



Trabajo fin de grado

LA MADERA LAMINADA Y EL ESTUDIO DE UN CASO CONCRETO EN LA CUBIERTA DEL BALNEARIO DE CUNTIS

Elaborado por

Yeray Pazos Díaz



Trabajo fin de grado

**La madera laminada y el estudio de un caso concreto
en la cubierta del balneario de Cuntis**

Elaborado por

Yeray Pazos Díaz

Tutora del trabajo

M. Dolores Otero Chans

EUAT

Universidad de la Coruña, a 30 de Julio de 2013

Objetivo del trabajo

Con el presente trabajo se pretende realizar una monografía sobre la madera laminada encolada de tal manera que entendamos su respuesta como material estructural. Para ello debemos de conocer la madera como material de construcción, alcanzando un conocimiento general de la misma, propiedades físicas y mecánicas, defectos, etc.

Conocida la madera, profundizaremos un estudio sobre la madera laminada que abarcara desde la selección de los materiales hasta su colocación en obra, pasando por el proceso de fabricación y sus controles de calidad.

Una vez realizado el estudio de la madera laminada, se realiza un ejemplo que nos da una idea lo más exacta posible de los elementos y características necesarias para la construcción de una estructura de MLE en un balneario. Se realiza una comprobación del correcto dimensionamiento de la estructura ante las solicitaciones a las que está expuesta.



INDICE

PARTE 1: LA MADERA LAMINADA	19
A/01 LA MADERA	23
1. GENERALIDADES	25
1.1. Formación de la madera.....	26
1.2. Anatomía del árbol.....	26
1.3. Estructura del árbol.....	27
1.3.1. Estructura macroscópica.....	27
1.3.2. Estructura microscópica.....	29
1.3.3. Química de la madera.....	30
1.4. Crecimiento y edad del árbol.....	31
1.5. Anisotropía.....	33
1.6. Contracción volumétrica.....	34
2. PROPIEDADES DE LA MADERA	35
2.1. Propiedades físicas.....	35
2.1.1. Dureza.....	35
2.1.2. Flexibilidad.....	36
2.1.3. Porosidad.....	37
2.1.4. Higroscopicidad.....	37
2.1.5. Merma e hinchazón.....	37
2.1.6. Homogeneidad.....	38
2.1.7. Color.....	38
2.1.8. Vetado.....	38
2.1.9. Brillo.....	39
2.1.10. Textura, grano y fibra.....	39
2.1.11. Olor.....	40
2.1.12. Durabilidad.....	40
2.1.13. Peso específico.....	40
2.2. Propiedades mecánicas.....	42
2.2.1. Resistencia a compresión.....	42
2.2.2. Resistencia a tracción.....	42

2.2.3. Resistencia a flexión.....	42
2.2.4. Resistencia a cortante.....	43
2.2.5. Resistencia a torsión.....	43
2.2.6. Resistencia a desgaste.....	43
2.2.7. Resistencia a la hendibilidad o escisión.....	43
2.3. Otras propiedades.....	44
2.3.1. Propiedades térmicas.....	44
2.3.2. Propiedades acústicas.....	45
2.3.3. Propiedades eléctricas.....	46
2.3.4. Propiedades de inflamación y de combustión.....	46
3. EXTRACCIÓN, SECADO Y TROCEADO DEL ÁRBOL.....	47
3.1. Extracción del árbol.....	47
3.2. Secado.....	48
3.3. Troceado del árbol.....	48
3.3.1. Despiece del tronco.....	48
3.3.2. Dimensiones y clasificación de las escuadrías.....	53
4. DEGRADACIONES Y ANOMALIAS DE LA MADERA ASERRADA.....	55
4.1. Degradaciones primarias.....	55
4.1.1. Defectos morfológicos del tronco.....	55
4.1.1.1. Curvatura.....	55
4.1.1.2. Conicidad.....	56
4.1.2. Defectos provocados por aportación cambial irregular.....	57
4.1.2.1. Anillos festoneados.....	57
4.1.2.2. Corazón excéntrico.....	57
4.1.3. Defectos provocados por la disposición de fibras.....	58
4.1.3.1. Veteados de la madera.....	58
4.1.3.2. Veteados debidos a irregularidades de las fibras.....	58
4.1.3.3. Veteados de impregnación o de pigmentación.....	60
4.1.3.4. Veteados producidos por la formación anormal de las fibras.....	60
4.1.4. Defectos provocados por agentes atmosféricos.....	61
4.1.5. Defectos provocados por agentes meteorológicos accidentales.....	63
4.1.5.1. Temperaturas extremas.....	63
4.1.5.2. Daños producidos por caída de rayos.....	64
4.1.6. Heridas.....	65
4.1.7. Madera de reacción.....	65
4.1.7.1. Madera de compresión.....	66
4.1.7.2. Madera de tracción.....	66
4.1.8. Otros defectos.....	67
4.1.8.1. Fendas.....	67
4.1.8.2. Acebolladura.....	67

4.1.8.3.	Nudos.....	68
4.1.8.4.	Gemas.....	70
4.1.8.5.	Entrecasco.....	70
4.1.8.6.	Lunulados.....	71
4.1.8.7.	Pata de gallo.....	71
4.1.8.8.	Lagrimales.....	71
4.1.8.9.	Tumores.....	71
4.1.8.10.	Defectos debidos a la intervención del hombre.....	72
4.1.8.11.	Defectos debidos a la intervención de animales.....	73
4.1.8.12.	Defectos debidos a la intervención de vegetales.....	73
4.1.8.13.	Depósitos.....	74
4.1.8.14.	Bolsas de resina.....	74
4.1.8.15.	Fracturas de apeo.....	75
4.1.8.16.	Cuadranura.....	75
4.1.8.17.	Corazón estrellado.....	75
4.1.8.18.	Corazón hueco.....	75
4.1.8.19.	Doble albura.....	76
4.2.	Degradaciones secundarias.....	76
4.2.1.	Agentes destructores bióticos.....	76
4.2.1.1.	Hongos xilófagos.....	76
4.2.1.2.	Insectos xilófagos.....	79
4.2.1.3.	Xilófagos marinos.....	81
4.2.2.	Agentes destructores abióticos.....	82
4.2.2.1.	Agentes atmosféricos.....	82
4.2.2.2.	Agentes mecánicos.....	84
4.2.2.3.	Agentes químicos.....	84
4.3.	Inestabilidad dimensional de la pieza debido al secado.....	85
4.3.1.	Movimientos en la sección transversal.....	86
4.3.2.	Movimientos en el plano de cara.....	89
5.	PROTECCIONES Y TRATAMIENTOS DE LA MADERA.....	91
5.1.	Protección preventiva de la madera. Tratamientos.....	92
5.1.1.	Tipos de tratamientos preventivos.....	94
5.1.1.1.	Productos decorativos para la protección superficial.....	95
5.1.1.2.	Protectores de madera.....	95
5.1.2.	Tipos de aplicaciones.....	98
5.2.	Protección mediante tratamientos curativos.....	100
5.3.	Protección mediante sistemas constructivos.....	102
5.4.	Refuerzos de carácter estructural.....	104

B/01 LA MADERA LAMINADA.....	105
1. PRECEDENTES HISTORICOS.....	107
2. DEFINICIÓN.....	111
3. MADERAS UTILIZADAS PARA LA FABRICACIÓN DE MLE.....	113
3.1. Principales coníferas españolas.....	114
3.2. Principales frondosas utilizadas.....	114
3.3. Clasificación de la madera utilizada para la fabricación de MLE.....	114
3.3.1. Clasificación visual de la madera.....	115
3.3.2. Clasificación mecánica.....	116
4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y PROPIEDADES.....	119
4.1. Madera aserrada.....	119
4.2. Formación de lámina continua mediante la unión dentada en la testa.....	119
4.3. Encolado de láminas.....	120
4.4. Composición de secciones y clases resistentes.....	121
5. ADHESIVOS.....	125
5.1. Definición y generalidades.....	125
5.2. Tipos de adhesivos.....	125
5.3. Condiciones que deben de cumplir.....	127
5.4. Información adicional.....	128
6. FABRICACION DE LA MLE.....	129
6.1. Introducción.....	129
6.2. Proceso de fabricación.....	129
6.2.1. Recepción y almacenamiento.....	129
6.2.2. Preparación de las tablas.....	130
6.2.3. Dimensiones de las tablas.....	131
6.2.4. Empalmado longitudinal de las tablas.....	132
6.2.5. Regruesado de tablas y aplicaciones de cola.....	136
6.2.6. Prensado de las láminas.....	137
6.2.7. Cepillado final, corte y acabado de las piezas.....	139
6.3. Control de calidad.....	140
6.3.1. Control de fabricación.....	140
6.3.1.1. Control de producción en fábrica. Control interno.....	140
6.3.1.2. La organización inspectora. Control externo.....	143
6.3.1.3. Marcado de la MLE.....	145
6.3.2. Control después de la terminación de la estructura.....	145
6.4. Almacenaje, transporte y montaje de las piezas de MLE.....	145

6.4.1. Almacenaje de piezas de MLE.....	146
6.4.2. Transporte de piezas de MLE.....	146
6.4.3. Montaje de piezas de MLE.....	147
7. RESISTENCIA AL FUEGO.....	151
7.1. Comportamiento de la MLE ante el fuego.....	151
7.2. Método de cálculo de la resistencia al fuego de los elementos de MLE.....	155
8. MEDIOS DE UNIÓN.....	157
8.1. Uniones con adhesivos.....	157
8.1.1. Definición.....	157
8.1.2. Composición.....	157
8.1.3. Clasificación y características de los adhesivos.....	158
8.1.3.1. Adhesivos o colas naturales.....	158
8.1.3.2. Adhesivos sintéticos.....	159
8.1.4. Condiciones de empleo.....	163
8.1.5. Unión madera-metal.....	164
8.2. Uniones metálicas.....	164
8.2.1. Definición.....	164
8.2.2. Factores que afectan a la resistencia de la unión.....	164
8.2.3. Clasificación y características de uniones metálicas.....	168
8.2.3.1. Elementos metálicos estándar.....	168
8.2.3.2. Elementos metálicos no estándares. Pletinas, chapas y herrajes.....	181
9. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	183
9.1. Ventajas.....	183
9.2. Inconvenientes.....	184
<u>PARTE 2: ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL BALNEARIO DE CUNTIS</u>.....	187
A/01 MEMORIAS.....	191
1. OBJETO.....	193
2. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	195
2.1. Descripción del solar.....	195
2.2. Descripción del balneario.....	196
2.3. Datos de interés.....	198
3. MEMORIA CONSTRUCTIVA.....	199
3.1. Estructura.....	199

3.2. Pilar central.....	200
3.3. Cubierta.....	200
3.4. Lucernario.....	201
3.5. Sistemas de unión.....	201
3.6. Acabados.....	203
3.7. Instalaciones.....	204
4. MEMORIA DE CÁLCULO.....	205
4.1. Acciones sobre la estructura.....	205
4.1.1. Acciones permanentes.....	205
4.1.1.1. Peso propio.....	206
4.1.2. Acciones variables.....	209
4.1.2.1. Sobrecarga de uso.....	209
4.1.2.2. Viento.....	210
4.1.2.3. Nieve.....	218
4.1.2.4. Térmicas.....	220
4.1.2.5. Sísmicas.....	220
4.2. Combinación de acciones.....	220
4.3. Comprobación de flecha.....	221
4.4. Comprobación de las uniones.....	229
4.5. Características de los materiales.....	240
4.6. Coeficientes de seguridad.....	241
4.7. Métodos de cálculo.....	242
5. MEMORIA FOTOGRÁFICA.....	243
B/01 PLANOS.....	253
<u>PARTE 3: NORMATIVA</u>.....	257
<u>PARTE 4: BIBLIOGRAFIA</u>.....	265



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: *Representación de los principales tejidos de un árbol.*
- Figura 2: *Estructura macroscópica de un tronco.*
- Figura 3: *Sección transversal del tronco donde se aprecian los radios leñosos.*
- Figura 4: *Detalle microscópico de un canal resinífero.*
- Figura 5: *Formación de la celulosa químicamente a partir de moléculas de glucosa.*
- Figura 6: *Sección del tronco donde se aprecia claramente la madera de primavera y la de verano.*
- Figura 7: *Clasificación de la madera según el crecimiento de los anillos.*
- Figura 8: *Detalle de los planos de un tronco.*
- Figura 9: *Disposición de la médula en una viga que trabaja a flexión.*
- Figura 10: *Gráfica donde se muestra la dureza de algunas maderas representativas.*
- Figura 11: *Claro ejemplo de la flexibilidad de la madera y sus posibilidades de curvado en una silla.*
- Figura 12: *Medición de la humedad de la madera mediante el paso de corriente eléctrica con un higrómetro.*
- Figura 13: *Movimientos de una tabla de madera según la disposición de las fibras.*
- Figura 14: *Tipos de veteados de las distintas maderas.*
- Figura 15: *Muelle de madera sometido a salpicaduras y variación de humedad.*
- Figura 16: *Ejemplo de la hendibilidad de la madera al ser golpeada con un hacha por la testa.*
- Figura 17: *Auditorio revestido de madera para mejorar las condiciones acústicas del local.*
- Figura 18: *Tala del árbol, desbastado de las ramas y apilado de los troncos.*
- Figura 19: *Hornos de secado de madera.*
- Figura 20: *Despiece del tronco mediante sierra de hilo sin fin horizontal.*
- Figura 21: *Despiece del tronco en pieza enteriza, con corte central y con corte en cruz.*
- Figura 22: *Despiece del tronco por corte radial.*
- Figura 23: *Despiece del tronco por cortes paralelos.*
- Figura 24: *Despiece del tronco por el procedimiento Cantibay.*
- Figura 25: *Despiece holandés o radial del tronco.*
- Figura 26: *Despiece del tronco por hilos paralelos.*
- Figura 27: *Despiece del tronco en cruz o encuartonado.*
- Figura 28: *Despiece alternado del tronco.*
- Figura 29: *Despiece tangencial del tronco.*
- Figura 30: *Despiece de París del tronco.*
- Figura 31: *Escuadrías de la madera.*
- Figura 32: *Curvatura del tronco de un árbol debido a diversos factores externos.*
- Figura 33: *Defecto de conicidad del tronco de un árbol al superar los valores máximos.*
- Figura 34: *Ejemplo de anillos festoneados.*
- Figura 35: *Corazón excéntrico de un tronco.*
- Figura 36: *Detalle de la sección de un tronco que presenta fibras entrelazadas.*

- Figura 37: *Horqueta. Zona donde el tronco se divide en varias ramificaciones.*
- Figura 38: *Fotografía de lupias en un árbol.*
- Figura 39: *Inclinación del tronco del árbol provocado por el peso de la nieve sobre sus hojas.*
- Figura 40: *Árbol curvado en dirección del viento dominante.*
- Figura 41: *Imagen donde se muestra los efectos de la radiación solar en la madera.*
- Figura 42: *Árboles dañados por la caída de un rayo.*
- Figura 43: *Fendas en el tronco de un árbol vivo debido a la falta de agua del terreno.*
- Figura 44: *Acebolladura en un tronco donde se presencia el despegue de los anillos de crecimiento.*
- Figura 45: *Madera con nudo sano.*
- Figura 46: *Madera con nudo muerto.*
- Figura 47: *Fotografía de árboles que presentan ojos de buey.*
- Figura 48: *Detalle de la pata de gallo en un tronco producido durante el secado.*
- Figura 49: *Nudo que sobresale de la corteza del árbol. Tumor.*
- Figura 50: *Desmoche de la cima de un árbol que dará lugar a una cicatrización abusiva.*
- Figura 51: *Defecto producido en el árbol por un pájaro carpintero.*
- Figura 52: *Fotografía de un "matapalos", perteneciente a las plantas estranguladoras.*
- Figura 53: *Presencia de cavidades llenas de resina dispuestas longitudinalmente.*
- Figura 54: *Cuadratura en un tronco.*
- Figura 55: *Corazón hueco en un árbol viejo donde se desarrolla un virus que lo descompone.*
- Figura 56: *Madera afectada por el moho.*
- Figura 57: *Madera afectada por hongos cromógenos.*
- Figura 58: *Madera afectada por hongos de pudrición.*
- Figura 59: *Madera afectada por termitas.*
- Figura 60: *Madera afectada por la carcoma.*
- Figura 61: *Madera afectada por el teredo.*
- Figura 62: *Madera afectada por crustáceos xilófagos.*
- Figura 63: *Producción de manchas en la madera de color rojo parduzco debido al óxido de hierro.*
- Figura 64: *Movimientos de contracción tangencial producidos por desecación acelerada.*
- Figura 65: *Movimientos debidos a la variación de la humedad en los casos a, b, c.*
- Figura 66: *Movimientos producidos en el aserrado paralelo. Forma aguda: pieza central.*
- Figura 67: *Movimiento debidos a la variación de la humedad en los casos e, f y g.*
- Figura 68: *Movimientos producido por la contracción de una cara con un punto de flexión en la opuesta.*
- Figura 69: *Movimiento producido por contracción lateral.*
- Figura 70: *Movimiento de contracción y tracción en caras opuestas.*
- Figura 71: *Curvatura de una tabla producida en sentido transversal.*
- Figura 72: *Curvatura de una tabla producida en sentido longitudinal.*
- Figura 73: *Curvatura de una tabla producida en el canto.*
- Figura 74: *Alabeo de una tabla.*
- Figura 75: *Tipos de penetraciones en los tratamientos preventivos.*
- Figura 76: *Aplicación del tratamiento protector mediante brocha.*
- Figura 77: *Aplicación del tratamiento protector con pistola pulverizadora.*
- Figura 78: *Tratamiento de inmersión para madera recién aserrada.*

- Figura 79: *Introducción de piezas de madera en autoclave (vacío-vacío).*
- Figura 80: *Pieza tratada en autoclave en la que se aprecia como el producto penetra en la madera.*
- Figura 81: *Saneado de una viga de madera por el método beta.*
- Figura 82: *Zonas donde tratamientos superficiales no son eficaces.*
- Figura 83: *Viga de madera deteriorada por la humedad en el muro.*
- Figura 84: *Viguetas de madera en mal estado debido a filtraciones de la planta superior.*
- Figura 85: *Arranque metálico del pilar para protegerlo de la humedad del terreno.*
- Figura 86: *Ventilación de los apoyos de una viga.*
- Figura 87: *Ejemplo de protección de elementos estructurales situados al exterior.*
- Figura 88: *Refuerzos de vigas con perfiles metálicos.*
- Figura 89: *Arriostramiento lateral armadura tipo de l'Orme.*
- Figura 90: *Armadura tipo Emy.*
- Figura 91: *Cuchillo Hetzer.*
- Figura 92: *Hangares para los aviones realizados en madera laminada.*
- Figura 93: *Capilla ecuménica en Turku (Finlandia). Arquitecto: Matti Sanaksenaho.*
- Figura 94: *Estructura de madera laminada encolada.*
- Figura 95: *Clasificación estructural de la madera de manera visual.*
- Figura 96: *Vigas de MLE listas para la formación de lámina continua mediante unión dentada en la testa.*
- Figura 97: *Orientación general de las láminas.*
- Figura 98: *Orientación de las láminas para la clase de servicio 3.*
- Figura 99: *Laminación horizontal.*
- Figura 100: *Laminación vertical.*
- Figura 101: *Ejemplo de la disposición de las láminas en la MLE.*
- Figura 102: *Medición de humedad mediante xilohigrómetro.*
- Figura 103: *Detalle de la unión dentada.*
- Figura 104: *Detalle de entalladura perpendicular.*
- Figura 105: *Detalle de entalladura paralela.*
- Figura 106: *Detalle de entalladura inclinada.*
- Figura 107: *Maquina de fresado-encolado-empalmado.*
- Figura 108: *Distancia del nudo al empalme en piezas de MLE.*
- Figura 109: *Distancia mínima a la que debe realizarse un corte transversal para suprimir el nudo.*
- Figura 110: *Regruesadora de madera.*
- Figura 111: *Detalle de prensa vertical.*
- Figura 112: *Detalle de postes y de guías en una prensa horizontal.*
- Figura 113: *Replanteo y manufacturas de la MLE mediante sierras circulares.*
- Figura 114: *Certificados de calidad para la madera laminada.*
- Figura 115: *Diseño de la estructura con divisiones realizadas de antemano para su transporte.*
- Figura 116: *Transporte especial de vigas de grandes dimensiones.*
- Figura 117: *Separación en obra de la zona donde se sitúan los útiles de montaje de la estructura.*
- Figura 118: *Colocación en obra de las vigas mediante abrazaderas con ayuda de una grúa.*
- Figura 119: *Sometimiento al fuego de una viga de madera y una viga metálica.*
- Figura 120: *Identificación de las distintas zonas afectadas por el fuego.*

Figura 121: *Aspecto de una viga tras un ensayo de 15 minutos con la cara interior protegida por el forjado.*

Figura 122: *Vista de la sección de una viga antes y después de estar sometida al fuego.*

Figura 123: *Definición de la sección residual y eficaz.*

Figura 124: *Encolado de piezas de madera con colas naturales.*

Figura 125: *Adhesivos sintéticos obtenidos a base de resina artificial de polímeros.*

Figura 126: *Aplicación de adhesivo termofusible con pistola manual.*

Figura 127: *Aplicación de adhesivo de poliuretano con pistola manual.*

Figura 128: *Aplicación de adhesivo epoxi con pistola manual.*

Figura 129: *Aplicación de un adhesivo sintético termoestable para unir tablas de madera.*

