Dimensión real de la cara h_r en mm, será la media de 3 medidas realizadas en el tercio central de la pieza
- **(Length)** Longitud real de la pieza en mm

Observaciones:

Dimensión del canto (b) se considera la dimensión menor de la sección

Dimensión de la cara (h) se considera la dimensión mayor de la sección

Si las dimensiones reales en el momento de recepción se miden a contenido de humedad muy alto, sería interesante volver a medir las dimensiones reales a diferente contenido de humedad, especialmente en el momento de realizar el ensayo mecánico del apartado 8

4. Clasificación visual:

- **(MC2)** Contenido de humedad de la muestra en % medida con xilohigrómetro en fase de clasificación visual
- **(VGrade1)** Clasificación visual, se especificará la norma con la cual se ha realizado
- **(VGrade2)** Clasificación visual (si se ha realizado con más de una norma) y norma con la cual se ha realizado
- **(VGrade3)** Clasificación visual (si se ha realizado con más de dos normas) y norma con la cual se ha realizado

Observaciones:

Las normas españolas de clasificación visual son:

- UNE 56544:1997 (silvestre, pinaster, radiata, chopo y eucalipto)
- UNE 56544:1999 (silvestre, pinaster, radiata, chopo, eucalipto y laricio)
- UNE 56544:2003 (silvestre, laricio, pinaster y radiata)
- UNE 56544:2007 (silvestre, laricio, pinaster y radiata)
- UNE 56544:2009 (silvestre, laricio, pinaster y radiata)
- UNE 56544:2011 (silvestre, laricio, pinaster y radiata)
- UNE 56546:2007 (eucalipto)
- UNE 56546:2009 (eucalipto)
- UNE 56546:2011 (eucalipto)

También se podrá clasificar con normas de otros países

(DIN 4074 Teil 1 und 2; NF B 52-001; INSTA 142; BS 4978, BS 5756...)

5. Ensayo con equipo ultrasónico **Sylvatest Duo**, se realizarán 3 tipos de medidas: testa-testa, caras opuestas y misma cara; por defecto, si no se especifica lo contrario, se entenderá que la medición se ha realizado con palpadores cónicos emisores de onda ultrasónica de frecuencia 22kHz, mantener una presión constante entre palpador y pieza, parámetros a registrar:
- **(MC3)** Contenido de humedad de la muestra en % medida con xilohigrómetro en fase de ultrasonidos de Sylvatest Duo
 - **MEDIDA TESTA-TESTA:** se realizarán 2 lecturas una situando los 2 palpadores a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y centradas respecto a las caras, se deberán realizar taladros para asegurar el adecuado contacto entre los palpadores cónicos y la madera, parámetros a registrar:
 - **(LenEEsyl)** Longitud entre palpadores ensayo testa-testa en mm, se tomará la longitud real de la pieza sin descontar los taladros realizados para introducir los palpadores cónicos
 - **(TimEEsyl)** Tiempo en μ s, será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s
 - **MEDIDA DIRECTA (ENTRE CARAS OPUESTAS):** se realizarán 2 lecturas situando los 2 palpadores (en caras opuestas) una a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y separados una distancia en dirección longitudinal igual a $18h_n$, los palpadores se colocarán formando un ángulo de 45° con la pieza, se deberán realizar taladros para asegurar el adecuado contacto entre los palpadores cónicos y la madera, parámetros a registrar:
 - **(LenFFDsyl)** Longitud en dirección longitudinal entre palpadores en mm o la relación respecto a la cara nominal ($18h_n$)
 - **(TimFFDsyl)** Tiempo en μ s, será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s
 - **MEDIDA INDIRECTA (MISMA CARA):** se realizarán 2 lecturas situando los 2 palpadores (en la misma cara) una a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y separados una distancia igual a $18h_n$, los palpadores se colocarán formando un ángulo de 45° con la pieza, se deberá realizar taladros para asegurar el adecuado contacto entre los palpadores cónicos y la madera, parámetros a registrar:
 - **(LenFFIsyl)** Longitud entre palpadores en mm o la relación respecto a la cara nominal ($18h_n$)
 - **(TimFFIsyl)** Tiempo en μ s, será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s

6. Ensayo con equipo de ondas de impacto **MicroSecond Timer (Fakopp)**, se realizarán 3 tipos de medidas: testa-testa, caras opuestas y misma cara; por defecto, si no se especifica lo contrario, la medición se ha realizado con palpadores tipo pincho (Spike), clavados una profundidad de 15 mm:
- **(MC4)** Contenido de humedad de la muestra en % medida con xilohigrómetro en fase de ondas de impacto MicroSecond Timer
 - MEDIDA TESTA-TESTA: se realizarán 2 lecturas una situando los 2 palpadores a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y centradas respecto a las caras, parámetros a registrar:
 - **(LenEEmst)** Longitud entre palpadores ensayo testa-testa en mm, se tomará la longitud real de la pieza
 - **(TimeEEmst)** Tiempo en μs , será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s
 - MEDIDA DIRECTA (ENTRE CARAS OPUESTAS): se realizarán 2 lecturas situando los 2 palpadores (en caras opuestas) una a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y separados una distancia en dirección longitudinal igual a $18h_n$, los palpadores se colocarán formando un ángulo de 45° con la pieza, parámetros a registrar:
 - **(LenFFDmst)** Longitud en dirección longitudinal entre palpadores en mm o la relación respecto a la cara nominal ($18h_n$)
 - **(TimFFDmst)** Tiempo en μs , será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s
 - MEDIDA INDIRECTA (MISMA CARA): se realizarán 2 lecturas situando los 2 palpadores (en la misma cara) una a 1/3 del canto superior y la otra a 2/3 del canto superior y separados una distancia igual a $18h_n$, los palpadores se colocarán formando un ángulo de 45° con la pieza, parámetros a registrar:
 - **(LenFFImst)** Longitud entre palpadores en mm o la relación respecto a la cara nominal ($18h_n$)
 - **(TimFFImst)** Tiempo en μs , será la media aritmética de las 2 lecturas realizadas, en caso de no disponer de este dato se aportará la media aritmética de las velocidades en m/s
 - Retardo de tiempo en μs y profundidad de palpadores (manual del equipo):
Time correction is +/- X μs
 Remark: penetration depth at starter and receiver was Y mm

$$[(Y \text{ mm}-15\text{mm})\cdot 0,4] + (+/- X) = +/- Z \text{ } \mu\text{s}$$
 (al valor obtenido en el MST hay que restarle el valor Z con su signo)

Nota: A la vista de los resultados de la presente tesis, esta corrección de retardo de tiempo propuesta por el fabricante, queda sustituida por el procedimiento de corrección de la longitud de medida del apartado 5.3.3.

7. Ensayo con equipo de vibraciones **PLG** Portable Lumber Grader (Fakopp), se realizarán 3 tipos de medidas: longitudinal, transversal en cara y transversal en canto:

- **(MC5)** Contenido de humedad en % de la muestra medida con xilohigrómetro en fase de vibraciones inducidas PLG
- **(FreLplg)** Frecuencia en Hz del primer modo de vibración longitudinal, colocándose los apoyos en los extremos de la pieza, situando el micrófono receptor frente a una testa y en la otra o en la misma testa se aplicará un golpe seco con el martillo
- **(FreBEplg)** Frecuencia en Hz del primer modo de vibración a flexión de canto, colocándose los apoyos a una distancia $0,224 L$ de cada extremo, situando el micrófono en un canto (b) y dando un golpe seco con el martillo sobre el mismo canto
- **(FreBFplg)** Frecuencia en Hz del primer modo de vibración a flexión de cara, colocándose los apoyos a una distancia $0,224 L$ de cada extremo, situando el micrófono en una cara (h) y dando un golpe seco con el martillo sobre la misma cara
- **(HalfMass)** Masa en kg de la mitad de la pieza, medida con la báscula que hace las veces de apoyo
- **(CKDR)** Concentrated Knot Diameter Ratio: se define como la suma de los diámetros de los nudos existentes (en todas las caras) en una longitud de 15 cm de la pieza (los 15 cm más desfavorables), dividido por el perímetro de la sección

Puede ser recomendable medir las dimensiones cada vez que se hace PLG, así con el peso volumen, obtenemos la densidad de la pieza.

