



Depósito Legal: M-46.312.2002  
ISBN: 84-87381-24-3  
Imprime: Taravilla, S.L. (Madrid)

**Autores:**

Francisco Arriaga Martitegui. Dr. Arquitecto. Profesor de Cálculo de Estructuras de la U.P.M.  
Fernando Peraza Sánchez. Ingeniero de Montes. Director Técnico de AITIM.  
Miguel Esteban Herrero. Ingeniero de Montes de AITIM.  
Ignacio Bobadilla Maldonado. Dr. Ingeniero de Montes de AITIM.  
Francisco García Fernández. Ingeniero de Montes de AITIM.

**Dibujos:**

Francisco Arriaga Martitegui

**Fotografías:**

AITIM

**Foto portada:**

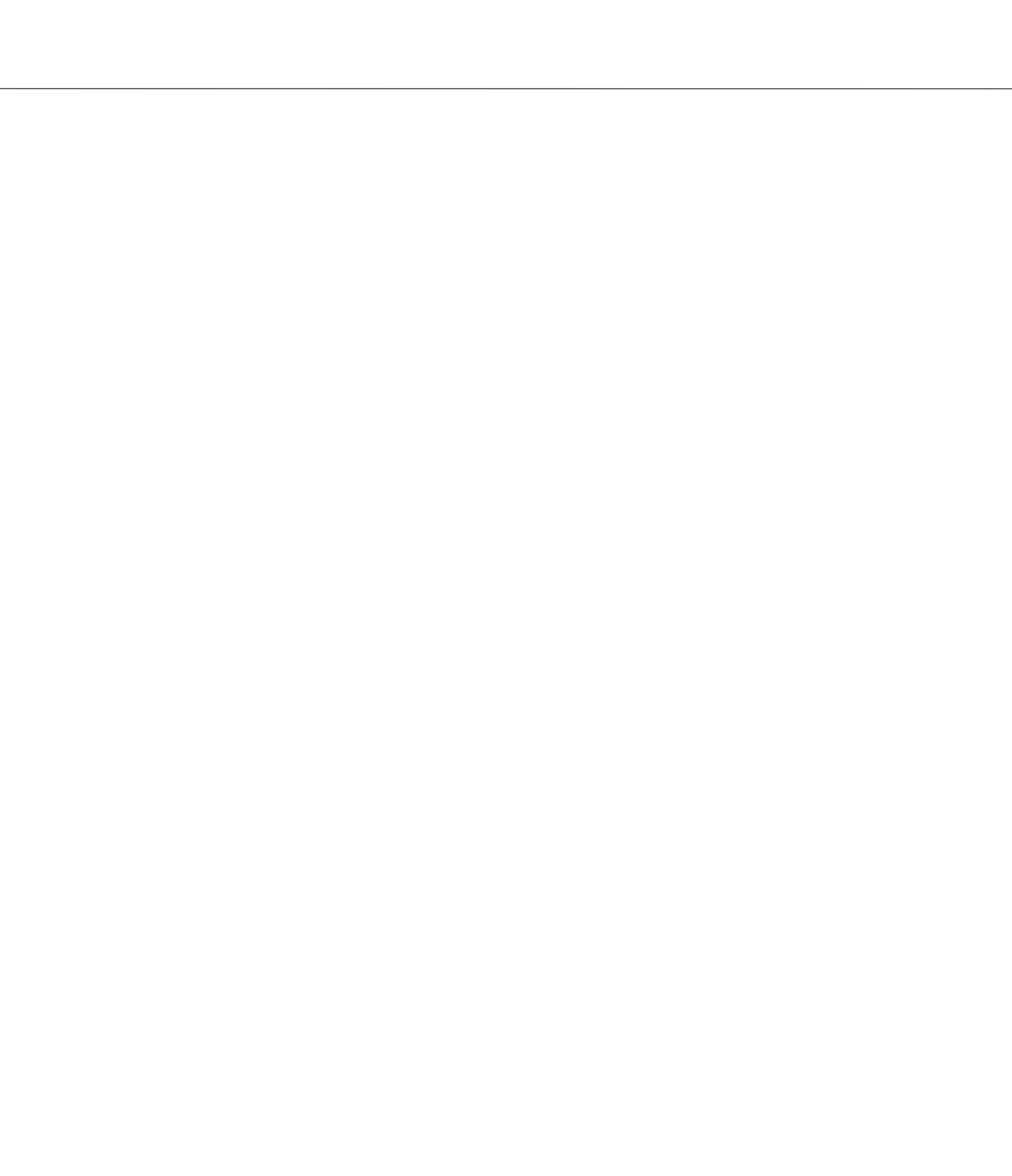
Cubierta de la sala nuova (Pallazzo Vecchio, Florencia). Arquitecto: Giorgio Vasari, 1563