Figura 130: *Sección transversal neta de la unión para una pieza con un perno.*

Figura 131: *Separación mínima entre un elemento de unión y el borde contiguo.*

Figura 132: *Unión traccionada de la pieza solicitante y solicitada.*

Figura 133: *Unión comprimida de la pieza solicitante y solicitada.*

Figura 134: *Unión de barras excéntricas.*

Figura 135: *Unión en hilera.*

Figura 136: *Tipos de clavos variando la cabeza, el caño y la punta.*

Figura 137: *Normas de ejecución que deben de cumplir las uniones clavadas.*

Figura 138: *Tornillos y atornillador eléctrico automático.*

Figura 139: *Tirafondo.*

Figura 140: *Perno.*

Figura 141: *Pasadores metálicos.*

Figura 142: *Clavijas de madera.*

Figura 143: *Llave appel.*

Figura 144: *Placas bulldog con dientes en una y ambas caras.*

Figura 145: *Placas aligátor.*

Figura 146: *Placas Geka.*

Figura 147: *Detalle de unión con placas dentadas.*

Figura 148: *Fijación con estribos sobre soporte.*

Figura 149: *Estribos con alas exteriores.*

Figura 150: *Estribos con alas interiores.*

Figura 151: *Estribo con ala interior y ala exterior.*

Figura 152: *Estribo con pendiente regulable.*

Figura 153: *Estribos Cantilevers.*

Figura 154: *Estribo con ángulo.*

Figura 155: *Estribos de dos elementos.*

Figura 156: *Estribos de tirantes.*

Figura 157: *Estribo de conexión viga-pilar.*

Figura 158: *Estribos con alma interior.*

Figura 159: *Estribos tipo cola de milano.*

Figura 160: *Escuadras.*

Figura 161: *Pie fijo.*

Figura 162: *Pie regulable.*

- Figura 163: *Pie en U.*
- Figura 164: *Pie con alma interior.*
- Figura 165: *Elementos metálicos no estándar.*
- Figura 166: *Ejemplo de libertad de formas de la MLE., Metropol Parasol de Sevilla.*
- Figura 167: *Vista aérea del solar, señalado de color rojo.*
- Figura 168: *Vista aérea del Acquaform, señalado de color rojo.*
- Figura 169: *Vistas aéreas en helicóptero del Acquaform.*
- Figura 170: *Colocación de los paneles tipo "thermochip".*
- Figura 171: *Lucernario visto desde el interior.*
- Figura 172: *Estribo de unión viga-muro.*
- Figura 173: *Estribo de unión viga-pilar.*
- Figura 174: *Estribo de unión viga secundaria-viga transversal.*
- Figura 175: *Estribo de unión viga transversal-viga principal.*
- Figura 176: *Correas con sistema de unión de cola de milano en la testa.*
- Figura 177: *Alzado del lucernario.*
- Figura 178: *Abatimiento de la parte del lucernario que recibe la correa.*
- Figura 179: *Detalle del perfil seccionado y acotado.*
- Figura 180: *Valores de la presión dinámica del viento para las zonas A, B y C.*
- Figura 181: *Modelo de cálculo de la acción del viento para cubierta a dos aguas.*
- Figura 182: *Supuesto modelo de cálculo de la acción del viento para una cubierta cónica.*
- Figura 183: *Medidas de las zonas de la cubierta para el cálculo de la acción del viento.*
- Figura 184: *Coeficientes de presión del viento para las distintas zonas. Hipótesis 1.*
- Figura 185: *Carga del viento sobre la cubierta. Hipótesis 1.*
- Figura 186: *Coeficientes de presión del viento para las distintas zonas. Hipótesis 2.*
- Figura 187: *Carga del viento sobre la cubierta. Hipótesis 2.*
- Figura 188: *Superficie expuesta a la carga de nieve en el lucernario.*
- Figura 189: *Cargas de peso propio aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.*
- Figura 190: *Sobrecargas de uso aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.*
- Figura 191: *Cargas de nieve aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.*
- Figura 192: *Cargas del viento 1 aplicadas a la estructura y flechas derivadas para orientaciones de presión y succión respectivamente.*
- Figura 193: *Cargas del viento 2 aplicadas a la estructura y flechas derivadas para orientaciones de presión y succión respectivamente.*
- Figura 194: *Situación de las uniones metálicas sometidas a cortadura simple.*
- Figura 195: *Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones de cortadura simple.*
- Figura 196: *Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones con alma interna de acero.*
- Figura 197: *Situación de la unión metálica de las vigas al pilar central.*
- Figura 198: *Situación de las uniones metálicas de la viga transversal a la viga principal.*

Figura 199: *Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones con alma interna de madera.*

Figura 200: *Situación de la unión de la viga principal al muro.*

Figura 201: *Situación de la unión de la viga secundaria al muro.*

Figura 202: *Vista exterior del balneario. Fotografía sacada desde el aparcamiento.*

Figura 203: *Vista exterior del balneario. Fotografía sacada desde el aparcamiento.*

Figura 204: *Vista exterior del balneario. Fotografía sacada desde el aparcamiento.*

Figura 205: *Vista general del interior del Acuaform.*

Figura 206: *Vista general del interior del Acuaform.*

Figura 207: *Vistas generales del interior del Acuaform tomada hacia los laterales.*

Figura 208: *Vistas generales del interior del Acuaform tomada hacia los laterales.*

Figura 209: *Vistas de la estructura de MLE y de las uniones metálicas.*

Figura 210: *Vistas de la estructura de MLE y de las uniones metálicas.*

Figura 211: *Vista de las correas y del material de cubrición con los paneles tipo “thermochip”.*

Figura 212: *Vista de las correas y del material de cubrición con los paneles tipo “thermochip”.*

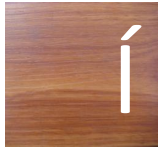
Figura 213: *Unión de la viga principal al muro perimetral que se apoya a la pilastra.*

Figura 214: *Unión de la viga principal al muro perimetral que se apoya a la pilastra.*

Figura 215: *Unión de la viga secundaria al muro perimetral que se apoya a la pilastra.*

Figura 216: *Unión de la viga secundaria al muro perimetral que se apoya a la pilastra.*

Figura 217: *Lucernario visto desde el interior.*

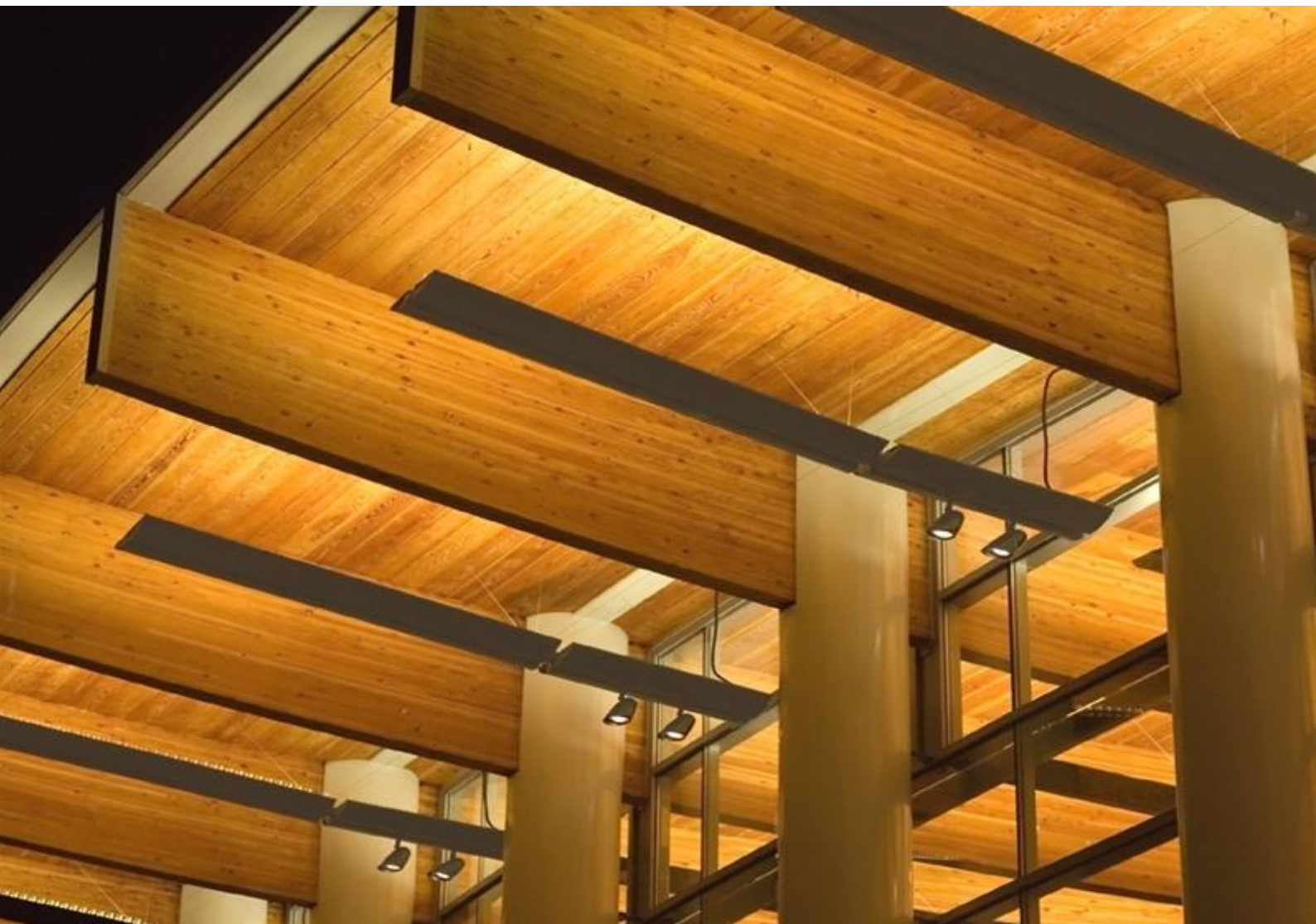


INDICE DE TABLAS

- Tabla 1: *Conductividad térmica de los materiales más habituales.*
- Tabla 2: *Agentes biológicos que corresponden a cada Clases de uso.*
- Tabla 3: *Clases de penetración y especificaciones de uso.*
- Tabla 4: *Relación entre clase de uso y nivel de penetración del tratamiento protector.*
- Tabla 5: *Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los disolventes orgánicos.*
- Tabla 6: *Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los productos mixtos.*
- Tabla 7: *Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los hidrodispersables.*
- Tabla 8: *Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los hidrosolubles.*
- Tabla 9: *Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los orgánicos naturales.*
- Tabla 10: *Protectores utilizables para cada clase de uso.*
- Tabla 11: *Correspondencias conocidas entre clases resistentes de madera laminada encolada y la madera aserrada.*
- Tabla 12: *Valores de las propiedades asociadas a cada una de las Clases Resistentes de la madera laminada encolada homogénea.*
- Tabla 13: *Valores de las propiedades asociadas a cada una de las Clases Resistentes de la madera laminada encolada combinada.*
- Tabla 14: *Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación a las clases de servicio.*
- Tabla 15: *Valores máximos del espesor y sección transversal de las láminas.*
- Tabla 16: *Valores máximos del espesor y área de la sección transversal en las láminas cepilladas, según la clase de servicio.*
- Tabla 17: *Presiones de prensado recomendadas.*
- Tabla 18: *Velocidad de carbonización nominal de cálculo, θ_{nr} , de maderas sin protección.*
- Tabla 19: *Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales.*
- Tabla 20: *Peso propio de la cubierta.*
- Tabla 21: *Valores de peso propio transmitidos a las correas.*
- Tabla 22: *Valores de sobrecarga de uso transmitidos a las correas.*
- Tabla 23: *Valores del coeficiente de exposición.*
- Tabla 24: *Cálculo de los coeficientes de presión del viento y sus resultantes.*
- Tabla 25: *Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón GH .Hipótesis 1.*
- Tabla 26: *Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón JI .Hipótesis 1.*
- Tabla 27: *Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón JI .Hipótesis 2.*
- Tabla 28: *Valores de nieve transmitidos a las correas.*
- Tabla 29: *Coefficientes de simultaneidad para combinación de acciones.*
- Tabla 30: *Flechas producidas por las distintas cargas sobre la viga 1.*
- Tabla 31: *Flechas producidas por las distintas cargas sobre la viga 2.*
- Tabla 32: *Valores de las propiedades de la madera laminada utilizada en la estructura del balneario.*
- Tabla 33: *Coefficientes parciales de seguridad para las acciones.*



PARTE 1: LA MADERA LAMINADA



PARTE 1:

LA MADERA LAMINADA

A/01

LA MADERA

B/01

LA MADERA LAMINADA

PARTE 1:
LA MADERA LAMINADA

A/01

LA MADERA



GENERALIDADES

Se denomina madera al conjunto de tejidos del leño que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Desde éste punto de vista comercial, solamente se aprovecha la madera de los árboles, es decir, los vegetales leñosos de ciertas dimensiones y madurez. Los arboles se clasifican en dos categorías botánicas: las coníferas y las frondosas.

Las **coníferas** son especies leñosas que pertenecen a las gimnospermas; es decir, son aquellas plantas que tienen flores muy pequeñas poco vistosas, no tienen frutos, son de gran porte, ramificados y longevos.

Conocidos comúnmente como madera blanda. Por lo general son perennes, como los pinos, enebro, abetos, cedro, ciprés, entre otros. Producen piñas o falsos frutos en donde se encuentran las semillas.

Las **frondosas** pertenecen a las angiospermas y abarcan un reino mucho más extenso, producen frutos, flores y semillas. Son conocidos como madera dura, y pueden ser árboles, arbustos, herbáceas, caducas, perennes, anuales, bianuales. Éstas a su vez se dividen en Monocotiledóneas y las Dicotiledóneas.

La madera está formada por un conjunto de células que sirven para la conducción de savia, de soporte físico y de almacenamiento de las sustancias nutritivas. Existen algunas diferencias según se trate de coníferas o frondosas. En las coníferas la conducción se realiza por traqueidas de paredes finas; en las frondosas por vasos. El almacenamiento de las sustancias nutritivas es realizado por células parenquimáticas.

Se estima que existen más de 16.000 tipos diferentes de maderas en todo el mundo, cuya utilización varía mucho dependiendo del lugar de donde se obtengan, así como sus características. Se emplean de forma comercial entorno a 2.000, de las cuales una cuarta parte son maderas coníferas y tres cuartas partes frondosas.

En España se estima que se comercializan entorno de 50 especies de coníferas y 100 frondosas, y en el resto del mundo se comercializan aproximadamente entorno de 500 especies coníferas y 1.500 frondosas.

1.1. FORMACIÓN DE LA MADERA

Los árboles constituyen un grupo importante dentro del reino vegetal, conocido como espermatofitas (plantas portadoras de semillas). Este grupo se divide a su vez en gimnospermas y angiospermas.

Como todas las plantas, los árboles poseen en sus hojas las sustancias para su crecimiento, mediante el proceso de fotosíntesis. Éste consiste en una compleja reacción química de compuestos orgánicos, en la que, obteniendo de la luz solar la energía necesaria, el dióxido de carbono del aire se combina con el agua absorbida del suelo para formar los azúcares, expulsando oxígeno a la atmósfera.

Esta reacción requiere la presencia de la clorofila, sustancia verde que da a las hojas su color característico.

El agua que se necesita para producir la fabricación química en la hoja entra en el árbol a través de las raíces formando una solución de alta concentración de sales. La sabia es transportada hasta la cima del árbol fluyendo a través de los vasos leñosos.

El dióxido de carbono entra directamente en la hoja a través de los estomas.

La madera además de conducir la savia, proporciona al árbol la fuerza mecánica necesaria para sostener el peso de su copa y sirve de almacén para las sustancias nutritivas. Estas sustancias son distribuidas desde las hojas a todas las partes del árbol en forma de disolución a través de la corteza interna o floema, y pueden ser utilizadas para formar nuevos tejidos.

La nueva madera es producida por el cambium, que está situada entre el leño y el floema. El cambium rodea las partes vivas del árbol, y durante los períodos de crecimiento activo las células cambiales se dividen dando lugar a nuevas células leñosas por la cara interna, y a células floemáticas por la externa; de esta forma la madera nueva se superpone al núcleo del leño preexistente. Si alguna época del año es poco favorable para el crecimiento debido al frío o a la sequía, el leño se superpone formando capas estacionales de distinto grosor, que se reconocen a simple vista por los anillos de crecimiento a que dan lugar.

1.2. ANATOMÍA DEL ÁRBOL

Los árboles, al igual que todas las plantas, se componen de células, fibras y vasos leñosos. El elemento fundamental anatómico de las plantas es la célula. La unión de las células forma el tejido, y este a su vez forma la masa leñosa.

Cuando la madera envejece se vuelve más dura y le confiere al tronco la rigidez necesaria para mantenerlo vertical.

Los principales tejidos de un árbol vienen representados en la *figura 1*, y se clasifican en:

- ✓ **Tejido epidérmico o de defensa:** se encuentra en la parte exterior y tiene función protectora de las hojas y del tallo.
- ✓ **Tejido mecánico o de resistencia:** están constituidos por células alargadas de paredes muy gruesas formadas de celulosa. Dan forma y rigidez a los vegetales.
- ✓ **Tejido conductor:** se encuentra en el interior del tronco y se encarga de repartir los nutrientes por todo el árbol.
- ✓ **Parénquima:** es el tejido que se encuentra en las hojas y se encarga de realizar la fotosíntesis en las plantas.
- ✓ **Meristemo:** es el tejido de crecimiento de las plantas y está formado por células jóvenes que se dividen para formar nuevas células. Se sitúa en las extremidades de las ramas.
- ✓ **Tejidos excretores:** formado por células que producen sustancias como resina en los pinos, látex en las plantas lechosas, etc.

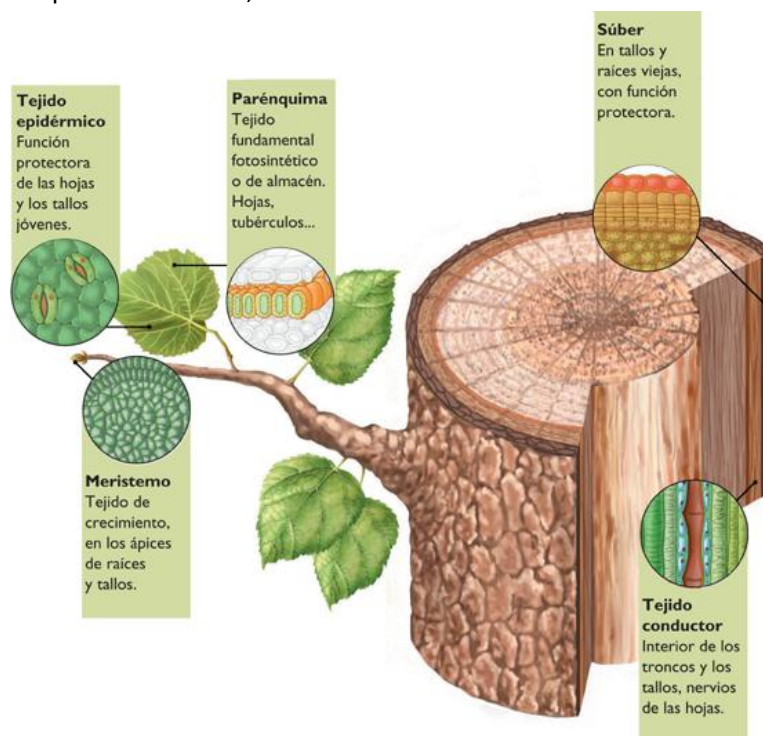


Figura 1: Representación de los principales tejidos de un árbol.
Fuente: joseeripety.blogspot.com

1.3. ESTRUCTURA DEL ÁRBOL

1.3.1. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

En la sección transversal del tronco de un árbol se distinguen a simple vista diversas estructuras, reflejadas en la *figura 2* y definidas a continuación.

En el centro se encuentra la **médula**, un conjunto de células que recorren el tronco por su eje central. Puede ser de sección circular, poligonal o estrellada. Generalmente es de pequeña dimensión y se desecha en los procesos de elaboración de madera.

La medula corresponde a la zona por la que se produce el crecimiento en altura de la planta. Alrededor de la medula se van originando de manera progresiva los anillos de crecimiento.

Cada **anillo de crecimiento** está compuesto por un conjunto inicial de células que constituyen la denominada madera de primavera o madera temprana y un conjunto final de células que originan una franja más oscura y que se conoce con el nombre de madera tardía o madera de verano. Habitualmente, en árboles con cierta edad, la parte central del tronco presenta un color más oscuro, denominada **durámen**, y se diferencia de la corona de madera más externa, generalmente de color más claro, que constituye la **albura**.

El duramen y la albura forman en su conjunto la madera, o más propiamente dicho, el **xilema**.

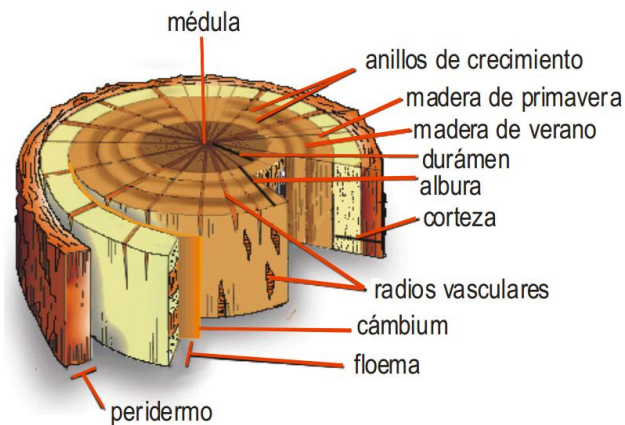


Figura 2: Estructura macroscópica de un tronco

Fuente: cepazahar.org

La albura es la madera de más reciente formación. Es la zona donde tienen lugar dos importantes funciones, la conducción de la savia y el almacenamiento de sustancias nutritivas.

Debido al crecimiento del árbol, llega un momento en el que la capa más interna de la albura ha sido desplazada tan lejos de la zona de crecimiento que las células o vasos que la forman se mueren. Una vez muertas, y perdido su contenido protoplasmático, conservan las paredes que constituyen los elementos de conducción.