8. **Ensayo mecánico** a flexión, siguiendo la norma UNE-EN 408, se colocarán los apoyos a $18h_n$ y se aplicará carga en dos puntos separados $6h_n$, se colocará el extensómetro para el módulo de elasticidad global en la parte inferior y el extensómetro para el módulo de elasticidad local en la fibra neutra, se apoyará este último sobre un soporte con apoyos a una distancia $5h_n$:
- **(MC6)** Contenido de humedad en % de la muestra medida con xilohigrómetro en fase de ensayo mecánico UNE-EN 408
 - **(CROT)** Carga de rotura en kN de ensayo a flexión UNE-EN 408, se recomienda considerar que el ensayo finaliza cuando se produce un descenso de carga del 50%
 - **(PCTO)** Pendiente tramo elástico en mm/kN del módulo de elasticidad global MOEGCTO, medida del extensómetro colocado en la parte inferior
 - **(LBS/WidthNom)** Relación entre la longitud entre los apoyos y la cara nominal, por defecto será 18 (ya que el ensayo se hace a $18h_n$)
 - **(PEL)** Pendiente tramo elástico mm/kN del módulo de elasticidad local, medida del extensómetro colocado en la fibra neutra, si se colocaran 2 extensómetros uno en cada cara, se haría la media aritmética de ambos valores
 - **(RUPpos)** Posición de rotura en mm desde el centro de la luz, distancia del primer punto de rotura respecto a la sección central
 - **(RUPthird)** Posición de rotura dentro del tercio central (Si o No), el tercio se calcula respecto a la distancia entre apoyos, si es $18h_n$ el tercio central sería $6h_n$, es decir $3h_n$ a la izquierda y $3h_n$ a la derecha de la sección central

Nota: algunas máquinas de ensayo muestran los valores inversos del PCTO y del PEL, expresados en kN/mm

9. **Rebanadas** obtenidas según la norma UNE 408, se obtendrán 2 rebanadas de la sección y de 15 cm de longitud cada una, se numerarán de más cercana a más lejana de la sección de rotura (I y II) y una tercera rebanada de reserva. La más cercana a la sección de rotura (I) se utilizarán para este ensayo de obtención de humedad por estufa, además se medirán las dimensiones de la rebanada al entrar en la estufa, con objeto de obtener la densidad:

- **(MC7)** Contenido de humedad de la rebanada I en % medida con xilohigrómetro antes de introducirla en la estufa
- **(MC8)** Contenido de humedad de la rebanada I en % medida con estufa, siguiendo el procedimiento indicado en la norma UNE-EN 13183-1
- **(Den)** Densidad en kg/m^3 de la rebanada I obtenida con Masa/Volumen, masa al entrar en la estufa dividido por el volumen al entrar en la estufa

10. **Penetrómetro** Pilodyn 6J Forest, este ensayo se realizará sobre la segunda rebanada (II) la más alejada de la sección de rotura:

- **(MC9)** Contenido de humedad de la rebanada II en % medida con xilohigrómetro en fase de ensayo de penetrómetro
- **(DepthRpil)** Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest en dirección Radial
- **(DepthTpil)** Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest en dirección tangencial
- **(DepthPil)** Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest cuando no se conoce la dirección o es intermedia

11. Ensayo de arranque de tornillos, este ensayo se realizará sobre la segunda rebanada (II) la más alejada de la sección de rotura:

- **(MC10)** Contenido de humedad de la rebanada II en % medida con xilohigrómetro en fase de ensayo de arranque de tornillos
- **(ForceRsw)** Fuerza de arranque de tornillo en kN en dirección radial
- **(ForceTsw)** Fuerza de arranque de tornillo en kN en dirección tangencial
- **(ForceSW)** Fuerza de arranque de tornillo en kN cuando no se conoce la dirección o es intermedia

ANEXO I: observaciones generales

- Deberá indicarse si alguna unidad es diferente a las aquí especificadas
- Las mediciones de humedad con xilohigrómetro se realizarán por el método de la resistencia eléctrica según la norma UNE-EN 13183-2
- En muchas ocasiones las humedades **(MC)** medidas con xilohigrómetro de dos o más ensayos serán iguales (ya que los ensayos se suelen hacer uno tras otro), en cualquier caso se recomienda anotarlas en cada ensayo, aunque se repitan, para tener una constancia clara de la humedad en el momento de cada ensayo, sin ningún tipo de duda
- A diferencia de otros materiales, en la madera se consideran:
 - Canto: superficie de la pieza correspondiente a la menor dimensión de la sección, se suele denominar "b" en carpintería
 - Cara: superficie de la pieza correspondiente a la mayor dimensión de la sección, se suele denominar "h" en carpintería
- Las normas de clasificación visual utilizadas podrán ser tanto nacionales como extranjeras, siempre y cuando se especifique la norma y versión
- Si algún ensayo se realizara a distancias diferentes a $18h_n$ deberá especificarse en cada caso
- No se recomienda el uso de los equipos Sylvatest Duo y MicroSecond Timer para piezas de longitud inferior a 1m en sentido longitudinal, ni menores de 15 cm en sentido tangencial y radial, debido a la longitud de onda, las mediciones no serán precisas
- Tanto en el ensayo de Sylvatest Duo como MicroSecond Timer, no se ha contemplado la posibilidad de realizar ensayos directos canto-canto, esto es debido a que aunque en laboratorio es posible realizarlos, en obra raramente se tiene acceso al canto superior, pero si se suele tener acceso a ambas caras
- Es muy importante mantener una presión constante en el ensayo con Sylvatest, pues aunque no afecta apenas a la velocidad, sí que afecta mucho a la atenuación
- Si en el ensayo de vibraciones con PLG además de la medición longitudinal solo se realizara una medición a flexión, es preferible realizar la de canto que la de cara, porque se relacionará mejor con la flexión obtenida en el ensayo mecánico de canto
- Este protocolo de ensayos desarrollará las operaciones a realizar con los datos recogidos en otro documento de "análisis de datos y asignación de propiedades"

ANEXO II: símbolos y abreviaturas

CKDR	Concentrated Knot Diameter Ratio
Code	Código de la muestra
CROT	Carga de rotura en kN de ensayo a flexión EN 408
Den	Densidad en kg/m ³ de la rebanada mediante Masa/Volumen
DepthPil	Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest dirección desconocida
DepthRpil	Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest en dirección Radial
DepthTpil	Profundidad de penetración en mm del Pilodyn 6J Forest en dirección tangencial
ForceRsw	Fuerza de arranque de tornillo en kN en dirección radial
ForceSW	Fuerza de arranque de tornillo en kN dirección desconocida
ForceTsw	Fuerza de arranque de tornillo en kN en dirección tangencial
FreBEplg	Frecuencia en Hz del primer modo de vibración a flexión de canto PLG
FreBFplg	Frecuencia en Hz del primer modo de vibración a flexión de cara PLG
FreLplg	Frecuencia en Hz del primer modo de vibración longitudinal PLG
HalfMass	Masa en kg de la mitad de la pieza
LabPer	Laboratorio y encargado del ensayo
LBS/WidthNom	Relación entre la longitud entre apoyos y la cara nominal
LenEEfst	Longitud entre palpadores ensayo testa-testa MicroSecond Timer
LenEEsyl	Longitud entre palpadores ensayo testa-testa Sylvatest
LenFFDfst	Longitud entre palpadores ensayo directo MicroSecond Timer
LenFFDsyl	Longitud entre palpadores ensayo directo Sylvatest
LenFFIfst	Longitud entre palpadores ensayo indirecto MicroSecond Timer
LenFFIsyl	Longitud entre palpadores ensayo indirecto Sylvatest
Length	Longitud total de la pieza en mm en fase inicial
MC1	Contenido de humedad en % medida en fase de dimensiones
MC2	Contenido de humedad en % en fase de clasificación visual
MC3	Contenido de humedad en % en ultrasonidos Sylvatest Duo
MC4	Contenido de humedad en % en fase de MicroSecond Timer
MC5	Contenido de humedad en % en vibraciones inducidas PLG
MC6	Contenido de humedad en % en ensayo mecánico UNE 408
MC7	Contenido de humedad en % de la rebanada con xilohigrómetro
MC8	Contenido de humedad en % de la rebanada con estufa
MC9	Contenido de humedad en % de la rebanada con xilohigrómetro en fase de ensayo de penetrometro
MC10	Contenido de humedad en % de la rebanada con xilohigrómetro en fase de ensayo de arranque de tornillos
N	Numeración de la muestra
PCTO	Pendiente tramo elástico en mm/kN del módulo de elasticidad global MOEGCTO

PEL	Pendiente tramo elástico mm/kN del módulo de elasticidad local
Project	Proyecto de investigación al cual pertenecen los ensayos
RUPpos	Posición de rotura en mm desde el centro de la luz UNE 408
RUPthird	Posición de rotura dentro del 1/3 central (Si o No) UNE 408
Source	Origen geográfico de la muestra: provincia/s y zona/s
Species	Especie taxonómica
Thick	Dimensión real del canto b en mm en fase inicial
ThickNom	Dimensión nominal del canto b en mm en fase inicial
TimeEmst	Tiempo en μ s ensayo testa-testa MicroSecond Timer
TimeEsyl	Tiempo en μ s ensayo testa-testa Sylvatest
TimFFDmst	Tiempo en μ s ensayo directo MicroSecond Timer
TimFFDsyl	Tiempo en μ s ensayo directo Sylvatest
TimFFImst	Tiempo en μ s ensayo indirecto MicroSecond Timer
TimFFIsyl	Tiempo en μ s ensayo indirecto Sylvatest
VelEEmst	Velocidad en m/s testa-testa MicroSecond Timer
VelEEsyl	Velocidad en m/s testa-testa Sylvatest
VelFFDmst	Velocidad en m/s ensayo directo MicroSecond Timer
VelFFDsyl	Velocidad en m/s ensayo directo Sylvatest
VelFFImst	Velocidad en m/s ensayo indirecto MicroSecond Timer
VelFFIsyl	Velocidad en m/s ensayo indirecto Sylvatest
VGrade1	Clasificación visual 1ª y norma por la cual se ha realizado
VGrade2	Clasificación visual 2ª y norma por la cual se ha realizado
VGrade3	Clasificación visual 3ª y norma por la cual se ha realizado
Width	Dimensión real de la cara h en mm en fase inicial
WidthNom	Dimensión nominal de la cara h en mm en fase inicial
Year	Año en el cual se finalizaron los ensayos

ANEXO III: colocación de palpadores

Las siguientes figuras muestran la correcta colocación de los palpadores para los 3 tipos de ensayo, testa-testa, directa e indirecta, tanto para Sylvatest como para MST, los dibujos no guardan proporciones.