©Francisco Arriaga Martitegui y Fernando Peraza Sánchez

©de esta edición Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.

Este libro ha sido financiado por la Orden FOM/495/2002 de 22 de febrero de 2002 (BOE de 7-3-01) del Ministerio de Fomento para actuaciones relacionadas con las infraestructuras y sistemas de transportes, vivienda y urbanismo.

# INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE MADERA



## Prólogo

Este libro está dirigido a la formación de los técnicos que se enfrentan a una intervención en edificios con estructura de madera. En una gran parte de las actuaciones de rehabilitación en la construcción aparece la madera como material estructural y en muchas ocasiones se encuentran entre sí dos hechos de tendencia contraria: por un lado el conocimiento del material y su patología es escaso debido a la falta de formación en este campo en los planes de estudio anteriores; y por otro lado la fuerte tendencia hacia la conservación del patrimonio arquitectónico, que ahora ya incluye a la estructura de madera como una parte más del edificio.

El contenido del libro es en gran parte el resultado de la experiencia adquirida en AITIM en la intervención para el diagnóstico de estructuras de madera y la propuesta de medidas de actuación, así como del resultado del estudio bibliográfico actualizado.

La organización del contenido del libro está fundamentada en el mismo proceso que se sigue en la intervención arquitectónica. Únicamente en el primer capítulo se trata brevemente sobre las causas de los daños en las estructuras de madera con un carácter más expositivo.

El segundo capítulo expone la sistemática de la inspección del edificio describiendo las técnicas de exploración disponibles. El capítulo tercero define las líneas generales para establecer un diagnóstico de la estructura a partir de la evaluación de la gravedad de los daños y los siguientes capítulos se dedican a las medidas de actuación posibles.

En el capítulo cuarto se describen las medidas de actuación de carácter constructivo que son las primeras que deben atenderse para garantizar la validez del tratamiento y consolidación posteriores. El capítulo quinto se centra en los tipos de tratamiento de carácter curativo para cada grupo de daños incluyendo un detalle suficiente para poder controlar la calidad del mismo. En el capítulo sexto se recogen las medidas de carácter estructural para la recuperación de la seguridad estructural y en su caso el refuerzo. Este capítulo se encuentra organizado por elementos constructivos a reparar describiendo varias posibilidades de actuación con diferentes técnicas con el fin de que el proyectista elija la más adecuada.

Finalmente el capítulo séptimo incluye una serie de ocho casos prácticos de inspección y propuestas de intervención extraídos de

ejemplos reales de la propia actividad de AITIM en este campo, aunque con un carácter anónimo.

Como es habitual en otras publicaciones de AITIM la segunda parte del libro se destina a la inclusión de varios anexos que profundizan en algunos aspectos técnicos más especializados. Así se incluye un anexo sobre los organismos xilófagos que facilita las bases para la identificación del tipo de ataque y el conocimiento de su modo de actuación. Otros anexos se dedican al tema de la clasificación estructural de la madera teniendo en cuenta las particularidades de las piezas de gran escuadría.

Uno de los anexos recoge de manera simplificada, pero con rigor, el procedimiento de cálculo de las estructuras de madera de acuerdo con las últimas versiones del eurocódigo 5 «Proyecto de estructuras de madera». Éste incluye numerosos ejemplos de aplicación a las piezas estructurales más habituales en la rehabilitación.