Con el tiempo, estos conductos se van obstruyendo debido al depósito de sales minerales o a la formación de tilosas, por lo que da lugar a la pérdida de la función de los elementos conductores. Paralelamente algunas transformaciones químicas ligadas a procesos de oxidación, acumulación de resinas, aceites y otras sustancias colorantes, le van confiriendo su característico color más oscuro, dando lugar al duramen, que por ello se diferencia de la albura.

Perpendicularmente al eje del tronco se extienden los **radios vasculares o leñosos**, que se aprecian con bastante claridad en la *figura 3*, con una tonalidad más clara de la madera. Se originan a partir de

las células iniciales radiales del cambium y constituyen una estructura típica del crecimiento secundario.

Las dimensiones de radios leñosos son muy variables. Los radios vasculares, también conocidos como radios leñosos, se van separando unos de otros a medida que el tronco crece, y cuando la distancia entre ellos es muy grande aparece otro radio intermedio para conservar una distancia entre ellos constante.



Figura 3: Sección transversal del tronco donde se aprecian los radios leñosos.

Fuente: ruralnaturaleza.com

El **cambium** es una capa delgada de células que rodean externamente el xilema. Son células vivas generadoras del crecimiento. Estas se dividen para dar lugar internamente a nuevas células del xilema que forman los nuevos anillos de crecimiento y externamente a las células del floema.

La **corteza** está formada por dos capas. El **floema** o líber, es la capa interna de la corteza, y es la encargada de conducir los nutrientes de la fotosíntesis desde las hojas al resto de la planta. Las células más externas del floema van dando origen a la corteza externa. El **peridermo** o corteza externa es la capa que recubre la parte exterior del floema y sirve de protección de la planta.

1.3.2. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

La madera está formada por dos tipos de tejidos fundamentales:

- ✓ **Tejidos parenquimatosos** o parénquimas, están formados por células aproximadamente isodiamétricas que presentan membranas sutiles, no presentan lignificación y en las que el protoplasma ocupa una posición parietal.
- ✓ **Tejidos prosenquimatosos** o prosénquimas que están constituidos por células alargadas fusiformes generalmente unidas por sus extremos que presentan membranas más o menos engrosadas y carecen, total o casi totalmente, de contenido protoplasmático.

Todas las células de la madera se originan a partir de dos tipos de células indiferenciadas iniciales:

- ✓ Las células radiales iniciales (producen células alargadas radialmente que se denominan fibras radiales).
- ✓ Las células fusiformes iniciales (producen células alargadas verticalmente).

En coníferas que presentan la madera estructuralmente más sencilla, sólo aparecen un tipo de células fusiformes, las traqueidas; mientras que en algunas coníferas se producen células parenquimatosas además de las traqueidas. Estas características afectan a la densidad de la madera.

Por otro lado, hay coníferas que desarrollan un tercer tipo de conductos: los **canales resiníferos**.

Las maderas coníferas presentan traqueidas y radios transversales uniseriados (formados por una única fila de células), mientras que las maderas frondosas presentan vasos conductores y radios transversales multiseriados.

Las traqueidas son más que simples tubos inertes que conducen el agua, ya que componen de un sistema para regular la conducción de agua a aquellas partes de la planta que más la requieren. En este transporte interviene la membrana central compuesta de celulosa e hidrogeles de pectina que sirve para mantener adheridas las paredes de las células contiguas. La propiedad de los hidrogeles de pectina se basa en el aumento de volumen debido a la hidratación, de tal manera que los poros se obstruyen dificultando el paso de agua. En el caso contrario, cuando las pectinas se deshidratan y contraen, los poros se abren permitiendo el flujo de agua hacia las partes menos hidratadas de la planta.

Los conductos resiníferos son estructuras tubulares, generalmente de las coníferas, formadas en una capa cilíndrica de células glandulares que segregan resina que vierten al espacio interior y que se encuentran dispersos en el leño de los troncos.

En la siguiente imagen (*figura 4*) se ve con detalle en la sección transversal de un tronco el canal resinífero.

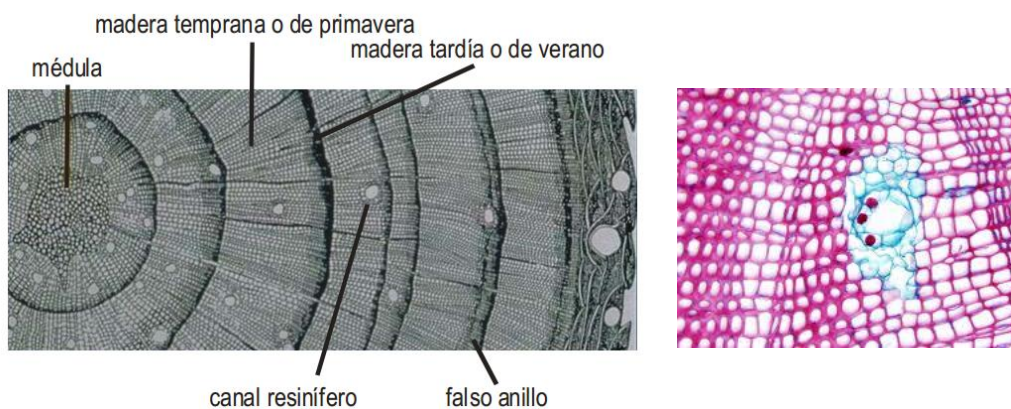


Figura 4: Detalle microscópico de un canal resinífero

Fuente: meted.ucer.edu

1.3.3. QUÍMICA DE LA MADERA

La madera es un material ortótropo formado por sustancia fibrosa y celulosa de la que se compone el tronco de un árbol.

La madera está formada por los siguientes elementos químicos: un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el 2% restante de nitrógeno, fósforo y otros elementos.

El carbono, el oxígeno y el hidrógeno son los componentes básicos de los carbohidratos que intervienen en la composición de la celulosa, hemicelulosa y ligninas.

Las moléculas de glucosa se enlazan entre sí para formar cadenas de enorme longitud que forman las moléculas de celulosa, tal y como se muestra en la *figura 5*. La **celulosa** tiene una estructura lineal o fibrosa. Representa alrededor del 50% del peso seco de la madera y es el principal componente de las células de las plantas.

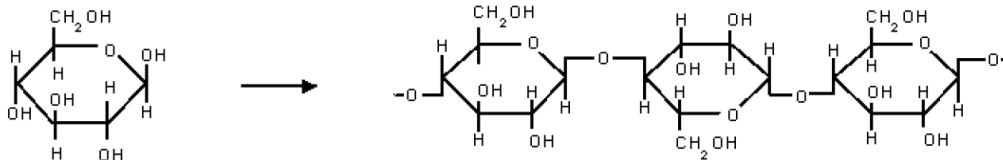


Figura 5: Formación de la celulosa químicamente a partir de moléculas de glucosa

Fuente: química.laguia.com

La **hemicelulosa** es el segundo componente químico de la madera y representa entre un 15-25% de su peso seco. A diferencia de la celulosa que está formada exclusivamente por moléculas de glucosa, en la composición de la hemicelulosa intervienen glucosa y otros azúcares solubles en agua que se originan durante la fotosíntesis.

El tercer componente de la madera es la **lignina**, que constituye entre un 15-30% del peso seco de la madera. Es un complejo químico formado por la deshidratación de azúcares que origina estructuras aromáticas.

También se encuentran otros compuestos orgánicos e inorgánicos en la pared y en el lumen de las células, representando entre un 2-15% del peso, y son los que le confieren las propiedades características de cada especie.

1.4. CRECIMIENTO Y EDAD DEL ÁRBOL

Viendo el árbol por una sección transversal por el pie, podemos averiguar la edad determinando el número de anillos de crecimiento. Estos anillos se van estrechando y desapareciendo a medida que subimos las secciones en el árbol.

Cada anillo indica el ciclo vegetativo de un año, por lo que se puede determinar la edad simplemente con la suma del total de los anillos. En algunas especies estos anillos se pueden apreciar a simple vista y en otras su apreciación es más difícil.

En el anillo de crecimiento de un año se distingue: la madera de primavera o inicial (leño temprano) y la madera de verano o de otoño (leño tardío).

La madera de primavera tiene una coloración clara. Es blanda, menos compacta y es de tejido vascular que permite la conducción de la savia por el árbol.

La madera de verano tiene una coloración más oscura. Es madera más dura que la de primavera y es la encargada del sostén del árbol.



Figura 6: Sección del tronco donde se aprecian claramente la madera de primavera y la de verano.

Fuente: dreamstime.com

La determinación con exactitud de la edad solo es posible en arboles que se encuentren en zonas donde las variaciones climáticas de las estaciones sean diferenciadas, ya que se pueden apreciar con claridad los anillos de crecimiento. Por otro lado, los arboles situados en zonas con climas constantes durante todo el año, como sería el clima tropical, no presentan anillos distintivos puesto que no existe diferencia entre estaciones.

En cuanto al crecimiento las maderas se clasifican en:

- ✓ Crecimiento lento: más de 4 anillos por centímetro medido en sentido radial.
- ✓ Crecimiento intermedio: entre 3 y 4 anillos por centímetro medido en sentido radial.
- ✓ Crecimiento rápido: menos de 3 anillos por centímetro medido en sentido radial.

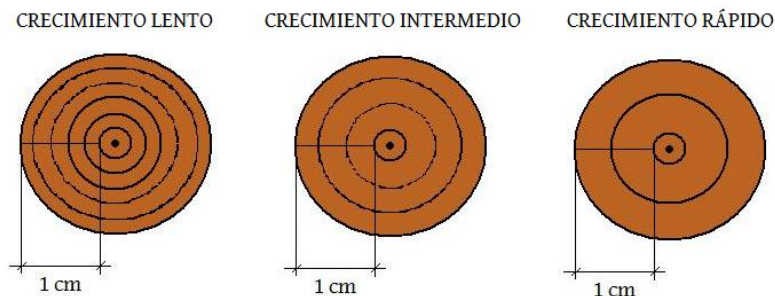


Figura 7: Clasificación de la madera según el crecimiento de los anillos.

Fuente: propia

En la madera con fines estructurales, cuanto mayor número de anillos posea medidos en sentido radial, mayor calidad tendrá.

1.5. ANISOTROPÍA

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera varían según la dirección del esfuerzo que actúe con respecto de las fibras. Debido a su heterogeneidad, para el cálculo estructural se establecen tres planos o secciones de corte (*figura 8*):

- ✓ Transversal, es decir, perpendicular al eje del tronco.
- ✓ Radial, pasa por el eje y un radio del tronco.
- ✓ Tangencial, paralela a un plano tangente al tronco o al anillo de crecimiento.

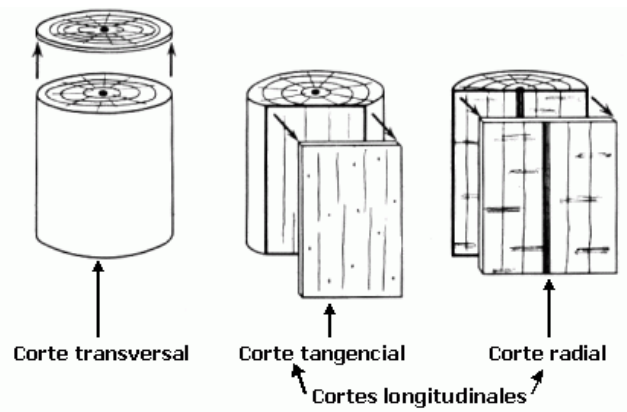


Figura 8: Detalle de los planos de sección de un tronco.

Fuente: biología.edu.ar

La resistencia a tracción de las fibras es más elevada que la resistencia a compresión cuando el esfuerzo se aplica en la dirección longitudinal de las fibras.

La resistencia a compresión es la que ofrece la madera a las acciones que tratan de aplastarla. Ésta será mayor en la dirección paralela a las fibras y mucho menor en la dirección tangencial y radial.

Respecto a la resistencia a cortante, cuando se hace trabajar en dirección paralela a las fibras, rompe por deslizamiento; mientras que cuando se hace trabajar en dirección perpendicular, rompe por compresión.

La forma y disposición de las fibras tiene gran influencia en la resistencia a la flexión. Según su forma, una pieza de sección rectangular colocada de canto resiste más que una pieza de sección cuadrada de igual volumen y longitud.

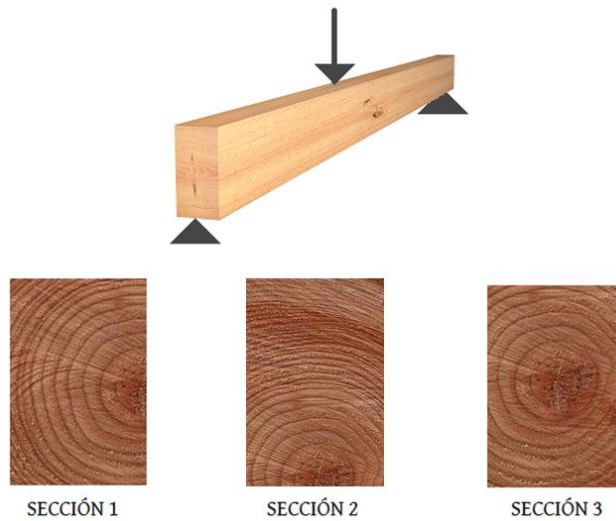


Figura 9: Disposición de la médula en una viga que trabaja a flexión.

Fuente: propia

En la *figura 9*, en el caso de la sección rectangular 1, dispuesta de canto con la médula no enteriza situada en el borde de mayor longitud, obtenemos la máxima resistencia para la viga. Con el hecho de colocar la misma viga con la médula no enteriza en el borde de menor longitud, sección 2, la resistencia de la pieza disminuirá en el orden de un 15%. En el caso de colocar la pieza de canto con la medula enteriza centrada, sección 3, se reducirá entorno un 10% la resistencia de la sección 1.

1.6. CONTRACCIÓN VOLUMETRICA

Puesto que la madera es un material higroscópico, sufre variaciones dimensionales en función del contenido de humedad. La contracción volumétrica es la disminución del volumen entre la madera saturada y la madera anhidra.

Las mayores variaciones dimensionales se producen en la dirección radial y tangencial, siendo superior la correspondiente a la dirección tangencial.

Esta variación se expresa en tanto por ciento, formulada de la siguiente manera:

$$Cv = \frac{Vi - Vf}{Vf} \times 100$$

Vi: volumen de la pieza saturada

Vf: volumen de la pieza anhidra

Hi: humedad de la pieza saturada

Hf: humedad de la pieza anhidra

El coeficiente de contracción volumétrica correspondiente a la variación de humedad en un 1% se expresa por:

$$Ccv = \frac{Vi - Vf}{Vf \times (Hi - Hf)} \times 100$$

PROPIEDADES DE LA MADERA

2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan el comportamiento ante los factores externos sin que se produzca ninguna modificación de la estructura de la misma.

2.1.1. DUREZA

La dureza es la propiedad de la madera a ser penetrada por otros cuerpos, por ejemplo clavos, tornillos, etc. Según su dureza, la madera se puede clasificar en:

- ✓ **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de crecimiento lento, procedentes de árboles de hoja caduca. Son mucho más caras que las maderas blandas. Algunos ejemplos de maderas duras son la jatoba, el fresno, el cerezo, el roble, el olmo, etc.
- ✓ **Maderas blandas:** son aquellas que pertenecen a árboles de crecimiento rápido, pertenecientes al orden de las coníferas. Las ventajas que presentan con respecto a las maderas duras es que son más baratas, más ligeras y la manipulación es más sencilla; por el contrario, producen mayor cantidad de astillas y tienen menor veteado, lo que le resta atractivo. Algunos ejemplos de maderas blandas son el pino, el abedul, el abeto, el chopo, el sauce, la madera de balsa, etc.
- ✓ **Maderas semiduras:** son aquellas que pertenecen a árboles de crecimiento normal, y comprenden a la mayoría de los arboles.

El método de trabajo para la medición de la dureza se describe en la Norma U.N.E.56.540.

En la siguiente gráfica (*figura 10*) se muestra los valores de dureza de las maderas más representativas.

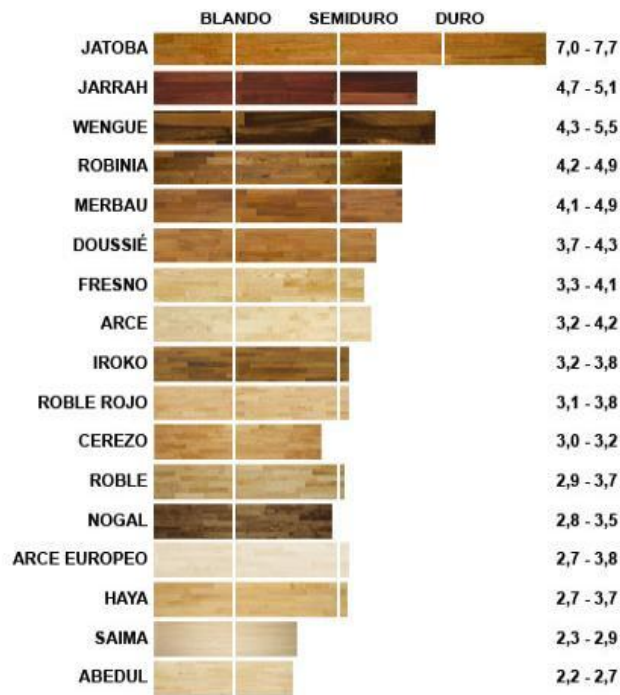


Figura 10: Gráfica donde se muestra la dureza de algunas maderas representativas.

Fuente: kareliaparketti.com

2.1.2. FLEXIBILIDAD

La flexibilidad es la propiedad de la madera a poder ser doblada o curvada por medio de calor, humedad y/o presión. En general la madera es un material flexible.

La madera joven se dobla con más facilidad que la madera vieja, la dura que la blanda y la verde que la seca.

Para realizar la curvatura de las piezas se humedece con agua un lado de la pieza para facilitar el alargamiento de las fibras, mientras que el lado opuesto se calienta para que las fibras se contraigan. La tensión de la pieza debe realizarse suavemente y de manera constante.

En la *figura 11*, aparece una silla que es un claro ejemplo de la propiedad flexible de la madera, adoptando formas muy arqueadas.



Figura 11: Claro ejemplo de la flexibilidad de la madera y sus posibilidades de curvado en una silla.

Fuente: creandohogar.com

2.1.3. POROSIDAD

La porosidad es la propiedad de la madera de poseer entre las moléculas espacios de aire. Las maderas cuanto más densas son, menor porosidad tienen. Las maderas porosas son más fácilmente penetrables por los tratamientos protectores.

2.1.4. HIGROSCOPICIDAD

Es la capacidad de la madera de absorber o ceder humedad del ambiente donde esté situado. Cuando el grado de humedad de la madera es inferior al del ambiente, la madera absorbe agua, y en el caso contrario, la madera expulsa agua al ambiente.

Esta propiedad es responsable de las deformaciones físicas y de la variación de densidad y volumen. Para determinar el grado de humedad se utilizan unos instrumentos llamados higrómetros, que realizan la medición de la resistencia de la madera al paso de corriente eléctrica, *figura 12*.



Figura 12: Medición de la humedad de la madera mediante el paso de corriente eléctrica con un higrómetro.

Fuente: ch-direct.es

2.1.5. MERMA E HINCHAZÓN

Esta propiedad deriva de la higroscopicidad y la anisotropía, puesto que la madera sufre cambios dimensionales cuando absorbe o cede agua con el ambiente. Estos cambios son distintos según la dirección de las fibras de la madera, tal y como se muestra en la *figura 13*.

Los movimientos de merma e hinchazón son debidos a la absorción de agua en las microfibrillas y el ángulo que forman entre ellas.

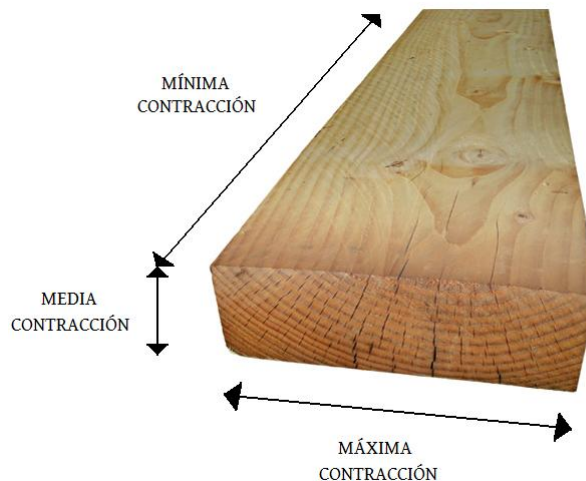


Figura 13: Movimientos de una tabla de madera según la disposición de las fibras.

Fuente: propia

2.1.6. HOMOGENEIDAD

La madera es homogénea cuando su estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes. Las maderas con radios medulares muy desarrollados son poco homogéneas, como la encina y el fresno; y las que presentan los anillos anuales de crecimiento con diferencias notables entre la madera crecida en primavera o en otoño, tal como sucede con el abeto, que es una de las maderas menos homogéneas. Las maderas como el peral, el manzano, el tilo, el boj, el arce, entre otras, son maderas homogéneas.

2.1.7. COLOR

El color viene definido por las sustancias químicas integrantes de las células. Las maderas duras presentan colores más oscuros refiriéndonos al duramen puesto que la albura normalmente es más clara. En las maderas blandas, especialmente las coníferas, el color es más bien pálido. El color de la madera variara según la exposición de luz, los tratamientos protectores, etc.

2.1.8. VETEADO

Las vetas son dibujos en la superficie del corte producidos por la condensación de las células de la madera, *figura 14*. Las vetas no afectan a las propiedades mecánicas, pero es una propiedad muy

importante desde el punto de vista estético. Las coníferas presentan vetas de un tono más oscuro que el resto de la superficie, en la que la forma depende del grueso y del tipo de corte. En las frondosas, el aspecto del veteado lo proporcionan una veta de poro abierto.



Figura 14: Tipos de veteados de las distintas maderas.