➤ Lectura Testa-testa:

➤ Lectura directa (caras opuestas):

➤ Lectura indirecta (misma cara):

E.2 Glosario de técnicas y equipos no destructivos

Technique group		Technique		Portable device		
English	Spanish	English	Spanish	English	Spanish	Commercial device
Probing	Puntual	Penetration resistance	Resistencia a la penetración	Penetration tester	Penetrómetro	Pilodyn 6J Forest (Proceq, Switzerland)
						Woodpecker Wood Integrity Tester (Profound, The Netherlands)
Probing		Pullout resistance	Arranque de tornillo	Screw withdrawal device	Máquina de arranque de tornillo (MAT)	Screw Withdrawal Resistance Meter (SWRM) (Fakopp, Hungary)
Drilling		Drill resistance	Resistencia al taladro	Resistograph	Resistógrafo	IML Resi F400-S (IML, Germany/USA)
						Resistograph Rinntech (Rinntech, Germany)
		Chips drill extraction	Extracción de viruta	Wood extractor	Extractor de viruta	RML Wood Extractor (GICM, Spain)
Coring		Core drilling	Barrenado	Pressler drill	Barrena forestal Pressler	Core drill (Pressler, Germany)
Coring	Core drilling	Extracción de testigo	Hollow drill	Barrena hueca	Commercial hollow drill	
Acousto-ultrasonics	Acústica ultrasónica	Ultrasound waves	Ultrasonidos	Ultrasound waves device	Equipo de ultrasonidos	Steinkamp BP-V/BP-7 (UltraTest, Germany)
						Sylvatest Duo/Trio (CBS-CBT, France/Switzerland)
						USLab (Agricef, Brazil)
Acoustic transmission	Acústica	Sonic stress waves	Ondas sónicas de impacto	Sonic stress waves device	Equipo de ondas sónicas de impacto	Microsecond Timer (Fakopp, Hungary)
						Hitman Director ST300 (Fibre-gen, New Zealand)
						IML Micro Hammer (IML, Germany/USA)
		Acoustic tomography	Tomografía acústica	Acoustic tomograph	Tomógrafo acústico	ArboSonic 3D (Fakopp, Hungary)
						Arbotom (Rinntech, Germany)
						Picus sonic Tomograph (Argus, Germany)
Vibration	Vibración	Longitudinal / transverse vibration	Vibraciones inducidas	Vibration device	Equipo de vibraciones inducidas	Portable Lumber Grader (PLG) (Fakopp, Hungary)
						Timber Grader MTG 960 (Brookhuis, The Netherlands)
						Hitman HM200 (Fibre-gen, New Zealand)
						Model 340 Transverse Vibration E-Computer (Metriguard, USA)
Moisture measure	Humedad	Electrical resistance	Medición resistiva de humedad	Electrical resistance moisture meter	Xilohigrómetro de resistencia	Gann Hydromette RTU 600 (Gann, Germany)
		Capacitance	Medición capacitiva de humedad	Capacitance moisture meter	Xilohigrómetro capacitivo	FMW moisture detector (Brookhuis, The Netherlands)

ANEXO F. MADERA DE CASTAÑO: INFLUENCIA DE FACTORES GEOMÉTRICOS Y ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES

F.1 Introducción

El objeto del presente trabajo recogido en este anexo fue reproducir algunos de los estudios realizados sobre coníferas en la presente tesis doctoral, en una frondosa de procedencia española y uso estructural, como es el castaño (*Castanea sativa* Mill.).

La parte experimental de este anexo fue realizada en el Laboratorio de Madera Estructural del CETEMAS. Situado en la finca experimental La Mata, Grao, en Asturias. Durante el periodo de realización de los ensayos el equipo humano estaba compuesto por: D. Juan Majada Guijo (Director Científico) y D. Abel Vega Cueto (Investigador).

La muestra objeto de estudio consistió en dos lotes de 35 piezas de castaño, de dimensiones 100x150x4000 mm, procedentes de Maderas Siero S.A. situada en la parroquia de Argüelles (Siero), en la provincia de Asturias. Uno de los lotes fue adquirido en húmedo y el otro en seco. La tabla F.1 muestra los CH medios, las dimensiones medias y el número de piezas.

Tabla F.1 Resumen de CH y dimensiones

Especie y lote	CH		Dimensiones nominales (mm)	Dimensiones reales (mm)	Nº de piezas
	M (%)	CV (%)			
Castaño húmedo	47,4	12,42	100x150x4000	100x150x4000	35
Castaño seco	15,1	17,19	100x150x4000	100x150x4000	35
TOTAL					70

El material de ensayo fue financiado por el proyecto BIA 2010-18858 del Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional I+D+i 2008-2011.

F.2 Estudio de la influencia de la longitud de medida

El método seguido con ambos lotes, fue el mismo que se describió en material y métodos, cortando las piezas metro a metro desde 4 hasta 1 m. Se realizaron mediciones testa-testa con los equipos portátiles ND: Sylvatest Trio (22 kHz) y MicroSecond Timer.

En el presente estudio no se realizó corrección por CH, debido a que para cada especie, todas las mediciones (4, 3, 2 y 1 m) se realizaron a un CH constante. Como se compararon las mediciones a diferentes longitudes (distancia entre sensores para los equipos de transmisión de onda) dentro un mismo lote y un mismo CH, no se consideró necesario corregir las mediciones a un CH de referencia del 12%.

La tabla F.2 presenta los valores de las variables estudiadas por especie.

Tabla F.2 Resumen de tiempos de transmisión de onda

Especie y lote	L (m)	T Syl		T MST	
		M (μs)	CV (%)	M (μs)	CV (%)
Castaño húmedo	4	775	7,25	- *	-
	3	640	6,88	688	6,38
	2	426	6,93	462	7,62
	1	214	6,69	229	6,65
Castaño seco	4	788	8,71	-	-
	3	582	6,87	623	5,80
	2	378	6,90	419	6,33
	1	193	8,51	209	7,98

* No fue posible realizar las mediciones a 4 m con el equipo MST.

La tabla F.3 resume las medias de las velocidades de transmisión de onda obtenidas a partir de los tiempos (tabla F.2).

Tabla F.3 Resumen de velocidades de transmisión de onda

Especie y lote	L (m)	Vel Syl		Vel MST	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Castaño húmedo	4	5186	7,05	-	-
	3	4706	6,83	4380	6,13
	2	4713	7,02	4356	7,35
	1	4698	6,75	4380	6,49
Castaño seco	4	5113	8,20	-	-
	3	5180	6,54	4829	5,58
	2	5319	6,37	4796	6,20
	1	5204	7,76	4817	7,75

Las figuras F.1 y F.2 muestran por lote, la línea de tendencia de la media de velocidades de transmisión de onda (tabla F.3) con los diferentes equipos en función de la longitud de medida (distancia entre sensores).

Figura F.1 Velocidad de transmisión de onda (castaño húmedo)

Figura F.2 Velocidad de transmisión de onda (castaño seco)

A la vista de las figuras, para los dos equipos estudiados, y los dos lotes no se observó influencia de la longitud (distancia entre sensores) en la velocidad de transmisión de onda. En la figura F.1 se observó que la velocidad de Sylvatest Trio a 4 m de longitud era un valor anómalo, se cree que fue debido a un problema con los cables del equipo que posteriormente fue solventado, por tanto se prescindió de dicho dato para los análisis.

Se observaron, además, las diferencias de velocidad obtenidas mediante el uso de diferentes equipos de transmisión de onda. Al contrario de lo que sucedía en las especies estudiadas anteriormente, la velocidad obtenida con Sylvatest Trio fue superior a la obtenida con MST.

Se realizó también el estudio para las medidas cara-cara directas e indirectas, no encontrándose tampoco influencia de la longitud de medida.

F.3 Estudio de la influencia de la posición de los sensores

Las piezas utilizadas para el estudio de la posición de los sensores fueron las mismas que se utilizaron para el estudio de la influencia de la longitud de medida.

Dado que todos los ensayos se realizaron al mismo CH, no se aplicó corrección por CH en el presente estudio.

Se recuerda que las medidas directas son aquellas que se realizan entre caras opuestas, y las indirectas sobre la misma cara. Se realizaron dos medidas paralelas entre ambas caras, tomándose como valor la media de ambas.

En el presente estudio se realizaron medidas a una distancia mínima de 0,70 m, la cual se encuentra por debajo de la longitud mínima de 80 cm recomendada por el fabricante para el caso de Sylvatest Trio (Sylvatest 2016). Las limitaciones de longitud mínima de medida fueron explicadas en el subapartado 5.4.2.

La tabla F.4 presenta las velocidades de transmisión de onda de las mediciones cara-cara directas e indirectas.

Tabla F.4 Velocidades de transmisión de onda cara-cara directas e indirectas

Especie y lote	L (m)	Vel Syl CrD		Vel MST CrD		Vel Syl CrI		Vel MST CrI	
		M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)	M (m/s)	CV (%)
Castaño húmedo	3,7	4585	6,98	3946	7,20	4552	6,58	3883	7,90
	2,7	4562	6,90	3973	6,95	4573	6,75	3875	7,39
	1,7	4569	7,55	4243	6,91	4603	6,59	4212	6,36
	0,7	4542	7,98	4216	7,11	4603	6,47	4207	6,68
Castaño seco	3,7	5212	7,85	4825	5,32	5093	7,06	4871	6,48
	2,7	5127	6,19	4807	5,45	5082	6,73	4858	6,03
	1,7	5272	6,63	4800	6,77	5290	6,27	4793	6,39
	0,7	5156	8,51	4739	7,84	5132	7,39	4804	6,78

Aunque las longitudes de las mediciones testa-testa y cara-cara no eran las mismas, como las velocidades eran constantes, se procedió a comparar las velocidades testa-testa (tabla F.3) con las velocidades cara-cara directas e indirectas (tabla F.4). Para ello, se realizó un análisis de la varianza para cada lote y equipo.