Otro de los anexos a destacar es el dedicado a la terminología de la construcción con madera, donde se han recogido y explicado los términos más frecuentes de la carpintería de armar con el fin de utilizar una nomenclatura correcta.

Por último, se han incluido otros temas específicos sobre la tecnología de las resinas epoxi, el cálculo de los refuerzos encolados y los sistemas mixtos de madera y hormigón.

En la redacción del texto han surgido numerosas dudas y en muchos casos ha sido necesaria una comprobación de algunas ideas que se manejan habitualmente pero sin conocer si tienen el rigor suficiente. Por este motivo queremos agradecer su colaboración desinteresada que ha resultado de gran ayuda, a las siguientes personas, especialistas en sus campos de conocimiento: Dña. María Angeles Navarrete Varela, Ingeniera de Montes del CIFOR-INIA; D. José Antonio Rodríguez Barreal, Dr. Ingeniero de Montes, Catedrático de Patología y Conservación de maderas de la E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid; Dña. Cristina Villar, Restauradora de la empresa Pátina; D. José María Quiroga, Químico de la empresa Promax S.A.; D. Joaquín Martín Diéguez, Ingeniero T. Forestal de la empresa 3ABC Lasures S.A.; Dña Milagros Fernández de Lezeta, gerente de la Asociación Nacional de Empresas de Control de Plagas (ANECPLA).

Los autores

# Índice

## INDICE

Capítulo 1.	PATOLOGÍA .....	16
1.1	Introducción .....	16
1.2	Patología de origen biótico.....	16
1.2.1	Generalidades .....	16
1.2.2	Hongos xilófagos.....	18
1.2.3	Insectos de ciclo larvario .....	18
1.2.3.1	Anóbidos (carcoma) .....	18
1.2.3.2	Cerambícidos (carcoma grande) .....	19
1.2.3.3	Líctidos (polilla).....	19
1.2.3.4	Curculiónidos (gorgojo de la madera).....	20
1.2.3.5	Bostríchidos.....	20
1.2.4	Insectos sociales (termitas) .....	21
1.2.4.1	Reticulitermes lucifugus Rossi .....	22
1.2.4.2	Criptotermes brevis Walker .....	22
1.2.4.3	Kaloterms flavicollis Fabre .....	22
1.2.5	Otros insectos.....	22
1.2.6	Xilófagos marinos .....	23
1.3	Patología de origen abiótico.....	24
1.3.1	Agentes atmosféricos o meteorológicos .....	24
1.3.2	Productos químicos.....	25
1.3.3	Fuego .....	26
	Comportamiento de la madera frente al fuego .....	26
	Reacción y resistencia al fuego .....	27
	Velocidad de carbonización.....	28
	Comportamiento de las uniones .....	28
	Incendio y riesgos de pudrición posteriores .....	28
1.4	Patología de origen estructural .....	29
	Sección insuficiente .....	29
	Deformaciones excesivas y roturas a largo plazo.....	30
	Uniones .....	30
	Roturas locales .....	32
	Arriostamiento insuficiente .....	32
	Fendas de secado y revirado de las piezas.....	32
	Referencias bibliográficas .....	33
Capítulo 2.	RECONOCIMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	34
2.1	Introducción .....	34