Fuente: sowood.es

2.1.9. BRILLO

La madera tiene brillo natural cuya intensidad varía según la especie y dirección del corte de la pieza. La cara de la sección radial es la que posee mayor brillo mientras que la sección transversal posee menor brillo debido a su porosidad. El brillo se puede acentuar mediante bruñido o aplicación de barnices.

2.1.10. TEXTURA, GRANO Y FIBRA

En función del tamaño de las cavidades, la madera puede presentar textura basta, cuando los vasos son grandes como el caso del roble, o textura fina, cuando los vasos son pequeños como por ejemplo el ébano canario.

La fibra es la alineación de los elementos del sistema vertical del leño, tales como son los vasos, fibras y traqueidas.

Por otro lado, se entiende por grano la dirección que recorre la fibra en relación al eje longitudinal del árbol, cuyo aspecto varía según el corte. Cuando existe poca variación en la dirección de la fibra se trata de grano recto. Distinguimos el grano entrelazado, debido al cambio de dirección del crecimiento en espiral que presentan especies como la madera sapelli, abebay o tiamá. Otras maderas presentan grano ondulado o combinaciones mixtas, que provocan diversos acabados estéticos superficiales.

El grano influye no solamente en el acabado estético, sino que también en la facilidad de trabajo de la madera.

2.1.11. OLOR

La intensidad del olor depende de la cantidad de esencias contenidas en las sustancias impregnantes originales de cada especie, como pueden ser las resinas, ceras, etc. Los pinos presentan olores muy característicos debido a su alto contenido en resina. El olor se acentúa prioritariamente en las maderas verdes.

Por el olor también se puede determinar el buen o mal estado de la madera.

2.1.12. DURABILIDAD

La duración de la madera dependerá principalmente del ambiente donde esté ubicada y de la puesta en obra. También depende a menor escala el tipo de especie de la madera, la forma de apeo, de secado, etc. En situaciones donde la madera esté continuamente con el mismo contenido de humedad, como por ejemplo maderas situadas en interiores o bajo el agua, pueden llegar a durar cientos de años; sin embargo, la madera tiene poca durabilidad en lugares donde esté expuesta a cambios de sequedad y humedad constantemente, como por ejemplo la madera situada en zonas donde se puedan producir salpicaduras o zona de mareas, como se muestra en el *figura 15*.



Figura 15: Muelle de madera sometido a salpicaduras y variación de humedad.

Fuente: rafacea.wordpress.com

2.1.13. PESO ESPECÍFICO

Denominamos peso específico al cociente entre el peso y el volumen. En el caso de la madera, el volumen y el peso de una probeta vienen influenciados por la humedad, por lo que para obtener una

comparación es necesario especificar el contenido de humedad de la pieza.

En España la humedad media de referencia de la madera es de 12%. Dependiendo del contenido de humedad obtenemos:

- ✓ > 30%, paredes celulares saturadas
- ✓ 30 - 23%, madera semiseca o poco seca
- ✓ 23 - 18%, madera comercialmente seca
- ✓ 18 - 13%, madera seca al aire
- ✓ < 13%, madera desecada
- ✓ 0%, madera anhidra

La madera como todo cuerpo poroso, tendrá un volumen aparente y otro real.

Peso específico aparente.

Si al peso de la pieza lo dividimos por el volumen aparente de la pieza, es decir, teniendo en cuenta el volumen de sus poros, obtenemos el peso específico aparente.

Se pueden definir los siguientes pesos específicos aparentes:

$$P_0 = \text{Peso específico anhidro} = \frac{P \text{ anhidro}}{V \text{ anhidro}}$$

$$P_H = \text{Peso específico húmedo} = \frac{P \text{ h \%de humedad}}{V \text{ h \% de humedad}}$$

$$P_S = \text{Peso seco volumétrico saturado} = \frac{P \text{ anhidro}}{V \text{ h \% de humedad}}$$

Peso específico real.

Si a la medida del volumen de la pieza de madera le descontamos el volumen de huecos, obtenemos el volumen real, y por consiguiente al dividir el peso por el volumen, obtenemos el peso específico real:

$$P_R = \text{Peso específico real} = \frac{P \text{ real}}{V \text{ real}}$$

Peso específico comercial.

Se conoce más comúnmente como densidades comerciales, y son unos valores que aproximados a los aparentes, se utilizan para cálculos y operaciones comerciales, correspondientes en general a la madera seca al aire con un 12% de humedad.

Como medida orientativa podemos asignar un peso específico a los siguientes tipos de madera, pero hay que tener en cuenta que su peso va a ser diferente en cada especie.

Resinosas:	520 kg/m ³
Fronosas:	730 kg/m ³
Fronosas tropicales:	900 kg/m ³

2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que determinan la capacidad de respuesta de las maderas frente a la acción ejercida por diversas fuerzas externas de distinto orden. Dependen principalmente del grado de humedad que contengan, del peso específico, del tipo de madera, etc.

2.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Resistencia debida a la acción de una fuerza que tiende a aplastar la madera. Su resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, alcanzando valores de 16 a 29 N/mm² para coníferas y de 18 a 34 para frondosas. En cuanto a su resistencia en la dirección perpendicular a la fibra su valor oscila entre 2 y 3,2 N/mm² para coníferas, y entre 7,5 y 11,3 para frondosas.

Cuanto menor sea el contenido de humedad la resistencia aumenta. Sin embargo, a partir de un contenido de humedad del 30%, su resistencia permanece constante.

La resistencia a compresión se identifica por la separación de las fibras de madera y pandeo individual de estas.

2.2.2. RESISTENCIA A TRACCIÓN

Resistencia provocada por la acción de dos fuerzas de signo contrario que tiran de la madera, alargando su longitud y reduciendo su sección transversal. La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción cuando esta se produce en la dirección longitudinal de las fibras, ya que dependiendo del tipo de madera, contenido de humedad, etc., los valores característicos oscilan para especies coníferas entre 8 y 30 N/mm², y para frondosas oscilan entre 11 y 42 N/mm². En el caso de que la fuerza de tracción sea perpendicular a la fibra su resistencia es muy baja, del orden de 30 a 70 veces menor que la tracción paralela, siendo su valor característico 0,4 a 0,6 N/mm².

En cuanto a la influencia de la humedad, se observa que al aumentar ésta, disminuye la resistencia.

2.2.3. RESISTENCIA A FLEXIÓN

Esfuerzo que realiza una pieza de madera colocada sobre dos apoyos y a la que se le aplica una carga en el centro. Puede decirse que la madera no resiste nada al esfuerzo de flexión en dirección radial o tangencial. No ocurre lo mismo si está aplicado en la dirección perpendicular a las fibras; donde para el caso de las coníferas su valor oscila entre 14 y 50 N/mm², y para las frondosas entre 18 y 70 N/mm².

Un elemento sometido a flexión se deforma de tal manera que produce un acortamiento de las fibras de una cara y un alargamiento de las fibras de la cara opuesta. Al proyectar un elemento de madera sometido a flexión es necesario evitar una deformación excesiva, que provoque un agrietamiento en el material de revestimiento o alguna incomodidad de cualquier otro tipo.

2.2.4. RESISTENCIA A CORTANTE

Esfuerzo que opone una pieza a la acción de las fuerzas paralelas que tienden a cortar la sección transversal de la madera. Estos esfuerzos actúan sobre las fibras de la madera según diversos modos:

- ✓ **Tensión de cortadura**, en el que las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo, en el que el fallo se produce por aplastamiento.
- ✓ **Tensión de deslizamiento**, en el que el fallo es producido por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.
- ✓ **Tensiones de rodadura**, en la que el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre otras.

La resistencia a cortante de las especies coníferas oscila entre 3 y 4 N/mm², mientras que para las frondosas es ligeramente superior, entre 3,4 y 5 N/mm².

2.2.5. RESISTENCIA A TORSIÓN

Esfuerzo que opone contra la rotación o giro alrededor del eje longitudinal a la fibra. La resistencia a la torsión de la pieza depende de la clase de la madera, densidad y humedad, de la forma de su sección y de la superficie de ésta. La resistencia a torsión de la madera paralela a las fibras es algo mayor que a la cortadura, pero solo del 15 al 20% de la resistencia longitudinal.

2.2.6. RESISTENCIA A DESGASTE

Las maderas sometidas a un roce o a una erosión, experimentan una pérdida de material. La resistencia al desgaste es mayor en las secciones testeras, menor en las tangenciales y muy pequeña en las radiales.

2.2.7. RESISTENCIA A LA HENDIBILIDAD O ESCISIÓN

Es la resistencia que opone la madera a la separación de las fibras cuando se intenta rajar mediante la penetración de una cuña, *figura 16*. La madera tiene cierta facilidad de hendirse o separarse en el

sentido de las fibras. Esta resistencia es mayor en el sentido transversal de las fibras y menor en el sentido longitudinal de las fibras. Las maderas que presentan fibras largas y carecen de nudos son las más resistentes a la hendibilidad. La madera con el paso del tiempo va perdiendo hendibilidad, mientras que la verde es fácilmente hendible.



Figura 16: Ejemplo de la hendibilidad de la madera al ser golpeada con un hacha por la testa.

Fuente: bolgdecaracortada.blogspot.com

2.3. OTRAS PROPIEDADES

Tal y como hemos dicho anteriormente, la madera es un material anisotrópico, por lo que la conductividad no es igual para las tres direcciones reconocidas, siendo la longitudinal la mayor conductora, seguida de la dirección radial, y en último lugar la tangencial. La madera es mala conductora, dependiendo del nivel de humedad. A mayor contenido de humedad mayor conductividad tendrá la madera. Las maderas ligeras y porosas son menos conductoras que las maderas densas y pesadas.

2.3.1. PROPIEDADES TÉRMICAS

La madera tiene escasa conductividad térmica, es decir, es un buen aislante térmico, gracias a la discontinuidad del leño y a sus propiedades. Su baja conductividad térmica garantiza la rotura de puentes térmicos y su buen comportamiento en caso de incendio. En la siguiente tabla (*tabla 1*) se hace una muestra comparativa, por orden de mayor a menor, sobre la conductividad de algunos de los materiales más utilizados en la construcción.

Tabla 1.- Conductividad térmica de los materiales más habituales. Fuente: propia

Conductividad térmica	
Material	kcal/mh°C
Aluminio	209,3
Acero	56,1
Hormigón	1,63
Ladrillo	0,75
Vidrio	0,6
Yeso	0,45
Madera	0,1-0,15
Corcho	0,03

2.3.2. PROPIEDADES ACÚSTICAS

La madera posee la capacidad de amortiguar el sonido, por lo que se emplea para el aislamiento acústico, dificultando el paso del sonido aéreo y de impacto. Las maderas porosas son mejores aislantes al sonido aéreo y mejoran la calidad de audición reduciendo los tiempos de reverberación (figura 17).



Figura 17: Auditorio revestido de madera para mejorar las condiciones acústicas del local.

Fuente: tectonicablog.com

Las maderas que tienen una superficie casi cerrada, con poca profundidad de sus poros, no tienen propiedad de absorción del sonido, como serían las maderas de fresno, ébano, cedro, boj, entre otras, empleadas para la fabricación de instrumentos.

2.3.3. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

La madera es muy mal conductor de la electricidad cuando esta se encuentra seca; no obstante, el agua es un excelente conductor de la electricidad, por lo que el aislamiento eléctrico será menor cuanto mayor contenido de humedad contenga en su interior

Puesto que la madera tiene la propiedad de ser un material que absorbe o cede la humedad del ambiente, sus propiedades eléctricas variaran dependiendo de su grado de humedad.

2.3.4. PROPIEDADES DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN

La madera es un material combustible, pero aunque parezca contradictorio tiene un buen comportamiento al fuego ya que la mala conductividad térmica hace que las temperaturas disminuyan hacia el interior y si el grueso es grande puede la madera arder en la superficie y estar intacto el interior.

Se puede considerar que la velocidad de penetración del fuego es de ± 7 mm por minuto, siendo este un valor aproximado ya que distintas caras pueden estar afectadas por el fuego de distinta madera.

Otra característica es que al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre otras estructuras deformándolas.

Las maderas más inflamables y combustibles son aquellas que contienen mayor cantidad de resina, como sería el pino, el chopo, el sauce, etc.

EXTRACCIÓN, SECADO Y TROCEADO DEL ÁRBOL

3.1. EXTRACCIÓN DEL ÁRBOL

La madera ha de extraerse cuando el árbol adquiere el máximo desarrollo. Si se extrae cuando la madera esta verde la madera es de peor calidad, poco resistente, más blanda, con mayor inestabilidad dimensional, etc.

La calidad de la madera va a depender de la especie del árbol, edad, desarrollo de su leño y de la época de tala.

La edad de tala de los arboles variará según la especie y el clima donde estén situados.

La mejor época para la tala de los arboles comprende desde finales de invierno hasta justo antes de que comience en la primavera el periodo de vegetación. En esta época el árbol no conduce savia, es más difícil el ataque de los insectos debido al frio y a la falta de nutrientes en el árbol, y se extrae más fácilmente la corteza. La savia, que es transportadora de azúcares, sustancias fermentables, etc., es un excelente medio para ser atacada por organismos, por lo cual es lógico que en verano no se realice la tala de los arboles. La tala puede realizarse con maquinas o a mano; y una vez derribado el árbol, se descortezan y se cortan las ramas (*figura 18*).



Figura 18: Tala del árbol, desbastado de las ramas y apilado de los troncos.

Fuente: huelladecarbon.com

3.2. SECADO

El secado es un proceso muy importante que determina el futuro comportamiento de la madera. Mediante el secado se adapta la madera a la humedad de equilibrio de su futuro uso, disminuyendo así las variaciones volumétricas de las piezas. Otra ventaja es la de prevenir el ataque de insectos xilófagos, hongos y mohos.

El secado se realiza de manera industrial mediante hornos especializados que controlan todas las variables para la obtención del mejor resultado, *figura 19*. Sin embargo, también se puede realizar un secado natural de la madera, siendo este más costoso y de peor resultado.

La calidad de la madera mediante el secado va a depender de la especie de madera, grueso de la madera, factores ambientales, tiempo de secado, disposición de la madera, secado preliminar al aire, uso y función.

Las maderas blandas contienen más cantidad de agua que las duras, pero se secan antes debido al mayor contenido de poros.

El secado debe realizarse de manera muy cuidadosa y lenta. De no ser así, pueden originarse distorsiones y grietas debido a la rápida pérdida del contenido acuoso.



Figura 19: Hornos de secado de madera.

Fuente: spanish.alibaba.com

3.3. TROCEADO DEL ÁRBOL

3.3.1. DESPIECE DEL TRONCO

El despiece del tronco se puede hacer de formas muy variadas. En estas formas se prevé tanto la finalidad estructural, que estudia el movimiento natural de la madera, como el aspecto estético. Para

la realización del despiece se utilizan sierras de hilo (*sierra sin fin o de cinta, figura 20*), sierras de bastidor y sierras circulares, dependiendo del método seleccionado para la obtención de piezas.



Figura 20: Despiece del tronco mediante sierra de hilo sin fin horizontal.

Fuente: directindustry.es

La madera puede ser cortada de manera tangencial o radial. En la práctica comercial, el corte tangencial tendrá los anillos formando ángulos de 0° a 45° con respecto a la superficie ancha, mientras que el corte radial tendrá los anillos formando ángulos de 45° a 90° .

En el corte radial no se produce deformación de la pieza puesto que las dos caras se contraen de igual forma. Por el contrario las piezas tangenciales tienen una contracción distinta en ambas caras, lo que supone un alabeo de la pieza.

Esto tiene gran importancia en la fabricación de la madera laminada, en la que se emplean tablas radiales y tangenciales contrapuestas.

Para la realización del despiece se hacen unos cortes longitudinales al tronco mediante sistemas y métodos que dependen del tipo de piezas que se pretende conseguir, de tal manera que se aproveche al máximo la madera consiguiendo el mínimo de desperdicios y reducir al mínimo las contracciones en las tablas.

Pieza enteriza

Se obtiene mediante el descortezado del rollo con serrados perpendiculares entre sí. A esta pieza a su vez se le puede dar un corte central o en cruz para realizar medias piezas o cuartos de pieza, respectivamente (*figura 21*). Se emplean cuando las piezas son destinadas a trabajos puntuales de sostén o aquellos en los que la función primordial es el soporte físico, no la estética.

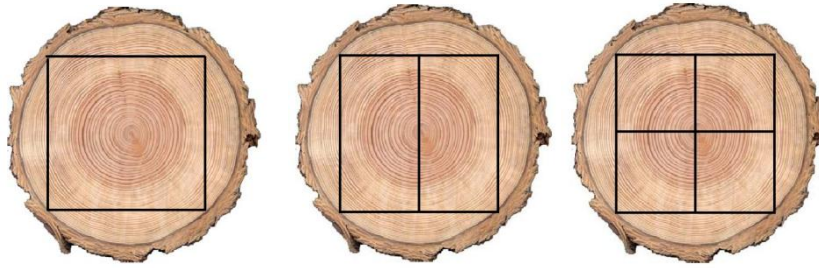


Figura 21: Despiece del tronco en pieza entera, con corte central y con corte en cruz.

Fuente: propia

Despiece por corte radial

Es el mejor método para la obtención de tablas porque es donde se producen menores deformaciones debido al secado de la madera, es decir, se consiguen tablas con la mayor estabilidad estructural. Tiene el inconveniente de que a nivel industrial se desaprovecha mucha madera, tal y como se muestra en la *figura 22*.

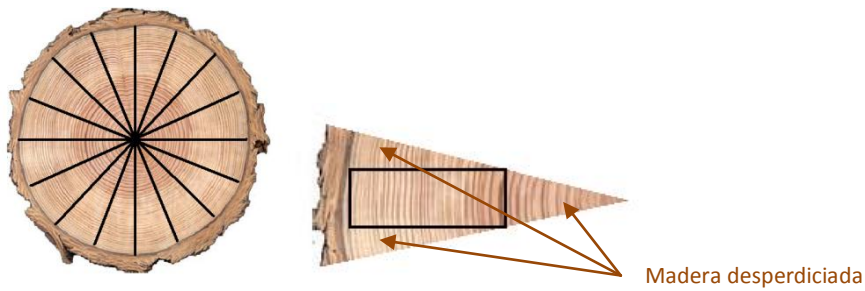


Figura 22: Despiece del tronco por corte radial.

Fuente: propia

Despiece común, en plano o por corte paralelos

Es el método más usual de despiece. Se aprovecha por completo la madera sin marginación de zonas, lo que da lugar a la presencia de imperfecciones y defectos (*figura 23*).

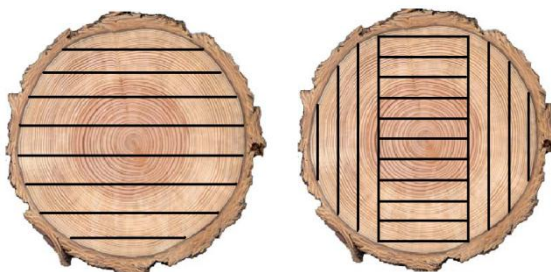


Figura 23: Despiece del tronco por cortes paralelos.

Fuente: propia

Despiece por procedimiento Cantibay

Este procedimiento de triangular la sección central permite desechar el corazón cuando este podrido o marchito y aprovechar el resto del tronco al máximo. Se consiguen tablas anchas y con buen acabado estético, utilizado generalmente en maderas exóticas. El detalle del despiece se muestra en el siguiente dibujo, *figura 24*.



Figura 24: Despiece del tronco por el procedimiento Cantibay.

Fuente: propia

Despiece holandés o radial

Es un despiece aceptable en lo que se refiere a la estabilidad dimensional debido al corte de las piezas, aunque no tenga un corte completamente radial. Primero se realizan el corte del tronco en cuatro piezas y luego estas son cortadas a 45°, tal y como se muestra en la *figura 25*.



Figura 25: Despiece holandés o radial del tronco

Fuente: propia

Despiece por hilos paralelos

Se obtienen cortes mayoritariamente tangenciales, utilizándose en maderas de albura muy débil, tendente a los ataques fúngicos y xilófagos (*figura 26*).

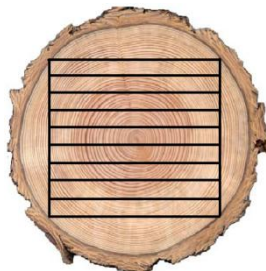


Figura 26: Despiece del tronco por hilos paralelos

Fuente: propia

Despiece en cruz o encuartenado

En este tipo se corta una pieza de corazón, y luego las otras dos cruzadas que definen la cruz central, como se ve en la *figura 27*. El resto se aprovecha con cortes perpendiculares respecto al corte inicial o bien radialmente.



Figura 27: Despiece del tronco en cruz o encuartenado.

Fuente: propia

Despiece alternado, por cortes encontrados o en abanico

Se realiza mediante cortes alternativos en cada cuadrante, paralelos al eje del tronco, tal y como se representa en la *figura 28*. Es una buena solución frente a la inestabilidad dimensional de las piezas, aunque no tenga un corte completamente radial.



Figura 28: Despiece alternado del tronco.

Fuente: propia

Despiece tangencial

Primeramente se realiza un corte enterizo de la pieza, y a partir de este se van realizando cortes a hilo perpendiculares al anterior, *figura 29*. No se mejora la calidad de las piezas extremas.

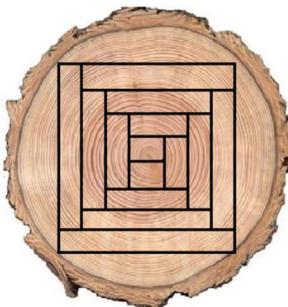


Figura 29: Despiece tangencial del tronco.

Fuente: propia

Despiece de París

Es una variante del despiece común, en el que se consiguen piezas de corazón de mayor dimensión. Su despiece se representa en la *figura 30*.