Figura F.3 Gráfica de medias de velocidad de Sylvatest Trio (testa-testa, cara-cara directa y cara-cara indirecta) y longitud (castaño húmedo)

Figura F.4 Gráfica de medias de velocidad de MST (testa-testa, cara-cara directa y cara-cara indirecta) y longitud (castaño seco)

A la vista de las gráficas anteriores, las medidas de velocidad directa e indirecta, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, al igual que sucedía en las coníferas estudiadas en esta tesis.

Sin embargo, en algunos casos sí se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre las medidas de velocidad no testa-testa y las de testa-testa para el equipo Sylvatest Trio, no presentando dichas diferencias para el equipo MST, al igual que ocurría en el caso de las coníferas.

F.4 Estimación del módulo de elasticidad mediante técnicas no destructivas

Para la estimación del módulo de elasticidad fueron utilizados los mismos lotes de los apartados anteriores, para ello se tomaron los datos recogidos a 3 m de longitud, dado que fue en ese momento cuando se realizó el ensayo en máquina universal.

Si bien, en un principio se preveía realizar ajustes por CH a las variables utilizadas cuando se encontraban por debajo del 30% de CH, para obtener modelos corregidos al CH de referencia del 12%, al no disponer de un coeficiente de ajuste para las variables no destructivas específico para el castaño, se decidió por no aplicar dichas correcciones.

Los valores de las variables no destructivas utilizadas son los correspondientes a 3 m de longitud de la tabla F.3.

La tabla F.5 muestra los resultados de módulo de elasticidad local y global en flexión obtenidos en ensayo en máquina universal y la densidad global.

Tabla F.5 Módulos de elasticidad local y global en flexión y densidad

Especie y lote	CH (%)	Eloc		Eglo		Den glo	
		M (N/mm ²)	CV (%)	M (N/mm ²)	CV (%)	M (kg/m ³)	CV (%)
Castaño húmedo	47,4	11888	14,63	10140	14,32	683	10,07
Castaño seco	15,1	12314	9,98	11124	9,80	576	7,46

F.4.1 Estimación del módulo de elasticidad utilizando la velocidad

Se realizaron regresiones lineales simples entre el módulo de elasticidad estático y la velocidad obtenida con varios equipos, en húmedo y seco. A modo de ejemplo se presentan algunas figuras con diferentes equipos (figuras F.5 y F.6).

Figura F.5 Regresión lineal entre Eloc y velocidad (Castaño húmedo)

Figura F.6 Regresión lineal entre Eglo y velocidad (Castaño seco)

Dando lugar a una ecuación de estimación:

$$E = a \cdot \text{Vel} + b \quad (\text{F.1})$$

Donde: E es el módulo de elasticidad estático (N/mm^2); Vel es la velocidad (m/s).

Tabla F.6 Coeficientes de la ecuación F.1

Estimada	Variable	Especie y lote	a	b	R ² (%)
Eloc	Vel Syl	Castaño húmedo	4,22	-7968,88	60,77
		Castaño seco	2,45	-376,11	45,63
	Vel MST	Castaño húmedo	3,88	-5114,30	35,87
		Castaño seco	2,72	-805,93	35,56
Eglo	Vel Syl	Castaño húmedo	3,61	-6867,83	63,93
		Castaño seco	2,39	-1274,01	55,28
	Vel MST	Castaño húmedo	3,42	-4820,05	39,82
		Castaño seco	2,53	-1083,50	39,08

A la vista de los resultados, la estimación del módulo de elasticidad global presentó coeficientes de determinación sensiblemente más elevados que el local.

Se obtuvieron unos coeficientes de determinación más altos con la velocidad del equipo de ultrasonidos Sylvatest Trio que con la del equipo de ondas de impacto MST.

Además, en el caso del equipo Sylvatest Trio, la estimación en húmedo presentó coeficientes de determinación mayores que en seco.

Comparando con otros autores, el coeficiente de determinación en la estimación del Eglo con la velocidad de Sylvatest Trio en seco fue igual (55%) al presentado en la tesis doctoral de Vega (2013) para la misma especie, siendo sin embargo en el caso de MST menor (39%) que el obtenido en dicha tesis doctoral (53%).

F.4.2 Estimación del módulo de elasticidad utilizando el módulo de elasticidad dinámico

Se realizó la misma estimación del apartado anterior, es decir Eloc y Eglo, pero utilizando como variable predictora el Edin, obtenido a partir de la ecuación 5.12.

Se realizaron regresiones lineales simples entre el módulo de elasticidad estático y el módulo de elasticidad dinámico obtenido con varios equipos, en húmedo y seco. A modo de ejemplo se presentan algunas figuras con diferentes equipos (figuras F.7 y F.8).

Figura F.7 Regresión lineal entre Eloc y Edin (Castaño seco)

Figura F.8 Regresión lineal entre Eglo y Edin (Castaño húmedo)

Dando lugar a una ecuación de estimación:

$$E = a \cdot E_{din} + b \quad (F.2)$$

Donde: E es el módulo de elasticidad estático (N/mm²); E_{din} es el módulo de elasticidad dinámico (N/mm²).

Tabla F.7 Coeficientes de la ecuación F.3

Estimada	Variable	Especie y lote	a	b	R ² (%)
Eloc	Edin Syl	Castano húmedo	0,84	-851,62	81,17
		Castano seco	0,49	4650,63	62,81
	Edin MST	Castano húmedo	0,73	2322,91	43,04
		Castano seco	0,50	5524,64	42,87
Eglo	Edin Syl	Castano húmedo	0,76	-1399,51	95,50
		Castano seco	0,46	4051,34	67,92
	Edin MST	Castano húmedo	0,69	1110,99	54,99
		Castano seco	0,44	5261,46	40,57

A la vista de los resultados, la estimación del módulo de elasticidad global presentó coeficientes de determinación sensiblemente más elevados que el local.

La estimación realizada con el E_{din} presentó coeficientes de determinación mayores que la realizada con la velocidad.

Se obtuvieron unos coeficientes de determinación más altos con el E_{din} del equipo de ultrasonidos Sylvatest Trio que con el del equipo de ondas de impacto MST.

Además, en el caso del equipo Sylvatest Trio, la estimación en húmedo presentó coeficientes de determinación mayores que en seco.

Comparando con otros autores, el coeficiente de determinación en la estimación del Eglo con la velocidad de Sylvatest Trio en seco (68%) fue similar al presentado en la tesis doctoral de Vega (2013) (71%), siendo sin embargo en el caso de MST menores (40%) que los obtenidos en dicha tesis doctoral (56%).

ANEXO G. CLASIFICACIÓN NO DESTRUCTIVA MEDIANTE MÁQUINA AUTOMÁTICA PLG+

G.1 Introducción

Desde hace años se viene trabajando en la estandarización del proceso de obtención de ajustes de clasificación por especie, mediante máquinas automáticas basadas en TND.

La primera referencia normativa encontrada, a nivel europeo, data del año 1995:

UNE-EN 519:1998 Madera estructural. Clasificación. Requisitos para la madera clasificada mecánicamente y para las máquinas de clasificación (EN 519:1995).

En dicha norma se trataba de manera breve los requisitos para el ajuste inicial de los parámetros de máquina. En el apartado 8.1 se nombraban los requisitos relativos a los sistemas de máquina controlada, indicando:

- La necesidad de establecer un modelo matemático que relacione las propiedades indicadoras de la máquina con el grupo de especies, la clase resistente y las dimensiones. Para ello deberán realizarse ensayos sobre una muestra de al menos 100 piezas.
- Si las especies se comportan de forma similar, se permite extrapolar los ajustes de una especie a otra. Dichos ajustes se establecen para un número y combinación de clases resistentes.

La siguiente referencia normativa encontrada, la cual deroga la norma anteriormente citada, es de noviembre de 2005:

EN 14081-2:2005 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2: Machine grading; additional requirements for initial type testing. (Ratificada por AENOR en 2006)

En dicha norma y en las sucesivas versiones de ella (UNE-EN 14081-2:2010 y UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013) se abordaron en profundidad los ajustes iniciales de máquina, estableciendo los siguientes requisitos principales:

- Es necesaria una muestra de ensayo total mínima de 900 piezas para una máquina no incluida en la norma y una especie. Reduciéndose dicho número a 450 piezas para una máquina ya incluida en la norma de la cual se requieren ajustes para una especie diferente.
Nota: Para futuras versiones de la norma está previsto reducir la muestra de ensayo total mínima a 300 piezas.
- Dichas piezas deberán dividirse para su análisis en al menos 4 submuestras con un número mínimo de 100 piezas cada una.
Nota: Para futuras versiones de la norma está previsto reducir el número de submuestras a 2.