2.2 Reconocimiento visual exterior .....	35
Fachadas y patios .....	35
Cubierta, aleros y bajantes .....	36
Flechas en forjados.....	36
2.3 Reconocimiento de la estructura.....	37
2.3.1 Generalidades .....	37
2.3.2 Puntos críticos de las piezas de madera.....	37
2.3.3 Zonas de riesgo.....	38
Piezas en contacto o cercanas al suelo:.....	38
Sótanos.....	38
Apoyo de vigas y otros elementos en los muros:.....	39
Paso de conducciones de agua: baños y cocinas .....	40
Cubiertas .....	40
Carpintería exterior:.....	40
2.4 Técnicas de exploración .....	41
2.4.1 Equipos tradicionales de exploración .....	41
2.4.2 Técnicas especiales de exploración .....	44
2.4.2.1 Ultrasonidos .....	44
2.4.2.2 Métodos de vibraciones inducidas .....	49
2.4.2.3 Resistógrafo .....	50
2.4.2.4 Medición de la densidad superficial.....	52
2.4.2.5 Gamma-densitometría.....	52
2.4.2.6 Fractómetro.....	52
2.4.2.7 Datación de la madera.....	53
2.4.2.8 Detección acústica de insectos xilófagos .....	54
Referencias bibliográficas:.....	55
 Capítulo 3. DIAGNÓSTICO .....	 57
3.1 Evaluación de los daños de origen abiótico.....	57
Acción de la radiación solar:.....	57
Acción del agua .....	57
Acción del fuego.....	57
Efecto de la edad de la estructura:.....	58
3.2 Evaluación de los daños de origen biótico .....	59
3.2.1 Hongos de pudrición .....	59
3.2.2 Insectos de ciclo larvario.....	60
Líctidos .....	60
Anóbidos.....	60
Curculiónidos.....	61
Cerambícidos.....	61
3.2.3 Insectos sociales: termitas .....	62
3.2.4 Xilófagos marinos.....	62
3.3 Evaluación de la capacidad resistente de la estructura.....	64

3.3.1	Introducción .....	64
3.3.2	Metodología basada en la clasificación visual.....	64
	a) Identificación de la especie de madera.....	64
	b) Calidad de la madera.....	65
3.3.3	Otros métodos de evaluación de la capacidad portante .....	66
	Referencias bibliográficas.....	67
	Normativa .....	68
Capítulo 4.	MEDIDAS DE CARÁCTER CONSTRUCTIVO .....	69
4.1	Introducción .....	69
	Instalaciones sanitarias defectuosas.....	69
	Red de saneamiento horizontal.....	69
	Humedades procedentes del terreno.....	70
	Humedades procedentes de la cubierta .....	70
	Humedades en apoyos en muros de fachada.....	70
4.2	Las humedades procedentes del suelo .....	71
	Drenaje .....	71
	Sistemas eléctricos .....	72
	Barreras impermeables físicas.....	72
	Barreras impermeables químicas .....	73
	Sifones atmosféricos .....	74
	Revestimientos difusores .....	74
	Impermeabilización superficial .....	74
4.3	El arranque de la estructura desde el terreno.....	75
4.4	Las apoyos de las vigas en los muros .....	75
4.5	Los aleros y la protección mediante vuelos.....	78
4.6	Humedades accidentales en la cubierta y en las instalaciones .....	80
4.7	Las condensaciones .....	80
4.8	Medidas específicas para cada tipo de ataque.....	80
	Referencias bibliográficas .....	81
Capítulo 5.	TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN .....	82
5.1	Introducción .....	80
5.2	Metodología del tratamiento contra hongos xilófagos.....	80
	5.2.1 Tratamiento curativo .....	80
	a) Preparación de las superficies .....	83
	b) Tratamiento de suelos, muros y tabiques.....	83
	c) Tratamiento de las piezas de madera.....	84
	5.2.2 Tratamiento con productos en forma de pastas .....	84
	5.2.3 Tratamiento con implantes .....	84
5.3	Metodología del tratamiento contra los insectos de ciclo larvario .....	86
	a) Acceso y limpieza de la zona.....	86
	b) Desbastado .....	86