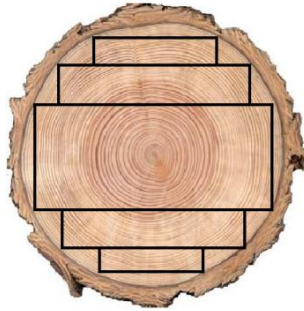


Figura 30: Despiece de París del tronco.

Fuente: propia

Por desarrollo

Se hacen por sistema de rotación mediante una maquina especial denominada torno. Se utiliza para la obtención de chapas.

3.3.2. DIMENSIONES Y CLASIFICACIÓN DE LAS ESCUADRÍAS

La madera escuadrada toma diferentes denominaciones según sus dimensiones de espesor y anchura, cualquiera que sea su longitud. La escuadría es la dimensión de la testa de cada pieza, obtenida por el producto de espesor por anchura, *figura 31*. La terminología es la siguiente:

- ✓ **Madero:** pieza cortada al hilo de gran escuadría y sección cuadrada o ligeramente rectangular.
- ✓ **Tablón:** pieza de escuadría rectangular cuya anchura es del orden de tres veces el espesor, siendo el espesor siempre superior a 4cm.
- ✓ **Listón:** es un madero cuyas dimensiones en la testa varían entre 1 y 4 cm.
- ✓ **Tabla:** pieza de poco espesor y gran anchura ($1,5 < e < 4$ cm).
- ✓ **Listoncillo:** es un madero cuyas dimensiones en la testa son inferiores a 5 cm.
- ✓ **Ripia, lata o chilla:** es la tabla de reducido espesor y poca calidad ($e < 1,5$ cm).
- ✓ **Chapa:** lámina de gran superficie y décimas de milímetros de espesor.



Figura 31: Escuadrías de la madera.

Fuente: casasagusto.com

DEGRADACIONES Y ANOMALIAS DE LA MADERA ASERRADA

“La madera teóricamente perfecta sería aquella que tuviera su estructura tubular o fibrilar en condiciones óptimas. Cuando esta estructura presenta anomalías en la misma, bien sea estas producidas en el ciclo vital del árbol y en su desarrollo, bien sean producidas en su elaboración posterior o bien sean debidas a la destrucción, se producen lo que se ha dado en denominar degradaciones de la madera”. Fuente: *Aitim. Anomalía y defectos de la madera en rollo y del aserrado.*

4.1. DEGRADACIONES PRIMARIAS

Las degradaciones primarias son aquellas que se producen por causa del crecimiento del árbol, es decir, agentes no vivos.

En cuanto a estas degradaciones se puede decir que más que defectos son particularidades de la madera que van inherentes a este material. Se dividen en los siguientes defectos: morfológicos del tronco, provocados por aportación cambial irregular, provocados por la disposición de fibras, provocados por agentes atmosféricos, provocados por agentes meteorológicas accidentales, heridas, madera de reacción y otros defectos.

4.1.1. DEFECTOS MORFOLÓGICOS DEL TRONCO

4.1.1.1. CURVATURA

Los árboles debido a la presencia del viento dominante, nieve, pendiente del terreno, etc., se desarrollan con una cierta curvatura. En el caso del viento dominante los árboles se curvan en el sentido del viento debido a la fuerza del empuje de éste sobre la copa del árbol. Cuando el terreno tiene una cierta inclinación, el árbol desarrolla una curvatura para contrarrestar la inclinación del terreno de tal forma que el centro de gravedad del tronco caiga sobre su apoyo en el terreno.

Los árboles pueden desarrollar curvatura simple o doble. Éstas suponen un problema a la hora de realizar el despiece del tronco dificultando el aserrado para el máximo aprovechamiento de la madera. A la hora de realizar las tablas hay que tener en cuenta que el corazón del tronco también se

curva, por lo que no se pueden realizar todo tipo de troceados, en especial aquellos en el que el corazón se encuentra muerto o marchito. Las tablas que se saquen, tanto radiales como tangenciales, presentaran la fibra cortada o desviada con relación a las caras, cantos o testas de las caras.

La curvatura del árbol se expresa por el cociente entre la flecha y el diámetro del tronco, expresado en tanto por cien.



Figura 32: Curvatura del tronco de un árbol debido a diversos factores externos.

Fuente: panoramio.com

4.1.1.2. CONICIDAD

Los arboles, por la propia naturaleza y crecimiento normal, desarrollan conicidad a medida que se asciende por el tronco, pero esta conicidad no se considera defecto excepto cuando supera unos valores máximos, *figura 33*. Estos valores cuando están por encima de 2,5 - 3 son considerados troncos con defectos.

Es decir, la conicidad se produce cuando el diámetro de la base del tronco es muy superior al diámetro de la copa del árbol definiéndose como la diferencia del diámetro mayor y el diámetro menor del tronco, entre la longitud de la pieza, expresado en tanto por cien.



Figura 33: Defecto de conicidad del tronco de un árbol al superar los valores máximos.

Fuente: parlonsbonsai.com

4.1.2. DEFECTOS PROVOCADOS POR APORTACIÓN CAMBIAL IRREGULAR

Multitud de especies, por razones genéticas, presentan fustes cuya morfología los hace merecedores del calificativo de tronco con defectos. Un ejemplo es la presencia de tallos ramificados o frutescentes desde la base.

En algunas especies, junto con la presencia de la anomalía anterior, se presenta el tronco lobulado, con largas acanaladuras a lo largo del mismo como consecuencia de un anormal funcionamiento del cambium, bien por una intensa actividad cambial (zonas hinchadas del tronco) o bien ralentizada (zonas hundidas).

Ocasionalmente, los defectos en el tronco sólo se presentan en la base a modo de contrafuertes y acanaladuras, por lo que su sección transversal es muy irregular, y desde el punto de vista comercial es un defecto importante para la obtención de chapa por desenrollo, pero no para aserrado.

4.1.2.1. ANILLOS FESTONEADOS

Es un defecto poco frecuente y de origen desconocido, pero que cuando se produce aporta madera de vistoso veteado, denominada avellanada.

Consiste en la ondulación anular de los anillos de crecimiento, como se muestra en la *figura 34*. La madera así formada es buscada para instrumentos musicales, en especial si procede de abeto rojo.



Figura 34: Ejemplo de anillos festoneados.

Fuente: dreamscraft.es

4.1.2.2. CORAZÓN EXCÉNTRICO

El corazón excéntrico tiene lugar cuando una parte de los anillos del tronco crece más que la otra, debido a que la raíz realiza un crecimiento desigual. Este crecimiento desigual de la raíz es debido a la diferencia de fertilidad del suelo, ya que el árbol tiende a equilibrar el efecto del suelo tratando de ganar en el lado más fértil lo perdido en el otro.

También existen otras causas que producen este efecto, como puede ser el efecto del viento, la pendiente del terreno o la asimetría de la copa del árbol.

Cuando la desviación es pequeña no tiene importancia, pero en el caso de grandes excentricidades, la madera queda muy depreciada, ya que en una misma pieza existen diferencias importantes de textura y con ella, en gran parte de las propiedades físico-mecánicas de la misma.

También se llama algunas veces tableadura y queda definida como la presencia a un mismo nivel de dos diámetros distintos. La medición se puede hacer por la diferencia entre el diámetro mayor y el menor, referido a este último:

$$\text{Tableadura} = ((D-d) / d) 100$$

o bien, por el ratio porcentual entre el diámetro mayor y el menor:

$$\text{Tableadura} = (D / d) 100$$



Figura 35: Corazón excéntrico de un tronco.

Fuente: microrespuestas.com

4.1.3. DEFECTOS PROVOCADOS POR LA DISPOSICIÓN DE FIBRAS

4.1.3.1. VETEADOS DE LA MADERA

Las vetas son debidas al crecimiento de conos superpuestos presentes en la madera que con la realización de cortes paralelos al eje longitudinal de la pieza, ofrece unas figuras muy vistosas en forma de U.

Todas las coníferas y la mayoría de las frondosas boreales, en especial aquellas que presentan un anillo poroso, son las más características con estos tipos de dibujos.

Los dibujos o veteados que presentan algunas especies pueden recibir nombres como flameado, para los castaños; espejuelos, para frondosas tropicales; y mallas para frondosas tropicales.

Los diámetros de los vasos de primavera en especies de anillo poroso como el fresno, el castaño, el roble, el olmo, entre otros, proporcionan a sus maderas propiedades importantes de tinción, ya que mediante procesos de teñido idóneos realzan el fondo del poro.

Debido a la limitación de despiece de tablas perfectamente tangenciales dentro del mismo tronco, encontramos tablas con variedad de cortes, desde tangenciales hasta radiales pasando por los estados intermedios, lo que proporciona multitud de veteados dentro del mismo tronco.

4.1.3.2. VETEADOS DEBIDOS A IRREGULARIDADES DE LAS FIBRAS

Las irregularidades de las fibras pueden darle mayor valor a la madera.

Cuando la madera presente **fibra entrelazada**, *figura 36*, existirán paquetes de fibras de un anillo que se dispongan en sentido de las agujas del reloj y otras, pertenecientes a otro anillo, en sentido contrario, de manera que los despieces que se realicen sobre este tipo de maderas darán lugar a piezas que respondan de distinta forma a la luz incidente, según la orientación de sus fibras en cada zona. Es una anomalía típica de especies tropicales como sapelli, sipo, etc.



Figura 36: Detalle de la sección de un tronco que presenta fibras entrelazadas.

Fuente: la madera y su anatomía

Cuando se producen ondulaciones dentro de las fibras, las chapas radiales presentan listas que se entrecruzan y cortan y que se extienden en longitudes variables en el sentido de la fibra. Si las longitudes de estas listas son de 30 cm. o más, se llaman **jaspeados**, en el caso contrario se llaman **piel de corzo** o nacarado.

De vez en cuando, la fibra permanece paralela al eje del árbol, pero sin embargo presenta ondulaciones en toda su longitud. De esta manera los despieces que sean perpendiculares al plano que contenga la ondulación darán lugar a una figura muy apreciada que se denomina **moqueta**. Estos dibujos se encuentran en especies como chopos y eucaliptos.

En determinadas maderas aparecen las fibras con una disposición inclinada respecto al eje del árbol, lo que se conoce como **fibra revirada**. Esto es debido habitualmente por un exceso de crecimiento de las fibras al final del período vegetativo, en relación con las de la zona inicial del mismo que obliga a aquellas a deformarse siguiendo forma de hélice. Su desarrollo puede ser en sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario, y sólo cuando se manifiesta en madera adulta es considerado como un defecto o anomalía, ya que tanto en coníferas como en frondosas se localiza sobre la madera juvenil. Se nota al exterior en que la corteza se arranca y las rajadas siguen igualmente la dirección helicoidal. Afecta tanto a la albura como al duramen, y si la torsión es exagerada la madera se ve considerablemente limitada en su utilización.

La madera con fibra revirada, en el ámbito técnico, debe mecanizarse con precaución debido a la tendencia de la misma al repelo y su secado debe ralentizarse para evitar alabeos y deformaciones. Esta característica es muy frecuente en árboles gruesos y vigorosos, como es el roble, el castaño, el carpe, el eucalipto, el pino silvestre, los chopos, los alisos, los sauces y las maderas blancas en general.

4.1.3.3. VETEADOS DE IMPREGNACIÓN O DE PIGMENTACIÓN

Ciertas maderas presentan una desigual impregnación de los tejidos producidas por materias colorantes, aceites, gomas y resinas, apareciendo como consecuencia de ello partes más oscuras que las restantes. Esto constituye lo que se llaman veteados de impregnación o de pigmentación.

La madera de cebrá, procedente de África Occidental, es la especie más destacada en estos tipos de veteados. Por otro lado, la madera de pino canario es un ejemplo característico de madera impregnada con resinas, que en algunos casos presenta variación de tonalidades dentro de la misma madera, y en otros, la impregnación es total.

4.1.3.4. VETEADOS PRODUCIDOS POR LA FORMACIÓN ANORMAL DE LAS FIBRAS

Las vetas de la madera aserrada producidas por la formación anormal e irregular de las fibras son las horquetas, lupias, cepas y verrugas.

Dada estas irregularidades de la fibra, la madera al ser cortada da lugar a las apreciadas y decorativas piezas que se conocen con el nombre genérico de madera de trepa.

Horqueta

Trozo correspondiente a la zona en que el tronco se divide en una “Y” de garganta muy amplia, tal y como se aprecia en la *figura 37*. La longitud de tal pieza suele ser aproximadamente de dos veces el diámetro de la misma y la fibra, al pasar por la división, se desvía, dando una figura de abanico o torbellino. Las trepas de horqueta se presentan corrientemente en la madera de nogal, comercialmente conocidas con el nombre de palma de nogal.



Figura 37: Horqueta. Zona donde el tronco se divide en varias ramificaciones.

Fuente: sabelotodo.org

Cepas

Deformación del tejido de las fibras producidas en el tronco justo en el arranque del sistema radical. Para que esta madera tenga valor decorativo tiene que poseer una fibra muy irregular, que se aprecia fácilmente a simple vista, bien por lo aplastado del tronco o por los abultamientos que presente el mismo.

Entre las especies que tienen cepas de valor decorativo más apreciado se encuentra el Nogal. Éstas suelen tener un diámetro de 50 cm y una longitud de 120 cm.

Lupias

Grandes abultamientos o crecimientos anormales en ciertas regiones del árbol y cuyo origen se debe a excitaciones exteriores como heridas, picaduras de insectos, irritaciones y inserciones de ramas. La superficie suele ser rugosa o lisa, siendo el primer tipo más corriente en las coníferas.



Figura 38: Fotografía de lupias en un árbol.

Fuente: rutasyfotos.com

Verrugas

Son pequeñas excrescencias leñosas formadas por yemas durmientes, que pierden su adherencia con la madera y crecen por vía endógena. Si en lugar de una yema hubiese una serie de ellas muy próximas, se produce una superficie muy rugosa en el tronco. La madera es de características especiales, generalmente muy dura y su sección presenta un dibujo característico muy valorado en ebanistería.

4.1.4. DEFECTOS PROVOCADOS POR AGENTES ATMOSFÉRICOS

Los agentes atmosféricos también son causantes de defectos sobre la madera de los árboles. Los principales agentes causantes de anomalías en la forma de los árboles son: nieve y viento.

La **nieve** es un elemento causal de deformaciones en el árbol y da lugar a excentricidades en el tronco, provocando la inclinación del árbol (*figura 39*). Ocasionalmente, la presión ejercida por la nieve en la cara superior del árbol puede llegar a provocar fisuras longitudinales que dividen el pie en dos mitades.

Los árboles de hoja perenne tienen mayor riesgo ante la nieve debido a que tienen mayor superficie expuesta a la carga de la nieve que los árboles de hoja caduca.



Figura 39: Inclinación del tronco del árbol provocado por el peso de la nieve sobre sus hojas.

Fuente: fotonatura.org

El **viento** es un factor muy importante en determinadas zonas. Este provoca una curvatura anómala sobre el árbol debido al crecimiento anormal en el sentido de la sollicitación del viento dominante, **figura 40**. El gran crecimiento de los anillos situados al abrigo del viento es compensado por los escasos anillos del lado del viento. Esa influencia provoca tanto fendas longitudinales como transversales. Su presencia es tanto más elevada cuanto mayor es la presencia de tensiones internas. La presencia de fendas transversales en madera para construcción es muy peligrosa ya que pueden provocar el colapso de la estructura sin aviso.

En el caso de vientos de gran fuerza, el tronco puede dañarse de manera irreversible sin que la rotura se manifieste exteriormente. Los esfuerzos que se generan por la acción de un viento dominante provocan sobre el árbol unas tensiones de tracción y compresión, que cuando sobrepasan determinados límites producen la rotura.

Las fendas de viento se sitúan sobre la cara del tronco donde incide el viento dominante y próximas a la base, donde los esfuerzos de tracción son mayores.

Las palmeras son las arboles que mejor resisten al viento, puesto que están situadas en climas tropicales donde la velocidad del viento llega a ser muy alta.



Figura 40: Árbol curvado en dirección del viento dominante.

Fuente: dreamstime.com

4.1.5. DEFECTOS PROVOCADOS POR AGENTES ATMOSFÉRICOS ACCIDENTALES

4.1.5.1. TEMPERATURAS EXTREMAS

Las temperaturas extremas tienen mucha influencia en la constitución anormal de los árboles. La temperatura del aire, la velocidad del viento y las radiaciones incidentes forman un conjunto de factores encargados de modificar la morfología del árbol.

El excesivo calentamiento del árbol debido a la radiación del sol, produce el secado de la corteza, dejando al descubierto el leño, que debido a la radiación del sol se deshidrata produciendo numerosas y pequeñas fendas de desecación longitudinales, tal y como se muestra en la *figura 41*. De esta manera, el leño queda expuesto a la acción de los agentes externos y puede ser atacado por hongos, que se desarrollan en la herida abierta cuando se encuentran en un ambiente favorable de humedad, originando una pudrición del tronco.



Figura 41: Imagen donde se muestra los efectos de la radiación solar en la madera.

Fuente: photocase.com

Las bajas temperaturas dan lugar en los árboles, al igual que en cualquier otro material, a una pérdida de dimensiones. Si se produce una fuerte helada, se enfría la superficie estableciéndose un gradiente de humedad entre esta zona superficial y el interior del tronco, que deseca las zonas superficiales. La corteza es la primera en sufrir tal deformación y cuando es muy delgada, el efecto es mayor, llegándose a la rotura parcial de la misma, debido a que la madera no acompaña en la merma con la misma magnitud a la corteza. Esto da lugar a que la corteza y la madera externa entren en una dinámica de tejidos de cicatrización y nuevas grietas de heladura que provocan el acostillado de la madera.

En la parte afectada, los anillos se contraen más en el sentido tangencial que en el radial, y como el núcleo central no se contrae, se rompe el anillo de crecimiento. Se forman nuevos anillos, dando lugar a un reborde de cicatrización, que cuando está cerrado se acusa en el exterior por una costilla o cresta de la corteza. La fenda aparece casi siempre en el plano de los radios leñosos y a veces llega hasta el corazón. Este hecho provoca que el leño quede descubierto a la acción de los agentes externos y pueda ser atacado por agentes patógenos, que se desarrollan en la herida abierta cuando

se encuentran en un ambiente favorable de humedad, originando una pudrición de la madera. Si la cicatrización ha cubierto la fenda, hay que tener cuidado, ya que en el interior tenemos el foco de una pudrición, que sólo se manifiesta por la costilla o reborde longitudinal, que suele ser fácilmente identificable y difícil de confundir. Cuando la fenda atacada por pudrición segrega un líquido parduzco, es difícil que ésta llegue a cicatrizarse.

En árboles como el roble, el castaño, el nogal, etc., se suelen producir y apreciar con facilidad las fendas debido a que son árboles poco protegidos y están ubicados en zonas de bajas temperaturas.

4.1.5.2. DAÑOS PRODUCIDOS POR LA CAÍDA DE RAYOS

La descarga de un rayo sobre un árbol puede provocar desde un surco longitudinal de la corteza hasta el destrozo del árbol en pedazos. El daño producido por un rayo es muy característico y fácilmente apreciable debido a la quemadura del leño (figura 42), y presenta todos los inconvenientes de las fendas de heladura. Los árboles destrozados por el ataque de un rayo no son utilizables y se rechazan.



Figura 42: Árboles dañados por la caída de un rayo.

Fuente: tararirashoy.com

La tipología de la corteza incide de manera muy clara sobre el daño ocasionado, pues los árboles longevos de corteza rugosa orientan la descarga hacia el interior del tronco o a lo sumo hacia la zona límite entre corteza y madera. Por el contrario, en especies de corteza delgada y lisa, la descarga se limita a la periferia del árbol. Tanta es la influencia de la corteza, que en ocasiones la herida producida por la descarga envuelve al tronco siguiendo su disposición en sentido horario o en sentido contrario, separando corteza y madera helicoidalmente.

Es difícil que la herida originada provoque una necrosis de los tejidos, formándose una cicatriz que no tiende a recubrir toda la herida, como en el caso de las fendas de heladura.

La caída de un rayo suele ir asociada al efecto del fuego. Este factor depende de su intensidad y duración, provocando la muerte del árbol o lesiones corticales que pueden recubrir toda la herida, como a veces se nota en la planta alrededor de la zona carbonizada.

Rara vez la descarga eléctrica ha provocado una explosión total del árbol, tal vez por una transformación súbita del agua en vapor.

4.1.6. HERIDAS

Son provocadas por causas accidentales como piedras rodantes, golpes, pedrisco, etc., que originan boquetes en la corteza y defectos en la madera por la reacción de los tejidos.

Estas dan lugar a un proceso de cicatrización que provoca una desviación de la fibra, que a su vez puede acarrear defectos durante el mecanizado de la madera. Durante el proceso de cicatrización, el vegetal queda expuesto a la acción de elementos dañinos que penetran por la herida y pueden originar en el vegetal graves enfermedades como necrosis y pudriciones.

Cuando se producen pequeñas heridas, estas pueden cerrarse sin dejar al exterior ningún indicio de la lesión, la cual puede permanecer en el interior bajo la forma de una zona de tejido necrotizante. Cuando la herida es grande, las cicatrices pueden originar ciertas deformaciones en el tronco y su parte interior quedar destruida, mientras el borde de la herida sigue creciendo. La capacidad de formación de los tejidos cicatrizantes o callosos es un indicativo de la capacidad de recuperación del árbol. Cuando la herida ha terminado su proceso de cicatrización y es envuelta de nuevo por el cambium, las células cambiales próximas a la zona afectada suelen mostrar una actividad superior, destinada a envolver la zona restaurada.

Otras causas de heridas en los troncos pueden ser: los roedores, la caza mayor, árboles próximos al caer, podas, etc.

4.1.7. MADERA DE REACCIÓN

Cuando el crecimiento de la madera se ha producido bajo la acción de tensiones mecánicas, se denomina madera de reacción.

Se conoce como madera de tracción cuando este desarrollo se hace bajo la acción de una fuerza de tracción; y como madera de compresión cuando se realiza bajo la acción de compresión. La madera de tracción se produce generalmente en las frondosas y la de compresión en las coníferas.