- Son necesarias al menos 2 submuestras de al menos 100 piezas cada una para una máquina y una especie previamente incluida en la norma, si se desea verificar si los ajustes existentes son aceptables para una nueva área de crecimiento de la misma especie.
- La muestra debe ser representativa de la procedencia de la madera utilizada en la fabricación.
Nota: Uno de los temas más confusos es definir procedencia (source) y área de crecimiento (growth area). Observando las tablas de la norma EN 14081-4:2005+A3:2008 se interpretó que la procedencia se refiere a país. Se pueden encontrar áreas de crecimiento que abarquen varios países, en cuyo caso la muestra deberá incluir al menos una submuestra procedente de cada país. Por lo tanto dentro de un área de crecimiento se pueden encontrar varias procedencias. Por ejemplo 2 áreas de crecimiento distintas serían Norte Europa y Centro Europa, dentro de cada una habrá diversas procedencias (países). No deben usarse los ajustes del área de crecimiento Norte Europa para el de Centro Europa, sin embargo si es posible hacerlo al revés.
- Además, son necesarias al menos 3 escuadrías diferentes.
Nota: No se especifica el número mínimo de piezas necesario de cada escuadría.
- Si se van a clasificar más de 2 clases en una misma pasada, son necesarias al menos 40 piezas de cada clase asignada.

Algunos ejemplos de la aplicación de dicha norma a especies de procedencia española son:

En el año 2001, en el apartado 5.5.2 de la tesis doctoral "Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L." (Hermoso 2001), aparecía la aplicación del proyecto de norma europeo EN 14081-2 de diciembre de 2000 (anteriormente llamado EN TC 124-1.1), para el cálculo de ajustes de la máquina automática Cook-Bolinder para la especie pino silvestre.

Otro cálculo de los ajustes de la máquina Cook-Bolinder, para la especie pino laricio, fue presentado en el apartado 5.5.1 de la tesis doctoral "Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra Subsp. Salzmannii*" (Conde 2003).

Una tercera especie de procedencia española, pino pinaster de las subespecie atlántica, procedente de Galicia, fue estudiada para el cálculo de los ajustes de la máquina Cook-Bolinder, así como el posible uso para dicha especie de los mismos ajustes de la especie pino laricio previamente incluidos en la norma 14081-4. Concluyendo que se pueden usar los ajustes de una especie para la otra, si bien se pierde rendimiento de clasificación (Carballo *et al.* 2008).

Otra referencia, fue el cálculo de los ajustes de una máquina clasificadora, basada en la técnica no destructiva de vibración longitudinal en sentido paralelo a la fibra, sobre una muestra de 395 piezas de las especies pino radiata, silvestre y laricio (Arriaga *et al.* 2012).

G.2 Aplicación práctica

Basándose en la versión de la norma UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013 se procedió al cálculo de los ajustes de la máquina PLG+ (Portable Lumber Grader +), para picea cuyo área de crecimiento es Centro Europa y procedencia Eslovaquia.

Figura G.1 Dispositivo de ensayo para vibración longitudinal con PLG+

La máquina clasificadora tiene su origen en la empresa húngara Fakopp Enterprise bajo la denominación PLG (Portable Lumber Grader), si bien, el modelo actualmente analizado, PLG+, es propiedad de la Universidad del Oeste de Hungría (NYME) con sede en Sopron (Hungría).

PLG+ está compuesta por los siguientes accesorios (figura G.1):

- Ordenador con pantalla táctil
- 2 balanzas
- Distanciómetro láser
- Micrófono
- Martillo

Permite introducir manualmente los datos de dimensión de canto, dimensión de cara, contenido de humedad y CKDR.

Se coloca la pieza biapoyada en sus extremos sobre las balanzas, que miden la masa, y el distanciómetro láser registra la longitud. Al tener 2 balanzas, la pieza

puede sobresalir sobre uno de sus apoyos sin que afecte a las medidas. Su principio de funcionamiento se basa en la técnica de vibraciones inducidas. Mediante un impacto en una de las testas de la pieza se induce una vibración natural en la pieza. Dicha vibración se recoge mediante el micrófono, el cual mediante un software usando la transformada de Fourier, obtiene los modos de vibración longitudinal de la pieza. Usando finalmente el dato del primer modo natural de vibración longitudinal y la densidad para la asignación de clase resistente, haciendo uso de los ajustes que se exponen a continuación.

Nota: Para inducir vibraciones longitudinales (al contrario que para las transversales) debe golpearse con un material duro (por ejemplo un martillo) sobre un material duro (la testa), si el acabado de la testa no es bueno, el golpe podría amortiguarse y no inducir bien la vibración.

Se disponía de 977 datos de picea ensayados entre los años 2008 y 2014: 678 datos fueron obtenidos durante la realización de la tesis “Strength of Structural Lumbers in Relation to Physical Properties” (Sismandy 2012) y otros 299 fueron obtenidos durante una estancia breve FPI realizada por el doctorando Daniel Fernández Llana en Sopron.

Se consideró que la muestra era representativa de la procedencia, pues si bien todo el material fue adquirido en el mismo aserradero, dado que asierra picea procedente de toda Eslovaquia y que desde el año 2008 hasta 2014 se recibió material en diferentes envíos, y como cada envío fue asignado al menos a una submuestra, se aseguró que cada submuestra proviene de una zona elegida aleatoriamente dentro de la procedencia.

A continuación se enumeran los pasos seguidos:

1. Homogenización de la base de datos, identificación de la propiedad indicadora y combinación de clases resistentes.
2. Determinación de la clase óptima.
3. Determinación de la clase asignada. Ecuaciones.
4. Determinación de la clase asignada. Valores iniciales de paso.
5. Elaboración de matrices.
6. Valores finales de paso.
7. Tabla propuesta para incluir en la norma EN 14081-4.

1 Homogenización de la base de datos, identificación de la propiedad indicadora y combinación de clases resistentes

De la muestra inicial se seleccionaron aquellas piezas que disponían de los datos necesarios: Dimensiones (cara, canto y longitud), E, Trot y densidad (obtenidos según la norma UNE-EN 408), FreLplg (frecuencia del primer modo natural de vibración longitudinal). Las variables E y densidad (Den) fueron corregidas a una humedad de referencia del 12%, dado que el contenido de humedad de las piezas se encontraba entre el 8% y 18% (según UNE-EN 384:2010).

Obteniéndose una muestra final compuesta por 977 piezas con las escuadrías que se indican en la tabla G.1.

Tabla G.1. Dimensiones y número de piezas

Especie	Procedencia	Dimensiones (mm)	Nº piezas
Picea <i>Picea abies</i>	Eslovaquia	25x45x1000	239
		25x100x2000	134
		50x100x2000	346
		100x100x2000	123
		50x150x3000	101
		75x150x3000	34
Nº total de piezas			977

Se comprobó que las piezas cumplían las tolerancias de dimensiones especificadas en la norma UNE-EN 336:2014.

Se identificó la frecuencia $FreLplg$ como IP (propiedad indicadora).

Asimismo, se definió como más interesante la siguiente combinación de clases resistentes:

- C30/C24/C18/Rechazo

Sí se deseara que la máquina clasificara todas las clases resistentes que figuran en la norma UNE-EN 338:2010 (12 para coníferas), lo más probable es que en algunas de las clases no se alcanzaran las 40 piezas mínimas requeridas para cada clase asignada en una pasada.

Finalmente, se optó por una combinación formada por 3 clases, debido a que el diseñador y fabricante del equipo estaba interesado en la comercialización del equipo en los aserraderos de pequeño y mediano tamaño de Hungría, en la mayoría de los cuales actualmente se clasifica visualmente en 3 clases: primera, segunda y tercera. Además, estas clases resistentes, C30/C24/C18, coinciden con las asignaciones de calidades visuales según la norma UNE-EN 1912:2012, que se realiza para picea haciendo uso de la norma de clasificación visual alemana (DIN 4074-1:2003), que es la más utilizada en la industria en Hungría. La norma de clasificación eslovaca (STN 49 1531:2001), cuya correspondencia sería C30/C24/C16 para picea, no es utilizada en Hungría.

2 Determinación de la clase óptima

La clase óptima sería la que se obtendría con una máquina ficticia que clasificara sin ningún tipo de error.

Es aceptado mundialmente que los valores de E y Trot obtenidos mediante máquina de ensayo universal son los correctos, y por lo tanto dichos valores permitieron obtener la clase óptima.

A la hora de realizar dicha clasificación, surgió la duda de si debía realizarse asignando la clase resistente por lotes o pieza a pieza individualmente.

La asignación de clase resistente por lotes se realiza mediante un ranking de todas las piezas por los valores de E (de mayor a menor). Se comienza por la de mayor E, y se obtiene el número máximo de piezas cuyo E medio ($E_{0,medio}$) es mayor o igual al valor correspondiente para la clase más alta deseada (en este caso C30, por tanto 12000 N/mm² según la norma UNE-EN338:2010). Debe comprobarse que ese lote de piezas cumple a su vez con los criterios del 5º percentil de Trot y de densidad según dicha norma. Retirando esas piezas que cumplen dichos criterios (de C30) como lote y no individualmente. Se procede de la misma forma con el resto de piezas para la siguiente clase deseada (en este caso C24) y así sucesivamente. Esta forma de determinación de clase óptima planteaba 2 problemas: El primero era que dicha clasificación se iba a comparar con la obtenida por máquina clasificadora, y dicha máquina está diseñada para asignar clase resistente pieza a pieza y no por lotes. En segundo lugar, se encontró que cuando las piezas, como sucedía en este caso, tienen valores relativamente altos de Trot y densidad, siendo el factor limitante el E, dado que se asigna clase por valor medio de E, el número de piezas es muy grande en la clase más alta y muy pequeño en la segunda, volviendo a aumentar en la tercera y disminuyendo en la cuarta. Sin embargo si se empezara a clasificar por la clase más baja o por la intermedia, los resultados serían distintos.