c) Tratamiento curativo en profundidad.....	86
d) Tratamiento curativo superficial.....	88
e) Tratamiento de piezas de madera policromada .....	88
f) Tratamiento preventivo.....	89
Caso particular del tratamiento de piezas de madera laminada .....	89
5.3.1 Tratamiento con productos líquidos.....	89
5.3.2 Tratamiento con productos gaseosos (fumigación) .....	89
5.3.3 Tratamiento con productos en forma de humos.....	90
5.3.4 Tratamiento por esterilización con calor .....	91
5.3.5 Tratamiento por esterilización con frío .....	91
Referencias bibliográficas.....	92
5.4 Métodos del tratamiento contra insectos xilófagos sociales.....	93
5.4.1 Tratamiento químico tradicional.....	93
a) Tratamiento curativo.....	93
Carpintería de taller .....	94
Carpintería de armar.....	94
Entramados de madera en muros.....	95
Armaduras de cubierta.....	95
Tratamiento de los muros .....	96
Tratamiento del suelo.....	98
Tratamiento del suelo interior.....	99
b) Tratamiento preventivo.....	100
5.4.2 Tratamiento químico no repelente.....	100
5.4.3 Sistema de cebos.....	101
1.- Inspección:.....	101
2.- Eliminación de la colonia: .....	102
3.- Mantenimiento y vigilancia.....	102
5.4.4 La lucha biológica.....	102
Referencias bibliográficas: .....	103
Capítulo 6. MEDIDAS DE CARÁCTER ESTRUCTURAL .....	104
6.1 Introducción .....	104
6.2 Descripción general de las técnicas .....	104
6.3 Actuaciones sobre los apoyos de las vigas.....	106
6.3.1 Introducción .....	106
6.3.2 Apeo sobre una línea adosada al muro .....	103
6.3.3 Refuerzo del apoyo mediante perfiles metálicos.....	103
6.3.4 Soluciones con aporte de madera.....	108
6.3.5 Soluciones con formulaciones epoxi.....	110
6.4 Actuaciones sobre piezas sometidas a flexión.....	114
6.4.1 Introducción.....	114
6.4.2 Soluciones con aporte de madera.....	114

6.4.3 Aplicación de la tecnología de las resinas epoxi .....	116
Consolidación con placas de refuerzo.....	116
Consolidación con barras de refuerzo.....	117
Refuerzo con barras inclinadas.....	117
Refuerzo con celosía interna.....	118
Reconstrucción de viga con mortero epoxi.....	119
Aumento de la sección de la viga con madera encoladas	120
Refuerzo con armadura de fibra de carbono .....	121
6.4.4 Soluciones de sustitución con hormigón .....	121
Losa de hormigón armado sobre el forjado.....	122
Losa de hormigón armado sobre nervios principales .....	122
6.4.5 Soluciones mixtas de madera y hormigón.....	123
a) Con clavijas .....	124
b) Con conectores de superficie .....	124
c) Con cajeados en la madera .....	126
d) Con uniones encoladas.....	127
e) Otros tipos de conexiones .....	127
Cálculo de estas soluciones.....	128
Recomendaciones constructivas.....	129
6.4.6 Soluciones mixtas de madera y tablero.....	130
6.4.7 Soluciones con acero.....	131
Refuerzo mediante perfiles metálicos.....	131
Atirantado metálico y enanos comprimidos:.....	131
Sustitución estructural de madera con perfiles metálicos	132
6.5 Actuaciones en pies derechos .....	133
Recalces de pies derechos de muros entramados con perfiles metálicos	133
Recalces de pies derechos de muros entramados con hormigón.....	133
Prótesis con formulaciones epoxi en pies derechos .....	133
6.6 Actuaciones en armaduras de cubierta.....	135
Apoyos de pares.....	135
Encuentros de par y tirante.....	135
Refuerzo del empalme de los tirantes .....	138
Refuerzo del vano de armaduras de cubierta .....	138
Referencias bibliográficas .....	142
Normativa .....	143
Capítulo 7. EJEMPLOS DE INSPECCIÓN .....	144
Ejemplo 7.1. Cubierta de una sala .....	145
Ejemplo 7.2. Edificio de viviendas.....	149
Ejemplo 7.3. Edificio de viviendas .....	154
Ejemplo 7.4. Cubierta de una iglesia .....	157
Ejemplo 7.5. Edificio de viviendas .....	160
Ejemplo 7.6. Edificio de viviendas .....	164
Ejemplo 7.7. Edificio de vivienda y local comercial.....	168