Como resultado de este desarrollo se producen las anomalías que señalaremos a continuación.

Como característica común a ellas se encuentra el crecimiento excéntrico. La madera anómala se produce en aquella zona en que los anillos de crecimiento son más anchos.

Respecto a las causas y función de la madera de reacción se ha discutido mucho. Se acepta que el desplazamiento de los árboles de la posición típica vertical y la tendencia a recuperar esta posición por el árbol, producen la madera de reacción. Del mismo modo, el desplazamiento de la copa del árbol respecto a la vertical provoca solicitaciones mecánicas que se traducen en tensiones de crecimiento. En las ramas, la madera de tracción producida en la parte superior y la compresión en la parte inferior se supone debida a la existencia de tensiones mecánicas previas durante el crecimiento rápido.

Entendemos así que la madera de reacción se produce en: árboles sometidos a vientos permanentes o variables, árboles en laderas de grandes pendientes, en las ramas y en maderas de especies de crecimiento rápido.

4.1.7.1. MADERA DE COMPRESIÓN

Madera de compresión se denomina a la madera de reacción y se produce preferentemente en las coníferas. Esta se localiza generalmente en la parte inferior de ramas o en la cara interna de los troncos curvos.

Los mecanismos de enderezamiento provocan en el árbol crecimientos radiales mayores en el lado inferior de los troncos en la madera de coníferas, y en el superior en la madera de frondosas. Además tiene lugar una disminución importante del crecimiento radial de la parte opuesta.

Esta madera tiene un color pardo rojizo, de tono más oscuro que la madera restante. Existe una graduación de intensidad y cuando ésta es muy grande, los anillos de crecimiento dan la sensación de estar constituidos únicamente por madera de verano. Cuando la proporción es pequeña, la diferenciación macroscópica es difícil.

El contenido de humedad de la madera de compresión secada al aire, en las mismas condiciones higrotérmicas, es ligeramente más elevado que el de la madera normal. En cambio, el punto de saturación de la pared celular se alcanza antes que en la madera normal, precisamente debido al elevado contenido de lignina.

Por último, en cuanto a sus propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión y a la flexión es mayor que en la madera normal.

4.1.7.2. MADERA DE TRACCIÓN

La madera de tracción se encuentra generalmente en la parte superior de ramas y troncos inclinados de las maderas de frondosas.

Macroscópicamente es más difícil de identificar. Tiene un color más claro que el resto de la madera, por lo que su distinción es más difícil en maderas claras que en maderas oscuras. Como esta madera es más rica en celulosa y menos en lignina que la madera normal, la aplicación de colorantes de la celulosa puede resaltar su presencia.

Es más densa, de aspecto gelatinoso y de brillo más sedoso que la restante. Se observa fácilmente en las testas de los árboles cuando se han secado parcialmente.

En la base del fuste tensionado los anillos de crecimiento suelen ser de mayor amplitud, aunque esta circunstancia se presenta con menor frecuencia que en la madera de coníferas.

Las propiedades físicas y mecánicas son diferentes a la madera normal, al igual que la madera de compresión.

El peso específico y la contracción longitudinal son superiores y las propiedades mecánicas son irregulares, aunque con tendencia a ser menores. Esta anomalía provoca efectos muy perjudiciales en las características tecnológicas de la madera.

Ofrece repelo con facilidad, por lo que es imposible un buen acabado.

Debido a las múltiples ondulaciones que dificultan su encolado, imposibilita la utilización para chapa con desenrollo. En el secado, la presencia de fibras gelatinosas favorece el colapso.

4.1.8. OTROS DEFECTOS

4.1.8.1. FENDAS

Se trata de un fenómeno parecido al del colapso en el secado, determinado por un desequilibrio entre la pérdida de agua y su suministro en el último anillo en formación durante el período de reposo, *figura 43*.

Generalmente ocurre en los trocos de coníferas que crecen en lugares donde el balance hídrico de los árboles no es del todo satisfactorio. La madera, en particular en la parte baja del árbol, se presenta con pequeñas fisuras radiales que pueden ocupar todo el espesor del anillo anual o limitarse a la madera de primavera.

La falta de agua puede deberse al terreno helado, que presenta bajas temperaturas junto a una escasa aireación del suelo. Estas fisuras difíciles de ver en una madera elaborada y tampoco revisten mucha gravedad. Las formas de estas fisuras pueden ser romboidales, lenticulares o aplastadas.



Figura 43: Fendas en el tronco de un árbol vivo debido a la falta de agua del terreno.

Fuente: infojardin.com

4.1.8.2. ACEBOLLADURA

La acebolladura es el despegue de los anillos de crecimiento contiguos a lo largo del eje del árbol; es decir, que se desprenden los anillos como las capas de una cebolla, *figura 44*. Esto es debido a los agentes externos como el viento, hielo, insolación, presencia de fuego, etc., que sobrepasan los valores de resistencia al esfuerzo cortante.

El árbol se puede considerar como una viga empotrada en su base. Trabaja por lo tanto como una ménsula, y como las tensiones internas son distintas en los diferentes anillos, es posible que resbalen dos capas contiguas y que se origine la acebolladura. Esta puede ser parcial, si afecta a una parte del anillo, y total si afecta a todo.



Figura 44: Despegue de los anillos de crecimiento provocado por la acebolladura.

Fuente: wordpress.com

La acebolladura es un defecto enmascarado que sólo se manifiesta cuando se elabora la madera. Cuando es total inutiliza por completo el árbol, pues al apearlo se separan unas de otras las capas anuales a modo de una serie de conos o cilindros más o menos gruesos.

Este defecto en las coníferas es muy frecuente cuando los árboles pasan de una espesura grande a un aislamiento brusco. La desigualdad de grueso y densidad de las capas anuales, hace que el esfuerzo de flexión producido por el viento despegue el cilindro central de crecimientos estrechos y más densos, del periférico de anillos anchos y poco densos.

Se produce principalmente en los troncos de abeto de grandes dimensiones. En los pinos no es corriente y si aparece es en diámetros inferiores a 40 cm. Es frecuente en las especies tropicales de grandes dimensiones.

La acebolladura se valora por su longitud, profundidad y localización.

Cuando la acebolladura se produce en el segmento circular comprendido entre el diámetro de la troza D y los $9/10 D$, se llama de corona. Cuando está situada dentro del círculo $9/10 D$, se llama de núcleo.

En la madera para sierra, la longitud permitida suele limitarse a 5 mm de anchura y 30 mm de longitud.

4.1.8.3. NUDOS

Se entiende por nudo el conjunto de tejidos leñosos que una rama inserta en un tronco. Estos tejidos están orientados de distinta manera al xilema del tronco, ocasionando así una discontinuidad en la forma de crecimiento de las capas anuales.

El cambium genera cada año, tanto en tronco como en ramas, nuevas capas de madera que se unen perfectamente entre sí, siendo envueltas por la corteza sin discontinuidad.

Los nudos crean una desvalorización del tronco y se pueden formar por la poda natural de las ramas o bien por la poda efectuada por el hombre.

Se produce una poda natural de las ramas cuando las ramas bajas del árbol por falta de luz acaban muriéndose. La formación de madera en años posteriores envuelve al nudo, estrangulando la rama paulatinamente. En la inserción de la rama en el momento de su caída se genera una cicatrización inmediata, siendo la cantidad de madera muerta recubierta después de dicha caída muy pequeña.

En el caso de poda artificial o por rotura fortuita de una rama causada por viento o nieve, se genera un reborde de cicatrización, quedando la madera muerta englobada en el tronco, originando lo que se conoce con el nombre de nudo muerto (figura 45). Este nudo muerto puede ser adherente o que salte a la menor percusión, denominándose entonces saltadizo. En el caso de nudo muerto saltadizo puede ser de madera sana, nudo sano; o de madera que ha sufrido un proceso de pudrición, en cuyo caso el nudo se denomina vicioso.

Cuando se corta una rama después del apeo se origina un nudo vivo, sano y adherente cuya madera es más roja y está mucho más endurecida (figura 46).



Figura 45: Madera con nudo sano.

Fuente: dreamstime.com



Figura 46: Madera con nudo muerto.

Fuente: dreamstime.com

Las ramas tienen crecimientos muy pequeños comparados con la madera normal. Debido a esta diferencia de crecimiento entre la madera de nudo y la madera normal, existen importantes distinciones en las características físicas, generando en las ramas, entre otros, mayor peso específico y como consecuencia mayor dureza.

La calidad de la madera viene limitada por la distancia de los nudos al eje medular. Cuantos menos anillos estén afectados, mayor calidad.

La obtención de troncos limpios de nudos pasa por la eliminación de ramas tan pronto como no sean necesarias para el normal desarrollo del árbol, siendo fundamental eliminarlas nada más secarse.

La eliminación de las ramas inferiores tiene la finalidad de mejorar la calidad de la madera. Ante esta situación, los trabajos de podas en ocasiones suponen un coste que no rentabiliza la madera obtenida. Es difícil establecer el momento en el que debe ser realizada la poda artificial, sin embargo, teniendo en cuenta la masa foliar que debe poseer el árbol para su perfecto desarrollo, el diámetro de las ramas eliminadas no debe ser elevado, ya que de esta manera se impide el progreso de hongos de pudrición una vez cortadas.

Se recomienda como diámetro de poda entre 5 y 10 cm., dependiendo de la especie y de las condiciones de la masa. Sea cual sea el procedimiento, una poda prematura es tan perjudicial como una poda tardía, ya que genera chupones en la parte inferior y malformaciones que derivan de las yemas repetidamente estimuladas que merman la vitalidad del árbol. Estas yemas, también denominadas durmientes, generan ramas cuya inserción al tallo es imperfecta por no encontrarse embebidas en los anillos anuales correspondientes.

Se debe tener en cuenta durante la poda que el periodo vegetativo este paralizado y no es aconsejable realizarla con temperaturas extremas. Para evitar el desarrollo de hongos se suelen utilizar antisépticos férricos o cuprosos formulados en sulfatos. Cuando los hongos ocupan el nudo, con el tiempo desaparecen y deja en su lugar una cavidad que recibe el nombre de **ojo de buey**, como se puede ver en la siguiente imagen, *figura 47*.



Figura 47: Fotografías de árboles que presentan ojos de buey.

Fuente: regmurcia.com

La realización de una poda inadecuada da lugar a efectos perjudiciales, quedando expuestos a la entrada de agentes patógenos.

Cuando se poda una especie frondosa, el agua disuelve los taninos y otras sustancias de impregnación, provocando que la madera próxima a esa gotera se ulcere y ennegrezca, inutilizándola para su uso en carpintería. Este defecto se conoce con el nombre de goterón.

4.1.8.4. GEMAS

Se define como gema la falta de madera que, por causa del despiece, se presenta en la arista de una pieza de madera aserrada. Las gemas presentan una pérdida de sección, generalmente producido en la fase de aserrado sobre un tronco que presenta curvatura o conicidad.

Estudios concluyen que a pesar de la falta de integridad, la gema no afecta a la capacidad de resistencia u otras propiedades mecánicas de las vigas que las presentan. Esto podría deberse a que la falta de madera se compensa con una mayor continuidad de las fibras en la superficie de la pieza y con un efecto de forma de la sección.

4.1.8.5. ENTRECASCOS

Son trozos de corteza que se encuentran en el interior de la madera. Se produce por la soldadura imperfecta de dos troncos gemelos o de dos ramas.

En un corte transversal se detecta fácilmente por el doble corazón que presenta. La madera con estos defectos debe de ser desechada.

4.1.8.6. LUNULADOS

Son anillos o capas concéntricas de madera muerta, en medio de otros de madera viva. Este efecto es causado por un frío riguroso que ha detenido por completo el desarrollo de la planta. Deben rechazarse por completo las partes atacadas.

4.1.8.7. PATA DE GALLO

Son fendas dispuestas en ángulo recto o en triángulos, producidas por la pérdida de agua durante el secado, que se ramifican desde el corazón hacia la corteza, pero sin llegar a ella (figura 48). Pueden formarse en los árboles en pie, como el castaño y el roble; o después de su apeo, como en el haya, el abeto blanco, el pino, etc. Suelen ser inicio de pudrición.



Figura 48: Detalle de la pata de gallo en un tronco producido durante el secado.

Fuente: fphotocase.es

4.1.8.8. LAGRIMALES

Formaciones que surgen al secarse, pudrirse o desgajarse una rama del árbol. El hueco dejado permite la entrada de agua que al mezclarse con la savia corrompe la parte inmediata del árbol.

4.1.8.9. TUMORES

Se denomina así al efecto de algún golpe sobre la madera en pie, por donde se desprende savia que producirá, tarde o temprano, nudos (figura 49).



Figura 49: Nudo que sobresale de la corteza del árbol. Tumor.

Fuente: flickr.com

4.1.8.10. DEFECTOS DEBIDO A LA INTERVENCIÓN DEL HOMBRE

La intervención del hombre sobre el árbol causa numerosas mutilaciones, generalmente de manera voluntaria, dirigida a la obtención de un rendimiento económico por la propia naturaleza del árbol. También puede dar lugar a defectos de manera involuntaria como puede ser el choque de un vehículo contra el árbol.

La actividad del desmoche, que es un tipo de poda muy dañina para el árbol, consiste en la eliminación anual de la cima del troco con el fin de favorecer la expansión de la copa, aumentando el número de brotes y como resultado la masa foliar. Las repetidas cortas dan lugar a un tejido de cicatrización engrosado, muy nodulado, incluyendo una escasa cantidad de madera debido al escaso crecimiento secundario de esta zona, tal y como se muestra en la siguiente imagen (figura 50).



Figura 50: Desmoche de la cima de un árbol que dará lugar a una cicatrización abusiva.

Fuente: palimpalem.com

En zonas de montaña, una actividad muy común es la utilización de leñas procedentes de desrames pertenecientes a especies propensas a la generación de brotes. Las discontinuidades debidas al gran número de dichos brotes provocan frecuentes desviaciones de las fibras, mermando sustancialmente sus características mecánicas.

Prácticas como es la producción de fruto, requieren la realización de injertos que en un principio son vulnerables a los organismos patógenos. La soldadura del injerto y el pie receptor provoca en su madurez un ensanchamiento que deforma notablemente el fuste, además de provocar una desviación y discontinuidad de la fibra.

Puede darse que la presencia de elementos fijos en las proximidades o sobre los árboles tales como abrazaderas, alambradas, etc., con el tiempo ocupen la zona de desarrollo de estos, pasando primeramente a ser englobados por la corteza y a continuación por los anillos periféricos de la madera.

En el caso de ser elementos metálicos, además de provocar decoloraciones puntuales por contacto, presentan un gran riesgo a la hora de realizar los despieces del tronco, siendo incluso necesario hacer una búsqueda con detectores electromagnéticos.

Hay dos intervenciones propias del mediterráneo como son el descorche y la resinación.

En el descorche los defectos se limitan a protuberancias longitudinales propias de las heridas provocadas durante el mismo, mientras que en la resinación las heridas destinadas a la estimulación de resina producen unos defectos tan importantes que los fustes resinados son excluidos para la mayor parte de los procesos industriales. La ausencia de corteza y parte de la madera es una característica específica del proceso, atribuyendo al fuste asimetría y acanalado. Los niveles de contenido de resina dentro de estas trozas dificultan notablemente su mecanizado, provocando el embotado de los útiles de corte.

4.1.8.11. DEFECTOS DEBIDOS A LA INTERVENCIÓN DE ANIMALES

En general, los defectos provocados por animales se limitan a daños superficiales sobre la corteza, y en el peor de los casos a los anillos del xilema perimétrico.

Si los daños tienen lugar sobre plantas jóvenes, se forma un tejido de cicatrización que con el transcurso del tiempo es envuelto por el cambium. En ejemplares adultos la probabilidad de que el tejido cicatrice es menor, permaneciendo la abertura de la herida hasta la muerte del árbol.

Las heridas originadas hacen vulnerable a la madera frente a los ataques de hongos e insectos.

Bien sea por razones territoriales, para mitigar las especies parasitarias o bien para servir de cobijo, los animales que realizan más daños sobre el árbol son los roedores, algunas especies de pájaros como se puede ver en la *figura 51*, jabalíes, cérvidos y ganado caprino.



Figura 51: Defecto producido en el árbol por un pájaro carpintero.

Fuente: escalofrio.com

4.1.8.12. DEFECTOS DEBIDOS A LA INTERVENCIÓN DE VEGETALES

La presencia de especies dominantes limitan la penetrabilidad de la luz en estratos inferiores, de manera que las especies dominadas en busca de aquella llegan incluso a curvarse para alcanzarla. Estas deformaciones darán lugar a su vez a tensiones de crecimiento de mayor o menor importancia en función de la persistencia del estrato dominante, originando madera de reacción.

Por otro lado, algunos organismos vegetales inferiores provocan con su presencia tumores que alteran la forma del fuste e incluso la textura y compacidad de la madera hasta llegar a inutilizarla.

Algunos vegetales parásitos de las selvas tropicales desarrollan unas "raíces viajeras" en busca del suelo, en ocasiones distante a 80 m de altura. Cuando lo alcanzan, sirviéndose todavía del árbol parasitado, comienzan a desarrollarse en torno a él, hasta impedir su crecimiento secundario y provocarle la muerte. La pérdida del tronco colonizado por putrefacción e insectos xilófagos da lugar a unas estructuras sombrías en las que sólo aparece el tallo de la planta parásita, impidiendo no sólo

el aprovechamiento del árbol parasitado sino el de la propia planta parásita.

A este grupo pertenecen otras plantas estranguladoras (*figura 52*), pero no tan sofisticadas, cuyo desarrollo en el tronco conforma fustes helicoidales. La desviación de la fibra por el helicoide devalúa notablemente la madera parasitada.



Figura 52: Fotografía de un “matapalos”, perteneciente a las plantas estranguladoras.

Fuente: flinckriver.com

4.1.8.13. DEPÓSITOS

En especial en las maderas de frondosas, se encuentran depositadas sustancias cristalinas o minerales sobre el parénquima que obedecen tanto a caracteres genéticos como estacionales. El alto porcentaje de depósitos puede provocar propiedades negativas a la madera. Entre ellas está la dificultad de mecanizarla ante una respuesta abrasiva de los depósitos. También la gran cantidad de depósitos puede ser tóxica para los operarios que mecanizan la madera, provocándoles reacciones alérgicas.

4.1.8.14. BOLSAS DE RESINA

Su presencia se debe a factores traumáticos, generalmente son respuesta a un agente extraño. Su aspecto es el de unas cavidades llenas de resina dispuestas longitudinalmente, como se muestra en la *figura 53*. La discontinuidad en el leño que supone la presencia de estas bolsas da lugar a una ausencia de masa que merma las características mecánicas de la madera y dificulta su mecanizado, rebajando notablemente su calidad.



Figura 53: Presencia de cavidades llenas de resina dispuestas longitudinalmente.

Fuente: wikipedia.es

4.1.8.15. FRACTURAS DE APEO

Estas fracturas son producidas bien al talar el árbol antes de que la sierra lo acabe de cortar, o bien por la caída de los árboles cuando chocan con una piedra o cuerpo duro.

4.1.8.16. CUADRANURA

Son fendas radiales en forma de cruz que parten del corazón sano del árbol (*figura 54*). Estas fendas tienen dimensiones entre 10 y 15 cm. Son debidas a las tensiones tangenciales, preferentemente en árboles de diámetros grandes y de grandes tensiones de crecimiento.

Es un defecto de poca importancia, ya que puede aprovecharse la madera, bien haciendo un despiece al cuarto o bien suprimiendo el corazón.



Figura 54: Cuadratura en un tronco.

Fuente: stockphotos.mx

4.1.8.17. CORAZÓN ESTRELLADO

Cuando el tronco presenta este defecto, el corazón queda muy debilitado e inútil para su aprovechamiento, pues además de las rajaduras radiales aparecen otras transversales. El aprovechamiento debe hacerse suprimiendo el corazón, que además de las rajaduras suele presentar un principio de pudrición.

4.1.8.18. CORAZÓN HUECO

El corazón hueco aparece cuando los árboles viejos se desecan, los anillos se desintegran, y se desarrolla el virus que descompone el corazón, el cual no tarda en quedar hueco. Se origina por la pudrición roja y su efecto se puede ver en la siguiente imagen (*figura 55*).



Figura 55: Corazón hueco en un árbol viejo donde se desarrolla un virus que lo descompone.

Fuente: fotocommunity.com

4.1.8.19. DOBLE ALBURA

En ocasiones puede producirse la desvitalización ó muerte de una zona de albura que queda sin lignificar, entre los anillos de madera hecha, y los de albura reciente. Es debido a fríos intensos y prolongados.

Se la reconoce con facilidad por su color claro, que luego se convierte en rojizo, su olor desagradable, y la putrefacción de sus fibras. Dada su escasa resistencia y su propensión a las descomposiciones, deberán ser desechadas estas maderas.

4.2. DEGRADACIONES SECUNDARIAS

La madera por su propia constitución y por los elementos que la constituyen, es fuente de alimentación de diferentes organismos, que encuentran en ella los alimentos, dando lugar a un ataque, estos agentes pueden clasificarse en dos grandes grupos: Bióticos (si son seres vivos) y Abióticos (debidos a agentes no vivos).

4.2.1. AGENTES DESTRUCTORES BIÓTICOS

La madera al ser una materia orgánica, puede sufrir el ataque de los organismos vivos, sobre todo de los insectos y de los hongos, que si encuentran las condiciones favorables pueden llegar a destruir la madera.

Los agentes xilófagos son los organismos que degradan la madera. Entre ellos se encuentran los hongos, insectos, moluscos y crustáceos.

La palabra xilófago procede del griego, compuesta por “xilo” que significa madera y “fago” alimentación. Los agentes xilófagos, al alimentarse de los compuestos de la madera, provocan su degradación, disminuyendo sus propiedades físicas y mecánicas y por tanto sus prestaciones.