Por todo lo anteriormente expuesto, se tomó la decisión de determinar la clase óptima pieza a pieza individualmente, actuando del siguiente modo con cada pieza:

Se le asignó una clase óptima por su valor de E, comparándolo con los de la norma UNE-EN 338:2010 multiplicados por 0,95.

Se le asignó una clase óptima por su valor de Trot, comparándolo con los de la norma UNE-EN338:2010, aplicando los coeficientes k_h (cuando $h < 150$ mm), k_s y k_v (1,12 si $< C35$), cuando correspondían de acuerdo con la norma UNE-EN 384:2010.

Se le asignó una clase óptima por su valor de densidad, comparándolo con los de la norma UNE-EN 338:2010.

La clase óptima para cada pieza era la más restrictiva de las 3 anteriores. En la tabla G.2 se expone el número de piezas en cada clase.

Tabla G.2. Número de piezas en cada clase óptima

Clase óptima	Nº piezas	% piezas
C30	290	29.7
C24	146	14.9
C18	304	31.1
Rechazo	237	24.3

3 Determinación de la clase asignada. Ecuaciones

El primer paso, fue dividir la muestra total en varias submuestras, en el borrador de la norma EN 14081-2 del año 2000 debían realizarse 10 sub-muestras tomando las piezas aleatoriamente, sin embargo, como ya se expuso en la versión definitiva

de la norma y en sus subsiguientes versiones, se exigen al menos 4 submuestras, de al menos 100 piezas cada una, se decidió dividir la madera por escuadrías y por el momento de recepción, lo cual dio lugar a 8 submuestras, que se muestran en la tabla G.3.

A continuación se determinó el modelo de regresión a utilizar (lineal, exponencial, logarítmico...), se decidió aplicar un modelo de regresión lineal múltiple ($y=a+bx+cz...$), ya que permitía incluir todas las variables relevantes para el modelo. Se realizaron 2 modelos diferentes, dado que el usuario podrá elegir utilizar la máquina introduciendo o no el valor de CKDR.

$$E=a+b \cdot Edin+c \cdot canto+d \cdot cara \quad (G.1)$$

$$E=a+b \cdot Edin+c \cdot canto+d \cdot cara+e \cdot CKDR \quad (G.2)$$

Se comprobó que todas las variables del modelo (Edin, canto, cara y CKDR) son significativas ($p<0.05$).

Nota: Se entiende por canto la menor dimensión de la sección transversal y cara la mayor.

En estos modelos no se consideró directamente el valor de la propiedad indicadora (frecuencia), sino Edin (módulo de elasticidad dinámico), el cual es una transformación directa de ella en función de la densidad, usando la siguiente expresión.

$$Edin=Den \cdot (2 \cdot FreLplg \cdot L)^2 \quad (G.3)$$

Para obtener los coeficientes de cada modelo se procedió como indica la norma, haciendo uso para cada submuestra de los datos de las otras submuestras, es decir para la submuestra 1, se utilizaron conjuntamente los datos de las submuestras 2 a 8. Obteniendo por tanto 8 ecuaciones una para cada submuestra, como se muestra en la tabla G.3.

Tabla G.3. Coeficientes de la ecuación G.1 para cada submuestra

Submuestra	Nº piezas	a	b	c	d	R ² (%)	Calculados con las submuestras
1 (25x50)	120	1551,80	0,85	-3,77	-5,00	85,72	2, 3, 4, 5, 6, 7 & 8
2 (25x50)	119	1237,84	0,85	-3,01	-3,05	86,42	1, 3, 4, 5, 6, 7 & 8
3 (50&75x150)	135	1344,02	0,87	-2,21	-6,34	87,17	1, 2, 4, 5, 6, 7 & 8
4 (25x100)	134	1396,95	0,86	-7,51	-2,31	87,46	1, 2, 3, 5, 6, 7 & 8
5 (100x100)	123	1032,74	0,87	12,82	-8,83	85,81	1, 2, 3, 4, 6, 7 & 8
6 (50x100)	120	1088,16	0,88	-2,96	-4,14	84,50	1, 2, 3, 4, 5, 7 & 8
7 (50x100)	121	1068,54	0,88	-3,16	-4,28	84,85	1, 2, 3, 4, 5, 6 & 8
8 (50x100)	105	1253,72	0,86	-3,23	-4,34	85,99	1, 2, 3, 4, 5, 6 & 7
Media	-	1246,72	0,86	-1,63	-4,79	85,99	
CV (%)	-	13,54	1,14	347,52	39,62	-	
Desviación estándar	-	168,79	0,01	5,67	1,90	-	

La media de dichos coeficientes dio lugar a otra ecuación que es la que se debía introducir en el software de la máquina clasificadora. Dicha ecuación era:

$$E = 1246,72 + 0,86 \cdot \text{Edin} - 1,63 \cdot \text{canto} - 4,79 \cdot \text{cara} \quad (\text{G.4})$$

Procediendo de igual manera en el modelo que incluye CKDR se obtuvo:

$$E = 1493,49 + 0,85 \cdot \text{Edin} - 1,42 \cdot \text{canto} - 3,12 \cdot \text{cara} - 1121,54 \cdot \text{CKDR} \quad (\text{G.5})$$

Aplicando a cada pieza de la submuestra su ecuación correspondiente se obtuvo un E predicho (Epre), que era el valor a utilizar para clasificar las piezas.

4 Determinación de la clase asignada. Valores iniciales de paso

Para poder clasificar las piezas era necesario calcular los valores de referencia o valores de paso, para ello se realizó una regresión lineal simple entre E predicho y el E, para cada submuestra:

$$E_{\text{pre}} = f + g \cdot E \quad (\text{G.6})$$

Obteniendo las 8 ecuaciones que se muestran en la tabla G.4.

Tabla G.4. Regresiones entre E pred y E

Submuestra	Nº piezas	f	g	R ² (%)	Calculados con la submuestra
1 (25x50)	120	2949,80	0,7505	85,86	1
2 (25x50)	119	3148,50	0,7139	77,59	2
3 (50&75x150)	135	1763,80	0,8067	74,19	3
4 (25x100)	134	2663,20	0,7844	76,72	4
5 (100x100)	123	2568,70	0,8385	87,53	5
6 (50x100)	120	-143,91	1,0159	94,04	6
7 (50x100)	121	15,43	0,9571	93,55	7
8 (50x100)	105	1191,30	0,8738	85,60	8
Media	-	1769,60	0,8426	84,39	
CV (%)		68,64	11,40	-	
Desviación estándar		1214,72	0,10	-	

Sustituyendo en cada una de las 8 ecuaciones los valores de E, que correspondían a cada clase resistente elegida (C30/C24/C18) multiplicados por el coeficiente 0,95, según la norma UNE-EN338:2010 (ej: para C30 sería 12000·0,95), se obtuvieron los valores iniciales de paso para cada submuestra, como se muestra en la tabla G.5.

Tabla G.5. Valores iniciales de paso

Submuestras	Nº piezas	Valores de paso (N/mm ²) por clase resistente		
		C30	C24	C18
1 (25x50)	120	11505,50	10792,53	9366,58
2 (25x50)	119	11286,96	10608,76	9252,35
3 (50&75x150)	135	10960,18	10193,82	8661,09
4 (25x100)	134	11605,36	10860,18	9369,82
5 (100x100)	123	12127,60	11331,03	9737,88
6 (50x100)	120	11437,35	10472,25	8542,04
7 (50x100)	121	10926,37	10017,13	8198,64
8 (50x100)	105	11152,62	10322,51	8662,29
Media	-	11375,24	10574,77	8973,83
CV (%)		3,22	3,71	5,51
Desviación estándar		365,88	392,46	494,30

Según el apartado 6.2.4.6 de la norma UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013, los ajustes de fabricación deben calcularse como el valor medio para cada clase, si este valor no difiere en más del 15% del ajuste menor.

De la misma manera, fueron obtenidos los valores iniciales de paso (vip) en el modelo que incluye CKDR, como resultó más interesante obtener unos únicos valores de paso y los valores son muy cercanos, se eligieron como valores iniciales de paso los más altos de los obtenidos sin y con CKDR, que se muestran en la tabla G.6.

Tabla G.6. Valores iniciales de paso

Clase	Eprevip	EprevipCKDR	Mayores vip
C30	11375	11401	11401
C24	10575	10599	10599
C18	8974	8994	8994

Por lo tanto conociendo dichos valores, se estaba en situación de realizar una primera determinación de la clase asignada. Comparando el Epre de cada pieza con los valores iniciales de paso.

Según el apartado 6.2.4.6 de la norma UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013, en la determinación de las clases asignadas se admite modificar el ajuste de la clase superior de forma que aumente el número de piezas en la clase inferior. Dado que teníamos al menos las 40 piezas mínimas en cada clase, no fue necesario modificarlo de momento, realizando las matrices con los valores iniciales de paso.

5 Elaboración de matrices

Según los apartados 6.2.4.7 y 6.2.4.8 de la norma UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013 deben elaborarse 3 matrices como se indica a continuación.

La primera de ellas será la matriz de tamaño, en la cual se muestra el número de piezas óptimas y asignadas de cada clase, cotejando unas con otras mostrando el número de sobreestimadas y subestimadas.