Ejemplo 7.8. Edificio de viviendas .....	173
ANEXOS .....	175
Anexo A. Organismos xilófagos .....	177
A.1 Generalidades .....	177
A.2 Hongos xilófagos .....	178
A.2.1 Mohos .....	178
A.2.2 Hongos cromógenos.....	179
A.2.3 Hongos de pudrición .....	179
a) Pudrición parda.....	180
b) Pudrición blanca o fibrosa.....	181
c) Pudrición blanda .....	181
A.3 Insectos de ciclo larvario .....	182
A.3.1 Anóbidos (carcoma).....	184
A.3.2 Cerambícidos (carcoma grande).....	186
A.3.3 Lícidos (polilla).....	189
A.3.4 Curculiónidos (gorgojo de la madera).....	190
A.3.5 Bostríchidos.....	191
A.3.6 Escolítidos y platipódidos.....	192
A.4 Insectos sociales (termitas) .....	194
A.4.1 Características de las termitas.....	194
A.4.2 Reticulitermes lucifugus Rossi.....	196
A.4.3 Criptotermes brevis Walker .....	197
A.4.4 Kalotermes flavicollis Fabre.....	198
A.5 Otros insectos .....	199
A.5.1 Sirícidos (avispa de la madera) .....	199
A.5.2 Xilocópidos (abeja de la madera).....	199
A.6 Xilófagos marinos .....	200
A.6.1 Moluscos xilófagos .....	200
A.6.2 Crustáceos xilófagos.....	201
Referencias bibliográficas .....	203
Anexo B. Normas de clasificación .....	203
Normativa .....	210
Anexo C. Propiedades mecánicas asignadas a la madera en la antigüedad.....	211
Anexo D. Reglas de clasificación visual de la madera de gran escuadría.....	215
Anexo E. Comprobación de estructuras de madera .....	223
E.1 Introducción .....	223

E.2 Bases de cálculo .....	223
E.2.1 Propiedades mecánicas de la madera. Clases resistentes .....	223
E.2.2 Valores de cálculo de las propiedades mecánicas de la madera ....	224
E.2.3 Valores de cálculo de los efectos de las acciones.....	226
E.2.4 Inestabilidad por pandeo y vuelco lateral.....	226
E.2.5 La deformación y la fluencia.....	228
E.2.6 Estabilidad al fuego .....	229
E.2.7 Efecto de la patología de origen biótico.....	229
E.3 Peritación de elementos estructurales.....	230
E.3.1 Vigas y viguetas .....	230
E.3.2 Correas .....	233
E.3.3 Piezas traccionadas.....	236
E.3.3.1 Tracción simple (pendolón) .....	236
E.3.3.2 Flexotracción (tirantes).....	238
E.3.4 Piezas comprimidas .....	239
E.3.4.1 Compresión simple (pie derecho).....	239
E.3.4.2 Flexocompresión (par de cercha).....	241
E.3.5 Uniones tradicionales .....	243
Normativa .....	244
Anexo F. Terminología de la construcción con madera .....	245
F.1 Introducción .....	245
F.2 Entramados verticales .....	245
De fachada .....	246
De soportal .....	246
De galería .....	246
Entramados madrileños.....	247
F.3 Entramados horizontales .....	247
F.4 Armaduras de cubierta .....	250
A la molinera .....	250
De parecillos .....	251
De parecillos con viga cumbreira .....	251
De par e hilera .....	252
Cercha de pares y tirante.....	255
Cercha de pares y pendolón .....	256
Cercha de pendolón y péndolas .....	258
F.5 Uniones .....	258
F.5.1 Ensamblés .....	259
De caja .....	259
De entalladura .....	260
De quijera .....	262
F.5.2 Empalmes.....	262
De pilares.....	262
De vigas .....	263
De tirantes.....	263