Pertenecen tanto al reino vegetal, hongos xilófagos; como al reino animal, insectos xilófagos y xilófagos marinos. Cuando la madera entra en contacto con el suelo o se produce una saturación de humedad imprevista, se origina la acción de los hongos. La acción de los insectos xilófagos se puede producir en una gran variedad de situaciones y de contenidos de humedad de la madera. Según su ciclo de vida y la forma de su ataque se distingue entre insectos de ciclo de larvario, insectos sociales y xilófagos marinos. Éstos últimos sólo actúan sobre la madera en agua de mar.

4.2.1.1. HONGOS XILÓFAGOS

Los hongos son microorganismos del reino vegetal, de organización celular muy primitiva, que viven alimentándose de elementos muertos o de las sustancias de otros animales o vegetales con quienes viven unidos.

Estos son detectables en la madera por la degradación que producen en la misma, su color anormal de la madera, su presencia física sobre la superficie, un olor característico o por los insectos xilófagos cuyo ataque favorecen.

Los tipos de hongos que se encuentran en la madera son los mohos, los hongos cromógenos y los hongos de pudrición. Su ciclo biológico queda definido por las esporas, las hifas, el micelio y los cuerpos de fructificación. Las esporas de los hongos se encuentran en todas partes y en gran cantidad, y son arrastradas por el viento, el agua o los animales. Su ciclo biológico se inicia cuando encuentran unas condiciones favorables de humedad, superior al 22%. Las esporas dan lugar a las hifas, que son células muy finas, que se introducen en la madera. Éstas se alimentan de las sustancias de reserva del interior de las células y segregan enzimas que descomponen la pared celular permitiendo ser asimiladas por éstas, degradando así la madera. Las hifas van creciendo en su tamaño y su número, creando lo que se denomina micelio; en donde se forman los cuerpos de fructificación, que son visibles y que vuelven a emitir esporas al exterior cerrando de esta forma su ciclo biológico.

Para el desarrollo de los hongos es necesario presencia de humedad, temperatura del aire adecuada y presencia de oxígeno.

MOHOS

Los mohos escasamente afectan a las propiedades físico-mecánicas, ya que éstos no se alimentan de la pared celular sino que se alimentan de las materias almacenadas en el interior de las células. Sin embargo, aunque no resulten peligrosos por su mínima acción degradadora, crean ambientes para el desarrollo de los hongos de pudrición.

Sus hifas son incoloras y su crecimiento sólo se detecta cuando se forman esporas de color oscuro en la superficie de la madera o cuando el cuerpo de fructificación forma sobre la superficie una especie de pelusilla con tonalidades que van desde el color blanco al negro, *figura 56*.

El moho es fácil de eliminar debido a su crecimiento superficial. Se pueden eliminar simplemente con un trapo o mediante medios mecánicos.



Figura 56: Madera afectada por el moho.

Fuente: plus.google.com

HONGOS CROMÓGENOS

No producen degradaciones en la pared celular al igual que los mohos, por lo que apenas producen pérdidas de la resistencia de la madera.

Tal y como se aprecia en la *figura 57*, son fácilmente identificables porque producen decoloraciones, como el azulado, tonos verdes, y el corazón rojo.



Figura 57: Madera afectada por hongos cromógenos.

Fuente: reddemon.es

HONGOS DE PUDRICIÓN

Estos hongos producen una degradación mayor, ya que alteran la pared celular de la madera. Las hifas emiten enzimas que disuelven los nutrientes de la madera con los cuales se alimentan y desarrollan.

La pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas iniciales ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. A medida que la pudrición evoluciona, se va acentuando el cambio de color de rojizo a pardo o a veces claro; no obstante, la madera empieza a perder peso y aumentar su contenido de humedad. Al final del proceso se llega a la disgregación total de la estructura de la madera con una pérdida importante en la resistencia (*figura 58*).

La pudrición sólo se produce en maderas húmedas, aunque puede empezar a partir de un contenido de humedad del 22%. Cuando los contenidos de humedad son superiores al 26% comienza la pudrición rápida.



Figura 58: Madera afectada por hongos de pudrición.

Fuente: reddemon.es

La pudrición se clasifica en función del color de la madera atacada junto al aspecto que presenta. Se clasifican así en pudriciones pardas, pudriciones blancas y pudriciones blandas.

Pudrición parda o cúbica

Es la pudrición más grave y peligrosa, ya que los hongos concentran su ataque, de forma general, sobre la celulosa y dejan un residuo carbonáceo formado por lignina que puede disgregarse

fácilmente entre los dedos. La madera atacada presenta un color marrón oscuro tendiendo a agrietarse perpendicular y transversalmente. Entre las pudriciones pardas se pueden diferenciar las secas y las húmedas.

Pudrición blanca

La originan los hongos que atacan preferentemente a la lignina, aunque también pueden dañar, en menor grado, a la celulosa. La madera atacada toma un color blancuzco procedente del complejo celulósico resultante. La madera atacada presenta un aspecto fibroso, por lo que a veces se la llama “pudrición fibrosa”.

En general afecta más a las maderas de frondosas que a las de coníferas, debido a que estas tienen un mayor contenido de lignina. A veces se la denomina pudrición corrosiva o deslignificante.

Pudrición blanda

Esta pudrición está originada por hongos cuyas hifas se desarrollan en el interior de la pared celular de las células de la madera y atacan principalmente a la celulosa de la pared secundaria. La madera atacada tiene un aspecto final blando o esponjoso, parecido al del queso fresco, del cual toma su nombre. Esta pudrición se produce cuando existen altas condiciones de humedad, tanto en el ambiente como en la madera.

Cuando la madera atacada por una pudrición blanda se seca, su superficie se rompe formando muchos cubos pequeños.

Las primeras maderas en las que se detectó su presencia fueron en las utilizadas en torres de refrigeración, cuyas piezas tienen un contenido de humedad demasiado alto para que sean atacadas por los hongos de las pudriciones pardas o blancas.

4.2.1.2. INSECTOS XILÓFAGOS

Nos referiremos exclusivamente a los daños producidos por los insectos que se alimentan de la madera en obra. La acción de los insectos difiere de los hongos en que no es una modificación química de los tejidos, sino una destrucción total debido a las galerías perforadas.

El insecto adulto perfora la madera para depositar los huevos, y la larva que nace continúa su trabajo de perforación durante un tiempo que varía según las especies, de dos a cuatro años, saliendo para transformarse en adulto después de haber dañado las piezas. El insecto adulto después de apareado continúa el ataque.

Los insectos xilófagos que causan mayor daño a las maderas apeadas y a las puestas en obra, son las termitas y los coleópteros.

TERMITAS

Las termitas están capacitadas para alimentarse indirectamente de la celulosa. Originan en el interior de la madera unas laminillas que resultan muy peligrosas porque debilitan gravemente la pieza (*figura 59*). Otro inconveniente que presentan es que no hay signos exteriores de la gravedad de los daños, tan solo unos orificios superficiales de pequeñas dimensiones.

Desde el punto de vista biológico y en relación con la conservación de la madera, pueden dividirse las termitas en tres grupos:

- ✓ 1º Termitas de madera seca, en las cuales se incluyen especies del género *Calotermes*.
- ✓ 2º Termitas de madera húmeda, especies pertenecientes principalmente al género *Zootermopsis*.
- ✓ 3º Termitas subterráneas, como ejemplo el género *Reticulitermes*. En España se encuentran las dos especies siguientes: *Coleotermes flavioollis* y *reticulitermes lucifugus*.

La primera es de escasa importancia, mientras que la segunda, que es muy frecuente, origina a veces daños de gran consideración. Estos viven en colonias perfectamente organizadas.

Son muy parecidos a las hormigas pero de color blancuzco-amarillento; los machos alados miden hasta 15 mm, las larvas 2 mm, y los obreros y soldados hasta 6 mm. La velocidad de ataque va a depender del calor y de la humedad. Su temperatura óptima es de 30°C, y a temperaturas por debajo de 2°C o humedades inferiores a 50% no hay actividad.



Figura 59: Madera afectada por termitas.

Fuente: arquitecturadec casas.blogspot.com

COLEÓPTEROS

Los coleópteros xilófagos construyen galerías en el interior de la madera, a la cual dañan produciendo un característico polvo o serrín llamado también quera. Al igual que las termitas la gravedad de los daños no se aprecia exteriormente, ya que tan solo presentan en la superficie unos pequeños orificios (*figura 60*).

Las especies que causan más daño a la madera son:

- ✓ Insectos que exigen un alto contenido de humedad en la madera: los cerambícidos y los coleópteros de ambrosía.

Los Cerambícidos, también denominados escarabajos longicornios o carcoma gruesa, atacan la albura de las coníferas. Son de cuerpo aplastado negro mate, con pelillos laterales. Las hembras colocan unos 200 huevos en las grietas superficiales de la madera, de los que al cabo de 1-3 semanas, salen unas larvas blancas con una cabeza quitinizada. Estas perforan las galerías de sección oval dejando un serrín de textura basta.

- ✓ Insectos que normalmente no pueden atacar más que maderas parcialmente secas: bostrychidae y lyctidae.
- ✓ Insectos que atacan únicamente a las maderas viejas y muy secas: Anobium.

El anobium, también denominado carcoma pequeña, son pequeños coleópteros de 3 a 9 mm de longitud, denominados vulgarmente "Carcoma pequeña de la madera", que se alimentan de celulosa. Las hembras realizan sus puestas de 40 a 50 huevos, de estas salen unas larvas

blancas de patas muy visibles, que perforan galerías de sección circular de 1 a 2 mm de diámetro, estas pasan de uno a tres años dañando en la madera, para posteriormente salir el insecto alado "imago" por orificios de 2 a 3 mm.



Figura 60: Madera afectada por la carcoma.

Fuente: es.drevdom.com

4.2.1.3. XILÓFAGOS MARINOS

Los xilófagos marinos están formados por dos grandes grupos, los moluscos y los crustáceos. Los factores que tienen mayor influencia en su desarrollo son el contenido de oxígeno, la temperatura y la salinidad del agua; debido a la gran variabilidad de los mismos, en función de la especie, no es posible definir intervalos.

MOLUSCOS XILÓFAGOS

En este grupo solo presenta cierta importancia en España la familia de los teredinidos, en concreto el teredo. Este se desarrolla y vive en el interior de la madera durante toda su vida.

Las degradaciones que producen son difíciles de descubrir ya que desde el exterior tan solo queda expuesto un pequeño orificio de la entrada en la madera. Las galerías internas de la madera aparecen recubiertas de una capa caliza.

La degradación varía según la especie de madera, especie de molusco, intensidad de ataque, temperatura y salinidad de esta.



Figura 61: Madera afectada por el teredo.

Fuente: barresfotonatura.com

CRUSTÁCEOS XILÓFAGOS

A diferencia de los moluscos, estos no se desarrollan en el interior de la madera y la degradación es superficial, tal y como se muestra en la [figura 62](#). Actúan en masa y realizan unas galerías de 2 mm de diámetro con profundidad inferior a 1 cm.

Con el impacto del agua se rompen los finos tabiques de separación formando al cabo del tiempo una nueva superficie de ataque, y a su vez se disminuye la resistencia del elemento por pérdida de sección. La velocidad de ataque es inferior a la producida por los moluscos, con un desgaste anual entre 3 y 6 cm de profundidad.



Figura 62: Madera afectada por crustáceos xilófagos.

Fuente: islakokotero.blogspot.com

4.2.2. AGENTES DESTRUCTORES ABIÓTICOS

Los daños producidos por agentes destructores abióticos son aquellos producidos por agentes atmosféricos, mecánicos o químicos que en condiciones favorables pueden llegar a destruir la madera.

4.2.2.1. AGENTES ATMOSFÉRICOS

Actúan sobre la superficie de la madera al exterior o sobre la protección superficial. Los principales agentes son el sol y el agua, bien sea de lluvia o de humedad ambiente. Hay que destacar que el sol y la lluvia actúan en tiempos diferentes.

La madera expuesta al exterior puede calentarse por el sol después de haberse mojado por la acción de la lluvia o del rocío. El tiempo que la madera permanece mojada es un parámetro importante y depende de las condiciones meteorológicas locales que afectan al envejecimiento y degradación de la madera.

ACCIÓN DEL SOL

La radiación solar actúa principalmente a través de los rayos ultravioleta y de los rayos infrarrojos. Los ultravioleta no penetran profundamente en la madera, su acción se centra en la superficie produciendo modificaciones químicas o en su protección superficial (acabado).

En la madera desnuda el sol provoca que se degrade la lignina y se pierda cohesión entre las fibras, haciendo que se desprenda o deshilache parte de la superficie, y que tome un color grisáceo. Posteriormente la lignina degradada se deslava y es arrastrada por el agua.

La fotodegradación afecta principalmente a la zona más blanda de la madera, la que crece en primavera, que va desapareciendo y dejando surcos más profundos en la superficie. Cuando la madera lleva una protección superficial como pintura o barniz, degradan progresivamente las resinas

de estos productos de acabado, especialmente aquellos que no están protegidos por pigmentos.

Los rayos infrarrojos provocan un calentamiento de la zona donde inciden y tienen una acción indirecta sobre la madera desnuda ya que provocan la aparición de fendas en la superficie y la subida de resinas, debido al recalentamiento que producen. La aparición de fendas se origina por la diferencia de humedad entre la superficie y el interior. Cuando la madera lleva protección superficial, la acción de los rayos infrarrojos, acelera el envejecimiento de la resina del acabado. Su acción es muy perjudicial porque, tarde o temprano, provocan la aparición de fendas en la superficie de la madera y a pesar de la flexibilidad que tenga el revestimiento, éste no puede resistir las tensiones y se acaba rompiendo.

ACCIÓN DEL AGUA

En el árbol, el agua desempeña un papel fundamental como vehículo de transporte de los nutrientes. Pero, una vez que el árbol ha sido talado y convertido en madera, el contenido del agua es muy peligroso ya que, entre otras cosas, su presencia propicia el ataque de numerosos agentes degradadores. La presencia del agua es peligrosa para la madera en dos aspectos fundamentales: la estabilidad dimensional y los agentes destructores.

Estabilidad dimensional

La absorción y pérdida de agua produce movimientos de hinchazón y retracción que pueden dañar la madera. La humedad atmosférica produce deterioro por los repetitivos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. En todo caso, la penetración de agua es relativamente lenta y no se producen cambios en el contenido de humedad o en el volumen de la pieza, siempre que no haya una condición especial, en la cual el estado de humedad o sequedad exceda de lo normal. Se puede concluir que el daño esperado se concentra en las capas externas de la madera, ya que se producen tensiones alternas de compresión y dilatación.

El efecto hielo-deshielo también es otro factor importante dado que la húmeda contenida en las cavidades celulares se transforma a estado sólido, aumentando de volumen, produciendo un daño en la integridad físicas del material.

Agentes destructores

El contenido de humedad de la madera propicia el ataque de agentes destructores bióticos. Para que la madera pueda ser susceptible al ataque de hongos, deberá de contener entre el 20 y el 140% de humedad. Por debajo del 20%, el hongo no puede desarrollarse, y por encima del 140% no existe suficiente cantidad de oxígeno para que puedan subsistir.

ACCIÓN DEL AIRE

La cantidad de aire necesaria para el desarrollo de los hongos xilófagos es muy pequeña. Existe una relación natural entre el aire y el agua que contiene la madera. Si la madera está saturada de agua, le falta aire suficiente para el desarrollo del hongo y por consiguiente no puede ser invadida.

Las rachas de aire también pueden ocasionar deterioro cuando lleva consigo partículas de arena, polvo u otros materiales, que golpean la madera contribuyendo al desgaste, siendo en este caso el aire un agente mecánico.

ACCIÓN DE LA TEMPERATURA

Para que los agentes biológicos se puedan desarrollar y subsistir se requiere, además del adecuado contenido de humedad, una temperatura entre 4° y 51°C. La temperatura óptima sería entre 20° y 30°C, a partir de esta, la velocidad de desarrollo disminuye.

ACCIÓN DEL FUEGO

El fuego es uno de los agentes que ningún material puede tolerar indefinidamente sin presentar ningún deterioro. La reacción al fuego va a depender del espesor de la pieza, del contenido de humedad y de la densidad de la misma, según la especie.

La madera está formada por materiales ricos en carbono, principalmente celulosa y lignina, conteniendo aproximadamente un 48% de carbono.

La temperatura de inflamabilidad de la madera, en circunstancias favorables, es aproximadamente 275°C, siendo un factor importante el tiempo durante el cual es calentada.

Con temperaturas inferiores a 100°C apenas se escapa de la madera más que el vapor de agua.

De 100°C a 275°C se desprenden gases: CO₂ incombustible, CO combustible y piroleñosos.

A partir de los 275°C, la reacción es exotérmica. Los gases se desprenden en abundancia, la proporción de CO₂ disminuye rápidamente y aparecen los hidrocarburos. La madera adquiere un color achocolatado.

Superados los 350°C, se desprende menos cantidad de gases, pero son todos combustibles. Por encima de los 450°C el hidrógeno y los carburos constituyen la mayor parte de los gases desprendidos, siendo el residuo sólido carbón de madera, susceptible de quemarse con desprendimiento de gases combustibles.

La temperatura de la madera en el curso de su combustión está comprendida entre los 400°C y 500°C aproximadamente. Esta temperatura es la mínima necesaria para continuar la combustión, por supuesto si existe suficiente oxígeno.

4.2.2.2. AGENTES MECÁNICOS

Los agentes mecánicos que deterioran la madera son debidos a golpes, rozaduras y desgastes que causan grietas superficiales sobre la madera o sobre la protección superficial. Estas grietas hacen vulnerable a la madera frente el ataque de los organismos bióticos, causando el deterioro de la misma.

Para proteger la madera, es necesario conocer su situación y utilización, para poderla tratar en consecuencia a los tipos de agentes mecánicos a los que estará expuesta.

4.2.2.3. AGENTES QUÍMICOS

Una de las cualidades de la madera es su gran resistencia a los ataques de productos químicos, pero no es suficiente como para que no se prevea un tratamiento adecuado.

Las lejías, cales y detergentes atacan estéticamente a la madera, pero aunque no sea un factor peligroso, éstas deben de tratarse convenientemente.

Cuando se realizan uniones mediante sistemas metálicos, las sales de hierro, que son generalmente muy acidas, en presencia de humedad degradan la madera. Debido a la reacción química entre el hierro y los taninos y fenoles presentes en el tejido leñoso de la madera, se producen manchas de color rojo pardo que manchan a la madera, tal y como se muestra en la siguiente imagen, *figura 63*.



*Figura 63: Producción de manchas en la madera de color rojo parduzco debido al óxido de hierro.
Fuente: caborian.com*

4.3. INESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LA PIEZA DEBIDO AL SECADO

La madera está destinada a un continuo movimiento de su estructura leñosa debido a su condición natural de materia orgánica; es decir, la madera siempre está viva. Estos movimientos se deben principalmente a dos propiedades básicas: la higroscopicidad y la anisotropía.

Debemos de tener en cuenta que este comportamiento estará presente en toda la obra realizada, de tal forma que en cada caso concreto se intentará reducir al máximo posible los movimientos en la pieza.

El mal secado de las piezas agrandan los movimientos de la madera, bien sea por un secado excesivo o por un secado insuficiente. Los movimientos de una pieza no son siempre los mismos, pero existe un margen aceptable para diferenciar algunas especies de madera que casi siempre presentan un comportamiento muy variable, debido principalmente a una estructura de fibra. Dependiendo de la zona del tronco y del tipo de corte, la pieza va a sufrir mayor o menor estabilidad dimensional.

Las deformaciones que se producen durante el secado son mayores, pero similares a las que se ocasionaran posteriormente, en consideración más pequeñas. Los secaderos se aprovechan de la forma que adoptan estos cambios en la madera para determinar la naturaleza del contenido de agua. Se basa en unas probetas de madera en las que se han realizado previamente unos cortes al hilo, a través del secado se observan las distorsiones generadas y se valoran los factores ambientales que se aplicarán, para tratar de contrarrestarlos durante el desarrollo de dicho secado.

A través de los anillos de crecimiento se puede intuir de manera bastante precisa como van a producirse los futuros movimientos de la pieza, puesto que todas las piezas obtenidas en un tronco realizan movimientos en base a la disposición que ocupaba en él.

El movimiento principal producido en la madera está determinado por la reducción de manera tangencial, mayoritariamente en la zona de la albura. Esto es debido a que la transmisión de fluidos se realiza de forma tangencial, y por esta misma razón, gran parte de los movimientos que se originan en las diferentes secciones obtenidas de un tronco provienen de ese movimiento tangencial.

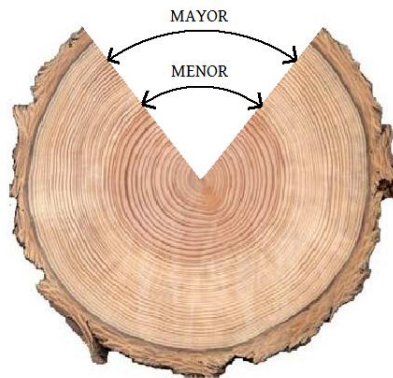


Figura 64: Movimientos de contracción tangencial producidos por desecación acelerada.

Fuente: propia

No obstante, se puede decir de manera generalizada que las contracciones producidas en la dirección radial son aproximadamente de un 5% frente al 10% de la dirección tangencial. Esta causa provoca las diferencias formales existentes en los movimientos de las piezas de madera según la localización del corte.

La madera puede presentar dos tipos de movimientos naturales según su dirección con respecto a las fibras: los movimientos producidos en la sección transversal, o los movimientos producidos en el plano de cara.

4.3.1. MOVIMIENTOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Cambios en la dimensión vistas en la sección transversal de una pieza escuadrada (*figura 65*):

- Forma de trapecio.** La contracción se aprecia mayormente cuando la madera posee parte del duramen y de la albura.
- Forma romboidal.** Pieza de la zona de albura.
- Forma ovalada.** Principalmente en la zona de albura de eje radial.