Tabla G.7. Matriz de tamaño sin CKDR

Matriz de tamaño sin CKDR		Clase asignada			
		C30	C24	C18	Rechazo
Clase óptima	C30	255	31	14	0
	C24	38	51	56	1
	C18	10	47	176	71
	Rechazo	0	5	35	197

A continuación, se elaboró la matriz de coste elemental, la cual se obtuvo directamente de la norma, únicamente fue necesario calcular el valor de los rechazos, en función del 75% del valor requerido para la clase más baja que se clasifique (en este caso C18) y haciendo uso de las fórmulas que figuran en el anexo A de la norma. En dicho anexo se encuentran fórmulas diferentes según las piezas sean sobreestimadas o subestimadas. Las primeras se calculan a partir del Trot y las segundas a partir del E.

Sobreestimadas:

$$\text{Coste} = 3,33 \cdot ((f_{k,\text{asignada}}/f_{k,\text{óptima}}) - 1) \quad (\text{G.7})$$

Donde: $f_{k,\text{asignada}}$ el que corresponda a la clase asignada (UNE-EN 338), en kN/mm^2 ; $f_{k,\text{óptima}}$ el 75% del Trot (UNE-EN 338) de la clase más baja, en kN/mm^2

Ej.: Una pieza asignada como C24 que óptimamente es rechazo, siendo la clase más baja clasificada C18 sería: $\text{Coste} = 3,33 \cdot ((24/(0,75 \cdot 18)) - 1) = 2,59$

Subestimadas:

$$\text{Coste} = 10 \cdot [(E_{\text{óptimo}}/E_{\text{asignado}})^a - 1] \quad a = 1/3 \text{ (flexión)} \quad (\text{G.8})$$

Donde: $E_{\text{óptimo}}$ el que corresponda a la clase óptima (UNE-EN 338), en N/mm^2 ; E_{asignado} el 75% del MOE (UNE-EN 338) de la clase más baja, en N/mm^2

Ej.: Una pieza que óptimamente es C24 asignada como rechazo, siendo la clase más baja clasificada C18 sería: $\text{Coste} = 10 \cdot [(11000/(0,75 \cdot 9000))^{1/3} - 1] = 1,77$

Realizando dichos cálculos en cada caso se obtuvo la siguiente matriz, tabla G.8, siendo R las piezas rechazadas.

Tabla G.8. Matriz de coste elemental

14081-2		Clase asignada												R
		C50	C45	C40	C35	C30	C27	C24	C22	C20	C18	C16	C14	
Clase óptima	C50	0,00	0,22	0,45	0,72	1,01	1,16	1,33	1,69	1,90	2,11	2,60	3,17	3,33
	C45	0,37	0,00	0,23	0,49	0,77	0,92	1,09	1,45	1,64	1,85	2,33	2,89	3,05
	C40	0,83	0,42	0,00	0,25	0,53	0,68	0,84	1,19	1,38	1,59	2,05	2,60	2,75
	C35	1,43	0,95	0,48	0,00	0,27	0,42	0,57	0,91	1,10	1,30	1,76	2,29	2,44
	C30	2,22	1,67	1,11	0,56	0,00	0,14	0,29	0,63	0,81	1,01	1,45	1,97	2,11
	C27	2,84	2,22	1,60	0,99	0,37	0,00	0,15	0,48	0,66	0,85	1,29	1,80	1,94
	C24	3,61	2,92	2,22	1,53	0,83	0,42	0,00	0,32	0,50	0,69	1,12	1,63	1,77
	C22	4,24	3,48	2,73	1,97	1,21	0,76	0,30	0,00	0,17	0,36	0,77	1,26	1,40
	C20	5,00	4,17	3,33	2,50	1,67	1,17	0,67	0,33	0,00	0,18	0,59	1,07	1,21
	C18	5,93	5,00	4,07	3,15	2,22	1,67	1,11	0,74	0,37	0,00	0,40	0,87	1,01
	C16	7,08	6,04	5,00	3,96	2,92	2,29	1,67	1,25	0,83	0,42	0,00	0,46	0,58
	C14	8,57	7,38	6,19	5,00	3,81	3,10	2,38	1,90	1,43	0,95	0,48	0,00	0,12
	R	9,00	7,77	6,54	5,30	4,07	3,33	2,59	2,10	1,60	1,11	0,62	0,12	0,00

Las piezas sobreestimadas tienen mayor penalización que las subestimadas.

Por último, fue necesario realizar una matriz de coste global, la cual se obtuvo a partir de las 2 matrices anteriores, cada celda era el producto de la celda de la matriz de tamaño por la celda correspondiente de la matriz de coste elemental, dividido por el número total de piezas de la clase asignada.

Ej.: Piezas que óptimamente son C24 pero fueron asignadas como C30

$$\text{Coste global} = 38 \cdot 0,83 / (255 + 38 + 10 + 0) = 0,10$$

Tabla G.9. Matriz de coste global

Matriz de coste global sin CKDR		Clase asignada			
		C30	C24	C18	Rechazo
Clase óptima	C30	0,00	0,07	0,01	0,00
	C24	0,10	0,00	0,14	0,01
	C18	0,07	0,39	0,00	0,27
	Rechazo	0,00	0,10	0,14	0,00

Según el apartado 6.2.4.9 de la norma UNE-EN 14081-2:2010+A1:2013 ninguna de las celdas que indican piezas incorrectamente clasificadas en la clase superior (indicadas en **negrita**) debe ser mayor de 0,2. En este caso existe un valor superior a 0,2.

El mismo procedimiento fue empleado para el modelo que incluye CKDR, observando igualmente un valor superior a 0,2.

6 Valores finales de paso

Al observar que algún valor de la matriz de coste global no cumple con el valor máximo (0,2) establecido por la norma, y dado que según el apartado 6.2.4.6 de dicha norma en la determinación de las clases asignadas se admite modificar el ajuste de la clase superior de forma que aumente el número de piezas en la clase

inferior, se aumentaron los valores de las clases C30 y C24 hasta que cumplió. Obteniendo los valores finales de paso (vfp) que se muestran en la tabla G.10.

Tabla G.10. Valores finales de paso

Clase	Eprevfp
C30	12500
C24	10900
C18	8995

Con dichos valores se obtuvo una nueva matriz de tamaño (tabla G.11) y una nueva matriz de coste global (tabla G.12), no experimentando variación la matriz de coste elemental (tabla G.8):

Tabla G.11. Nueva matriz de tamaño sin CKDR

Nueva matriz de tamaño sin CKDR		Clase asignada			
		C30	C24	C18	Rechazo
Clase óptima	C30	163	114	13	0
	C24	6	57	82	1
	C18	2	36	195	71
	Rechazo	0	3	37	197

Tabla G.12. Nueva matriz de coste global sin CKDR

Nueva matriz de coste global sin CKDR		Clase asignada			
		C30	C24	C18	Rechazo
Clase óptima	C30	0,00	0,16	0,04	0,00
	C24	0,03	0,00	0,17	0,01
	C18	0,03	0,19	0,00	0,27
	Rechazo	0,00	0,04	0,13	0,00

Procediendo de la misma manera con el modelo con CKDR se obtuvo una nueva matriz de coste global con CKDR (tabla G.13)

Tabla G.13. Nueva matriz de coste global con CKDR

Nueva matriz de coste global con CKDR		Clase asignada			
		C30	C24	C18	Rechazo
Clase óptima	C30	0,00	0,15	0,04	0,00
	C24	0,03	0,00	0,16	0,01
	C18	0,02	0,19	0,00	0,27
	Rechazo	0,00	0,01	0,14	0,00

7 Tabla propuesta para incluir en la norma 14081-4

Dado que las nuevas matrices de coste global cumplían con lo establecido en la norma, se calcularon los valores de Trot y densidad que debían acompañar a los valores finales de paso de Epre en la tabla a incluir en próxima versión de la norma EN 14081-4:2005+A3:2008.

En el caso del Trot se decidió calcular el 5º percentil de las piezas con una determinada clase asignada, si bien este valor no es más que orientativo, pues la máquina clasificadora no predice el Trot.

Con respecto a la densidad, dado que interviene directamente en la fórmula de cálculo del Edin, su valor ya se encontraba incluido en los de Epre que aparecen en la tabla, por tanto únicamente debería descartarse una pieza para una determinada clase, cuando esta no cumpliera con el valor mínimo de densidad que establece la norma UNE-EN 338:2010 para dicha clase.

La tabla G.14 muestra los valores propuestos para incluir en la parte cuarta de la norma, dado que dicha norma no se encuentra transcrita al castellano, se presenta en inglés y con el formato de las tablas de dicha norma.

Tabla G.14. Valores propuestos para la norma EN 14081-4

Source Country	Source mark	Species	Permitted timber size (mm)	Grade	Model value		
					f_{mk}	E_m	ρ_k
Slovakia	SK	Spruce <i>Picea abies</i>	$23 \leq t_n \leq 110$	C30	40,51	12500	380
			$45 \leq b_n \leq 165$	C24	32,16	10900	350
				C18	25,86	8995	320

Nota: Parece que en un futuro próximo se presentarán cambios al procedimiento aquí descrito, dado que ya fue publicada la norma EN 14081-1:2016 y en breve se publicará la parte 2 de dicha norma con los nuevos requisitos para máquinas automáticas.