F.5.3 Acoplamientos .....	264
F.5.4 Uniones en los extremos de los pilares .....	264
F.6 Términos de carpintería de armar .....	265
Anexo G. Productos protectores .....	280
G.1 Introducción .....	280
G.2 Protectores de la madera contra organismos xilófagos .....	280
G.2.1 Composición.....	280
G.2.2 Características de los protectores de la madera .....	281
G.2.3 Eficacia del producto .....	281
G.2.4 Clasificación de los protectores .....	281
G.2.4.1 Protectores hidrosolubles .....	282
G.2.4.2 Protectores en disolvente orgánico .....	283
G.2.4.4 Productos mixtos .....	283
G.2.4.5 Protectores orgánicos naturales .....	283
G.3 Productos retardantes del fuego .....	284
G.3.1 Tipos de productos ignífugos.....	284
G.3.2 Efectos de los retardantes sobre propiedades de la madera .....	284
Anexo H. Tratamientos de protección .....	286
H.1 Durabilidad natural y tratamientos protectores .....	286
H.2 Antecedentes de la protección de la madera. Sistemas tradicionales.....	286
H.3 Protectores tradicionales en la actualidad .....	289
H.3.1 Pigmentos y tintes .....	290
H.3.2. Acabados a base de aceites.....	291
H.3.3 Acabados a base de ceras.....	292
H.3.4 Gomas y resinas.....	292
Referencias bibliográficas .....	294
Anexo I. Seguridad e higiene en el trabajo .....	295
Anexo J. Tecnología de las resinas epoxi .....	297
J.1 Introducción .....	297
J.2 Materiales .....	297
J.2.1 Madera .....	297
J.2.2 Formulación epoxi .....	297
J.2.3 Materiales de refuerzo .....	298
J.3 Polimerización .....	299
J.4 Protección de la madera .....	299
Referencias bibliográficas .....	300
Anexo K. Cálculo de los refuerzos encolados.....	301
K.1 Introducción .....	301
K.2 Refuerzo de piezas sometidas a flexión mediante placas.....	302
K.2.1 Resistencia a flexión.....	302

K.2.2 Resistencia a cortante .....	302
K.2.3 Inestabilidad de la placa.....	303
K.2.4 Longitud de anclaje .....	304
K.2.5 Disposición constructiva .....	305
K.3 Refuerzo de piezas sometidas a flexión mediante barras.....	305
K.3.1 Determinación de la sección de las barras de conexión .....	306
K.3.2 Longitud de anclaje de las barras .....	309
K.3.3 Disposiciones constructivas.....	309
K.4 Refuerzo de piezas sometidas a esfuerzos axiles.....	309
K.4.1 Generalidades.....	309
K.4.2 Cálculo de la sección del refuerzo.....	302
K.4.3 Longitud de anclaje .....	311
K.5 Refuerzo de uniones mediante clavijas encoladas.....	311
K.6 Cálculo de uniones barras de acero encoladas según Eurocódigo 5 .....	311
K.6.1 Barras con carga axial .....	311
K.6.2 Barras con carga lateral .....	313
K.6.3 Barras sometidas a una combinación de carga lateral y axial .....	313
K.6.4 Consideraciones constructivas.....	313
Referencias bibliográficas .....	314
 Anexo L. Cálculo de sistemas mixtos de madera y hormigón .....	 315
L.1 Introducción .....	315
L.2 Parámetros básicos para el cálculo.....	315
L.3 Procedimiento de cálculo de la sección mixta de madera y hormigón .....	316
L.3.1 Rigidez eficaz a flexión.....	317
L.3.2 Tensión normal.....	317
L.3.3 Tensión tangencial máxima .....	317
L.3.4 Fuerza rasante en el conector .....	318
L.4 Consideraciones constructivas .....	318
L.5 Ejemplo de cálculo .....	318
Referencias bibliográficas .....	322

## UNIDADES

Las unidades adoptadas corresponden al Sistema Internacional. Las unidades prácticas recomendadas en el sistema S.I., son las siguientes:

Para resistencias y tensiones:	N/mm <sup>2</sup>
Para fuerzas:	kN
Para fuerzas por unidad de longitud:	kN/m
Para fuerzas por unidad de superficie:	kN/m <sup>2</sup>
Para momentos:	kN·m

La correspondencia con el sistema Metro-Kilopondio-Segundo es la siguiente:

1 kp = 9,8 N - 10 N
1N = 0,102 kp - 0,1 kp
1 kp/cm <sup>2</sup> = 0,098 N/mm <sup>2</sup> ≈ 0,1 N/mm <sup>2</sup>
1 N/mm <sup>2</sup> = 10,2 kp/cm <sup>2</sup> ≈ 10 kp/cm <sup>2</sup>