ANEXO H. ESTANCIAS EN OTROS CENTROS DE I+D U ORGANISMOS SUPERIORES DE ENSEÑANZA

Las estancias realizadas por el doctorando en otros centros de investigación y organismos de enseñanza superior distintos al grupo de trabajo habitual, han influido notablemente en el desarrollo de la presente tesis doctoral, dichas estancias se enumeran a continuación cronológicamente:

Periodo: **Agosto 2012 – Octubre 2012**

Responsable: **Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Peter Niemz**

Centro: Holzphysik. Institut für Baustoffe. (Física de la madera. Instituto de materiales de construcción)

Organismo: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)

Lugar: Zurich, Suiza

Periodo: **Diciembre 2012 – Agosto 2015 (varios periodos)**

Responsable: **Dr.^a Eva Hermoso Prieto**

Centro: Laboratorio de Estructuras de Madera

Organismo: CIFOR-INIA

Lugar: Madrid, España

Periodo: **Septiembre 2013 – Diciembre 2013**

Responsable: **Dr. Xiping Wang**

Centro: Forest Products Laboratory. U.S. Forest Service (Laboratorio de productos forestales. Servicio forestal estadounidense)

Organismo: U.S. Department of Agriculture

Lugar: Madison, Wisconsin, EEUU

Periodo: **Septiembre 2014 – Diciembre 2014**

Responsable: **Prof. Dr. Ferenc Divós**

Centro: Roncsolásmentes Faanyagvizsgálati Laboratorium. (Laboratorio de técnicas no destructivas)

Organismo: Nyugat-Magyarországi Egyetem (NYME Sopron) (Universidad del Oeste de Hungría)

Lugar: Sopron, Hungría

Además de la experiencia personal que supusieron dichas estancias, el enriquecimiento a nivel profesional fue realmente satisfactorio, aportando grandes avances en el desarrollo de la presente tesis doctoral.

ANEXO I. DIFUSIÓN DE RESULTADOS

I.1 Artículos en revistas científicas indexadas en el JCR

Título: Time-of-flight adjustment procedure for acoustic measurements in structural timber (2016)

Autores: Daniel F. Llana, Guillermo Íñiguez-González, Francisco Arriaga y Xiping Wang

Revista: BioResources (ISSN: 1930-2126)

Volumen y páginas: 11 (2) 3303-3317

Impacto: 1,425 (Q1) 5 de 21 en Materials Science, Paper and Wood (2014)

DOI: 10.15376/biores.11.2.3303-3317

Archivo en pdf descargable en: <https://www.ncsu.edu/bioresources/>

Referencia bibliográfica: Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Wang, X. (2016). Time-of-Flight Adjustment Procedure for Acoustic Measurements in Structural Timber. BioResources 11 (2) 3303-3317. ISSN: 1930-2126. DOI: 10.15376/biores.11.2.3303-3317.

Resumen:

The effect of timber length on time-of-flight acoustic longitudinal measurements was investigated on the structural timber of four Spanish species: radiata pine (*Pinus radiata* D. Don), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), lario pine (*Pinus nigra* Arn.), and maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Time-of-flight longitudinal measurements were conducted on one hundred and twenty specimens of dimensions 90 × 140mm using three commercially available acoustic instruments (Sylvatest Duo, USLab, and Microsecond Timer). Time-of-flight data were initially obtained from the full-length (4 m) specimens, and then from the specimens cut to 3, 2, and 1 meter in length by successively cutting off 0.5 m from each end. The acoustic longitudinal velocity of the timber specimens of different lengths was also measured using a resonance-based acoustic method. The apparent acoustic longitudinal velocity for all species increased linearly as the timber length decreased from 4 to 1 meter. Acoustic velocity determined from time-of-flight data was significantly higher than the acoustic velocity determined using the resonance method, indicating systematic measurement errors associated with the time-of-flight instruments. Empirical models were developed for the relationships between time-of-flight measurements on timber specimens and timber lengths in the range of 1 to 4 m. Finally, a procedure was proposed to correct the time-of-flight data.

Título: Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber structures (2015)

Autores: Guillermo Íñiguez-González, Francisco Arriaga, Miguel Esteban y Daniel F. Llana

Revista: Construction and building materials (ISSN: 0950-0618)

Volumen y páginas: 101 (2015) 1166-1171

Impacto: 2,296 (Q1) 7 de 59 en Construction and Building Technology (2014)

DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.128

Archivo en pdf descargable en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815006704>

Referencia bibliográfica: Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Esteban, M.; Llana, D.F. (2015). Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber structures. *Construction and building materials* 101 (2015) 1166-1171. ISSN: 0950-0618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.128.

Resumen:

The main objective of this paper is to define the reference conditions and to propose modification factors to standardize the variables recorded by different nondestructive techniques. This practice will make it possible to generate consistent practical data while developing a procedure for the standardization of timber structure assessment. The nondestructive variables analyzed are: time of flight, natural frequency, pullout resistance, penetration depth and drill resistance. The factors which affect these variables are: moisture content, temperature, size/length and positioning of sensors and angle to the grain. Reference conditions are defined and equations and modifications factors are proposed to help in the evaluation of existing timber structures and decision making.

Título: Influence of temperature and moisture content on non-destructive measurements in Scots pine wood (2014)

Autores: Daniel F. Llana, Guillermo Íñiguez-González, Francisco Arriaga y Peter Niemz

Revista: *Wood Research* (ISSN 1336-4561)

Volumen y páginas: 59(5):2014:769-780

Impacto: 0,364 (Q4) 17 de 21 en Materials Science, Paper and Wood (2014)

DOI: No

Archivo en pdf descargable en:

<http://www.woodresearch.sk/articles.php?volume=12&issue=47>

Referencia bibliográfica: Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Niemz, P. (2014). Influence of temperature and moisture content in non-destructive measurements in Scots pine wood. *Wood Research* 59(5):2014:769-780. ISSN 1336-4561.

Resumen:

In the present study, non-destructive parameters and mechanical properties have been measured on the principal structural Spanish sawn timber species, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Non-destructive testing and three point bending tests according to DIN 52-186 1978 were conducted on 216 specimens. Specimens were studied at six different temperatures and four different equilibrium moisture contents. The non-destructive testing techniques applied were: ultrasonic wave technique (Sylvatest Duo and Steinkamp BPV) and vibration analysis technique (Grindo Sonic Mk5"Industrial"). Differences in mechanical properties between samples with different temperatures (from -40 to 50°C) and equilibrium moisture

contents (from 10 to 18 %) were studied. Linear tendencies between nondestructive testing and mechanical properties with respect to equilibrium moisture content were obtained. However, two different tendencies (above and below 0°C) were found with respect to temperature. In addition, adjustment factors are proposed for every variable.

I.2 Comunicaciones a congresos científicos internacionales

Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Hermoso, E.; Maynou, V.; Arriaga, F. (2016). Timber moisture content influence on non-destructive local measurements. World Conference on Timber Engineering (WCTE). August 22-25. Vienna, Austria. Accepted for presentation.

Arriaga, F.; Llana, D.F.; Aira, J.R.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G. (2016). Time lag determination on ultrasound wave measurement using different sensors positioning. World Conference on Timber Engineering (WCTE). August 22-25. Vienna, Austria. Accepted for presentation.

Llana, D.F.; Hermoso, E.; Izquierdo, S.T.; Bobadilla, I.; Íñiguez-González, G. (2015). The effect of moisture content on nondestructive probing measurements. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil.

Arriaga, F.; Llana, D.F.; Martínez, R.D.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G. (2015). The influence of sensor placement on in-situ ultrasound wave velocity measurement. 19th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. September 22-25. Rio de Janeiro, Brazil.

Llana, D.F.; Sanabria, S.J.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Niemz, P. (2013). Experimental and numerical investigation of effect of sawn timber dimensions in ultrasonic velocity measurements for Spanish softwoods. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. September 24-27. Madison, WI, USA.

Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Niemz, P. (2013). Influence of temperature and moisture content in Non-destructive values of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. September 24-27. Madison, WI, USA.

Íñiguez-González, G.; Llana, D.F.; Montero, M.J.; Hermoso, E.; Esteban, M.; García de Ceca, J.L.; Bobadilla, I.; Mateo, R.; Arriaga, F. (2013). Preliminary results of a structural timber grading procedure in Spain based on nondestructive techniques. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. September 24-27. Madison, WI, USA.

Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Montero, M.J.; Arriaga, F.; Esteban, M. (2012). Non destructive evaluation procedure for structural grading of sawn timber: preliminary works in Spain. 2012 IUFRO Conference. Division 5. Forest Products. OP 127 P. 114. July 8-13. Estoril, Portugal.

I.3 Participación en reuniones técnicas (workshops)

Título: Non destructive evaluation procedure for structural grading of sawn timber: Preliminary works in Spain

Autores: Daniel F. Llana, Guillermo Íñiguez-González, Francisco Arriaga y Miguel Esteban

Workshop: Current challenges on NDT of trees, wood and timber products

Organizador: Universidad de Ljubljana

Lugar: Ljubljana, Eslovenia

Fecha: 17 de octubre de 2014

I.4 Proyectos fin de carrera derivados

Maynou Gómez, V. (2016). Clasificación visual de la madera para uso estructural mediante técnicas de visión artificial. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. En fase de redacción.

Izquierdo García, S.T. (2015). Influencia del contenido de humedad en la estimación de las propiedades mecánicas de la madera de pino laricio (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *salzmannii*) mediante técnicas no destructivas. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 133 p.