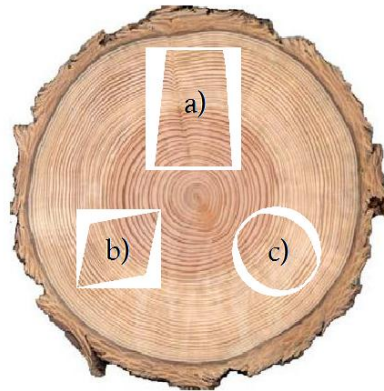


Figura 65: Movimientos debidos a la variación de la humedad en los casos a, b, c.
Fuente: propia

- d) **Forma aguda en los extremos.** Merma producida a ambos lados de la zona de albura.

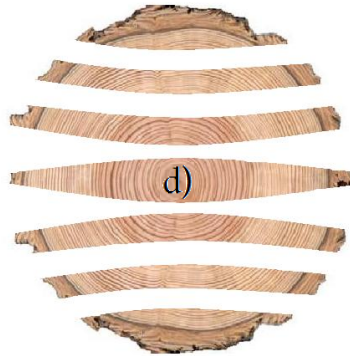


Figura 66: Movimientos producidos en el aserrado paralelo. Forma aguda: pieza central.
Fuente: propia

- e) **Forma arqueada.** Movimiento curvado en contra de los anillos de crecimiento.
f) **Forma angular.** Merma y movimiento en contra de los anillos de crecimiento.
g) **Forma regular.** Merma sin deformación pero en distinto grado.

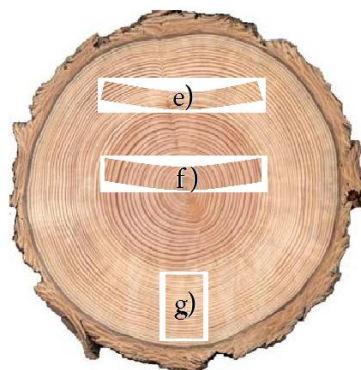


Figura 67: Movimientos debidos a la variación de la humedad en los casos e, f y g.
Fuente: propia

Los movimientos siguen todos los mismos modelos de comportamiento. La parte externa del tronco tiende siempre a ser más esponjosa, de cavidades celulares mayores y paredes más delgadas. Esta circunstancia obliga a la madera a contraerse en proporción más acusada que la parte central, de características anatómicas totalmente contrarias.

En los tres casos siguientes podemos apreciar de manera clara el por qué de dicho comportamiento:

- 1) El desplazamiento de la medula hacia un lado de la cara de la madera, genera un movimiento con un punto flexible (*figura 68*). La medula es un punto sin resistencia, lo que permite la flexión angular en esta cara; a su vez, acompaña de la dureza del duramen desplazado a esa región de la madera que, en oposición a la zona superior algo más blanda y siguiendo las leyes de contracción, genera este movimiento particular.

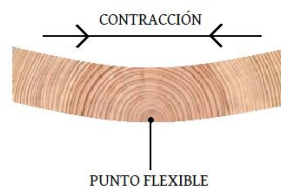


Figura 68: Movimientos producido por la contracción de una cara con un punto de flexión en la opuesta.

Fuente: propia

- 2) Cuando el duramen se localiza completamente centrado en la pieza con parte de albura a ambos lados, el movimiento se refleja en la merma de forma aguda que se origina en los extremos, zona de albura (*figura 69*).



Figura 69: Movimiento producido por contracción lateral.

Fuente: propia

- 3) El movimiento se efectúa de forma curva debido a que gran parte de la madera es zona de albura, y por tanto, no existen tensiones dispares que modifiquen el comportamiento curvo uniforme (*figura 70*).

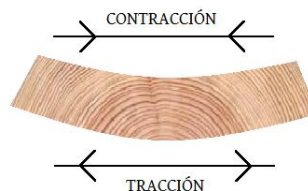


Figura 70: Movimiento de contracción y tracción en caras opuestas.

Fuente: propia

4.3.2. MOVIMIENTOS EN EL PLANO DE CARA

Los movimientos de una tabla en el plano de cara, en el sentido longitudinal de la fibra, son debido a las tensiones iniciales a las que sometió la madera en su estado natural de crecimiento, así como a la dirección de la fibra, que dependerá de cada especie. Las reacciones posteriores durante el secado y el aserrado, revelan de nuevo la naturaleza de las tensiones iniciales a las que fue sometido el tronco durante su génesis.

Variaciones de la madera vistas en la cara de una tabla:

- a) **Curvatura transversal** (*figura 71*). Curvatura al ancho. Provocado por la deformación natural en contra de los anillos de crecimiento.

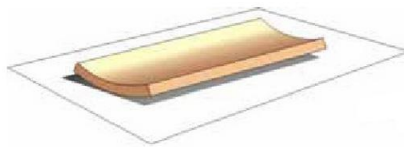


Figura 71: Curvatura de una tabla producida en sentido transversal.

Fuente: propia

- b) **Curvatura longitudinal** (*figura 72*). También llamada curvatura de plano, pandeo o encorvado longitudinal.

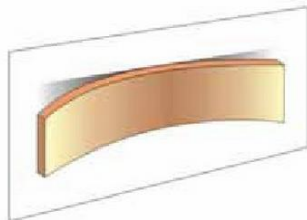


Figura 72: Curvatura de una tabla producida en sentido longitudinal.

Fuente: propia

- c) **Curvatura de canto** (*figura 73*). Tanto este caso como el anterior, son debidas a las tensiones ocasionadas por la madera de reacción.

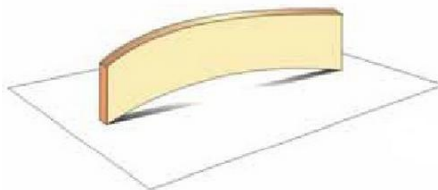


Figura 73: Curvatura de una tabla producida en el canto.

Fuente: propia

- d) **Alabeado** (*figura 74*). Este movimiento suele ser consecuencia de un grano entrelazado o helicoidal.

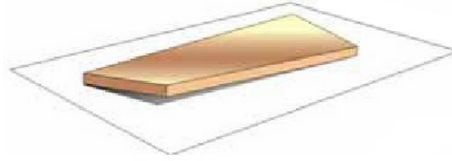


Figura 74: Alabeo de una tabla.

Fuente: propia

TRATAMIENTO DE LA MADERA

El tipo de protección necesario viene determinado por la clase de uso, haciendo ésta referencia a las diferentes situaciones de servicio en las que puede estar expuesta una madera en función del grado de humedad. La norma UNE EN 335-1:2007 establece las siguientes clases de uso:

Clase de uso 1

Corresponde a maderas situadas en lugares protegidos de la intemperie, con grados de humedad siempre menores al 20%. Un ejemplo es la madera situada en interiores de edificios.

Clase de uso 2

Para aquellas maderas colocadas en lugares protegidos de la intemperie en los que se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad en la madera mayor que el 20%. Un ejemplo es una estructura de madera para una piscina cubierta.

Clase de uso 3

Corresponde a las maderas que se encuentran al descubierto sin estar en contacto con el suelo. Puede darse que el contenido de humedad supere el 20%. Se divide en dos subclases: Clase de uso 3.1: el elemento se encuentra en el exterior, por encima del suelo y protegido de los efectos directos de la intemperie. Puede superar ocasionalmente humedades de 20%. Un ejemplo son vigas exteriores que están protegidas por albardillas.

Clase de uso 3.2: el elemento se encuentra en el exterior, por encima del suelo y no protegido. El contenido de humedad supera frecuentemente el 20%. Un ejemplo es una pieza que esté sometida directamente al agua de la lluvia.

Clase de uso 4

Categoría de las maderas situadas a la intemperie, en contacto con el suelo o agua dulce y sometidas todo el tiempo a un grado de humedad superior al 20%. Un ejemplo son las construcciones sobre agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo.

Clase de uso 5

Para maderas sumergidas situadas permanentemente en contacto con agua salada, con un contenido de humedad superior al 20%, permanentemente. Un ejemplo son los pilotes de un muelle.

La UNE EN 335-1:2007, además de definir las clases de uso, indica también los agentes biológicos que corresponden a cada situación. Estos agentes degradadores se indican a continuación en la *tabla 2*:

Tabla 2.- Agentes biológicos que corresponden a cada Clases de uso. Fuente: propia

Clase de uso	Agentes biológicos					
	Termitas	Coleópteros	Hongos cromógenos	Hongos de pudrición	Hongos de pudrición blanda	Xilófagos marinos
1	X	X				
2	X	X	X	X		
3	X	X	X	X		
4	X	X	X	X	X	
5				X	X	X

Dependiendo de la clase de uso se elegirá el tipo de protección, pero también hay que tener en cuenta otros factores que dependerán del tipo de madera a utilizar.

Así mismo, la norma UNE EN 350-2:1995 establece una clasificación para la impregnabilidad de la madera, definida como la capacidad que presenta una especie de madera a la penetración de un líquido:

Impregnable

Muy fácil de impregnar, la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con tratamiento a presión sin dificultad.

Medianamente impregnable

Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación completa, pero después de 2 o 3 horas de tratamiento a presión se puede alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas. En las frondosas se puede conseguir impregnación en una proporción grande de los vasos

Poco impregnable

Difícil de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión se alcanzan solo penetraciones de 3 a 6 mm.

No impregnable

Prácticamente imposible de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión solo absorben pequeñas cantidades de producto. Penetraciones longitudinales y laterales mínimas.

5.1. PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA. TRATAMIENTOS

Algunas especies, debido a su durabilidad natural, no precisan ser tratadas con ningún tratamiento protector. En cambio, hay otras que necesitan ser tratadas para incrementar su durabilidad y prevenir el ataque de agentes degradantes; esto es lo que se conoce como protección preventiva.

PROTECCIÓN PREVENTIVA

Las medidas para la protección preventiva van a depender de:

- a) La adecuada selección de especies en función de su durabilidad, impregnabilidad, etc.
- b) La correcta instalación en obra

Para realizar una correcta instalación, es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones de carácter preventivo a la hora de la colocación del material, además de un buen diseño constructivo.

- ✓ Evitar o disminuir las humedades procedentes del suelo.
- ✓ Separar o proteger el arranque de la estructura desde el terreno.
- ✓ Ventilar los elementos de madera, especialmente los apoyos de las vigas en los muros.
- ✓ Diseñar correctamente los aleros y la protección de la fachada mediante voladizos.
- ✓ Evitar humedades accidentales en la cubierta y las instalaciones.
- ✓ Evitar la aparición de condensaciones, etc.

- c) Selección de un producto protector adecuado

Para la selección de un producto, es necesario tener en cuenta la durabilidad natural e impregnabilidad de las especies, las clases de uso y si es necesario tratamiento protector según las especificaciones en función de las clases de uso.

TRATAMIENTOS

La elección del método de tratamiento va a depender de la cada especie, de si se trata de duramen o albura, del producto protector empleado y de los valores de penetración y de retención que se seleccionen según el DB SE-M, *tabla 3*:

Tabla 3.- Clases de penetración y especificaciones de uso según DB SE-M.

Clases de penetración	Especificaciones de uso
NP1	Ninguno
NP2	Al menos 3mm en las caras laterales de la albura
NP3	Al menos 6mm en las caras laterales de la albura
NP4	Al menos 25mm en las caras laterales (solo aplicable a especies no impregnables)
NP5	Penetración total en la albura
NP6	Penetración total en la albura y al menos 6mm en la madera de duramen expuesta

El CTE establece una relación entra la clase de uso y el nivel de penetración, según se muestra en la *tabla 4*.

Tabla 4.- Relación entre clase de uso y nivel de penetración del tratamiento protector según DB SE-M.

Clase de uso		Nivel de penetración
1		NP1
2		NP1
3	3.1	NP2
	3.2	NP3
4		NP4 o NP5
5		NP6

Por otro lado, se puede hacer una clasificación más simplificada sobre los tratamientos preventivos, según define la norma UNE EN 56416:1988, dependiendo de la penetración alcanzada por el producto protector (*figura 75*):

Penetración superficial.

Es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm, siendo como mínimo de 1 mm en cualquier parte de la superficie impregnable tratada.

Penetración media.

Es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es superior a 3 mm sin llegar al 75 % de la parte impregnable.

Penetración profunda.

Es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75 % de la parte impregnable.



Figura 75: Tipos de penetraciones en los tratamientos preventivos.

Fuente: propia

5.1.1. TIPOS DE TRATAMIENTOS PREVENTIVOS

Se diferencian entre:

- ✓ Productos decorativos para la protección superficial que protegen a la madera frente a los agentes atmosféricos como son el sol y la lluvia y frente a los cambios de humedad.
- ✓ Protectores de la madera, realizados con compuestos químicos, aportan a la madera una mayor resistencia frente a los agentes bióticos.

5.1.1.1. PRODUCTOS DECORATIVOS PARA LA PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Estos productos pueden ser utilizados tanto en maderas interiores como en exteriores.

Barniz.

Es una disolución de aceites o sustancias resinosas en un disolvente. Este disolvente se evapora al aire dejando una película sólida transparente con propiedades protectoras, decorativas o técnicamente específicas.

Aplicaciones: Pincelado, Pulverizado.

Pintura.

Es un material de recubrimiento pigmentado, en forma líquida, en pasta o en polvo, que se aplica a un sustrato formando una película opaca con propiedades protectoras, decorativas o técnicamente específicas.

Aplicaciones: Pincelado, Pulverizado.

Lasures.

Son productos, a poro abierto, que llevan filtros solares que retardan la oxidación de la madera por la acción de la radiación UV, por lo que retrasan el cambio de color de la madera por la acción solar. Este efecto se acentúa en los lasures pigmentados no siendo así en los incoloros que apenas tienen este efecto de filtro.

Aplicaciones: Pincelado, Pulverizado, Autoclave (vacío-vacío).

5.1.1.2. PROTECTORES DE MADERA

Productos en base de disolventes orgánicos.

Son productos constituidos por formulaciones complejas en las que actúan los siguientes elementos:

- ✓ Principios activos: Compuestos orgánicos de síntesis.
- ✓ Colaboradores: Compuestos que aseguran la estabilidad del producto y la fijación de los principios activos en el interior de la madera.
- ✓ Disolventes o diluyentes: Constituidos generalmente por fracciones obtenidas en la destilación del petróleo.

Se utilizan para las clases de uso 1, 2 y 3 debido a que protegen a la madera frente al ataque de los siguientes agentes: hongos cromógenos, hongos de pudrición y insectos xilófagos. El tipo de protección y sus sistemas de aplicación vienen definidos a continuación (*tabla 5*):

Tabla 5.- Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los disolventes orgánicos. Fuente: lignumfacile.es

Clase de uso	Protección	Aplicación
1	Superficial	Pincelado, pulverizado, inmersión breve
2	Superficial	Pincelado, pulverizado, inmersión breve
3	Media	Inmersión, autoclave (vacío-vacío)

Productos mixtos.

Son productos novedosos cuyos principios activos mezclan sales minerales con productos de síntesis.

Se utilizan para las clases de uso 3 y 4, protegiendo a la madera del ataque de los hongos cromógenos, hongos de pudrición y insectos xilófagos. El tipo de protección y sus sistemas de aplicación vienen definidos en la siguiente tabla (*tabla 6*):

Tabla 6.- Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los productos mixtos. Fuente: lignumfacile.es

Clase de uso	Protección	Aplicación
3	Media	Autoclave (vacío-vacío)
4	Profunda	Autoclave (vacío-vacío)

Protectores hidrodispersables.

Son productos que mezclan principios activos no solubles en agua con un emulgente para producir una buena dispersión en agua. Son un producto intermedio entre los protectores hidrosolubles y los protectores en disolvente orgánico.

Se utilizan para las clases de uso 1 y 2, protegiendo a la madera del ataque de los hongos cromógenos, hongos de pudrición y insectos xilófagos. El tipo de protección y sus sistemas de aplicación vienen definidos a continuación (*tabla 7*):

Tabla 7.- Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los hidrodispersables. Fuente: lignumfacile.es

Clase de uso	Protección	Aplicación
1	Superficial	Pincelado, pulverizado, inmersión breve
2	Superficial	Pincelado, pulverizado, inmersión breve

Protectores hidrosolubles.

Son mezclas de sales minerales diluidas en una solución líquida y con una concentración determinada que varía en función del grado de protección deseable, del método de tratamiento y de la especie de madera. Dependiendo del tipo de fijación de la madera se distinguen:

- ✓ Productos de fijación rápida y no fácilmente deslavables.
- ✓ Productos de fijación lenta.
- ✓ Productos carentes de sales fijadoras o deslavables.

Se utilizan para las clases de uso 3, 4 y 5, protegiendo a la madera del ataque de los hongos de pudrición e insectos xilófagos, y para la clase de uso 5 de los xilófagos marinos. El tipo de protección y sus sistemas de aplicación vienen definidos en la siguiente tabla (*tabla 8*).

Tabla 8.- Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los hidrosolubles.

Fuente: lignumfacile.es

Clase de uso	Protección	Aplicación
3	Media	Inmersión, autoclave (vacío-vacío)
4	Profunda	Autoclave (vacío-vacío)
5	Profunda	Autoclave (vacío-vacío)

Productos orgánicos naturales.

Son productos obtenidos de la destilación del alquitrán de hulla (creosotas) o de la pirólisis del petróleo. Son aceites de composición química compleja y se caracterizan por su densidad, viscosidad, curva de destilación y por su contenido en naftalenos, antracenos y productos fenólicos que determinan su eficacia. Solo pueden aplicarse a madera seca y la madera tratada con ellos no admite acabado.

Se utilizan para las clases de uso 4 y 5, protegiendo a la madera del ataque de los hongos de pudrición e insectos xilófagos, y para la clase de uso 5 de los xilófagos marinos. El tipo de protección y sus sistemas de aplicación vienen definidos en la siguiente tabla (*tabla 9*):

Tabla 9.- Tipos de protección y aplicación en función de la clase de uso para los orgánicos naturales. Fuente: lignumfacile.es

Clase de uso	Protección	Aplicación
4	Profunda	Autoclave
5	Profunda	Autoclave

En resumen con lo anterior, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 10.- Protectores utilizables para cada clase de uso. Fuente: propia

Clase de uso	Tipos de protector
1	Disolventes orgánicos y hidrodispersables
2	Disolventes orgánicos y hidrodispersables
3	Disolventes orgánicos, productos mixtos y hidrosolubles
4	Productos mixtos, hidrosolubles y orgánicos naturales
5	Hidrosolubles y orgánicos naturales

5.1.2. TIPOS DE APLICACIONES

Pincelado.

Tratamiento en el que un protector es aplicado mediante brocha, pincel o rodillo. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 1 y 2.



Figura 76: Aplicación del tratamiento protector mediante brocha.

Fuente: arqhys.com

Pulverizado.

Tratamiento en el que el protector se aplica con pulverizador manual o mecánico. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 1 y 2.



Figura 77: Aplicación del tratamiento protector con pistola pulverizadora.

Fuente: passerspain.com

Inmersión breve.

Tratamiento en el que las maderas se sumergen totalmente en un protector, durante un período de tiempo variable (entre 10 segundos y 10 minutos) dependiendo de la especie, las dimensiones de la madera y el tipo de protector. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 1 y 2.

Inmersión prolongada.

Tratamiento consistente en sumergir totalmente la madera en el protector durante un periodo de tiempo superior a 10 minutos, dependiendo este del grado de protección que se desee alcanzar, de la especie de madera, de las dimensiones de las piezas, del contenido de humedad de las mismas y del tipo de protector utilizado. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 3.



Figura 78: Tratamiento de inmersión para madera recién aserrada.

Fuente: madeirasestaqueiro.com

Autoclave (doble vacío).

Tratamiento que consigue realizar una protección perimetral de la pared celular sin rellenar totalmente el lumen de las células. Este tratamiento consta de las siguientes fases: vacío inicial para extraer parte del aire de la madera, introducción del protector a presión atmosférica y vacío final para regular la cantidad de producto introducido. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 3.



Figura 79: Introducción de piezas de madera en autoclave (vacío-vacío).

Fuente: isve.com

Autoclave (vacío-presión).

Tratamiento de célula llena en el cual se realiza un vacío inicial para eliminar el aire contenido en la madera, seguidamente se impregna la madera en una fase de presión con un tiempo y duración variable hasta alcanzar la impregnación de la totalidad de la albura. Termina el ciclo con un vacío final. Este tipo de sistema de aplicación se emplea para clase de uso 4 y 5.



Figura 80: Pieza tratada en autoclave en la que se aprecia como el producto penetra en la madera.

Fuente: madeirasestaqueiro.com

5.2. PROTECCIÓN MEDIANTE TRATAMIENTOS CURATIVOS

Dentro del ámbito de la protección de la madera, los tratamientos curativos suponen una especialización que se orienta a las piezas de obra ya ejecutadas, bien sea en operaciones de rehabilitación de edificios con estructura o carpintería de madera.

PRODUCTOS PROTECTORES CURATIVOS

Los productos utilizados para la protección curativa de la madera son:

- ✓ Líquidos: producto en base acuosa listo para utilizar que se aplica sobre la superficie del elemento.
- ✓ Emulsiones: es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea.
- ✓ Pastas: es un producto en estado intermedio entre líquido y sólido, que contiene alta viscosidad para ser moldeado.
- ✓ Implantes: productos sólidos concentrados utilizados para reemplazar, suplantar o mejorar un elemento.
- ✓ Gases: producto en estado gaseoso que adhiere a la superficie del elemento. Tienen un carácter curativo temporal.
- ✓ Cebos: productos para la lucha contra las termitas y suelen estar compuestos por tiras de celulosa impregnadas de un insecticida de efecto retardado.

EJECUCIÓN DE TRATAMIENTOS CURATIVOS

Preparación de la madera y de los elementos de madera

- ✓ Saneado de la pieza mediante sustitución por una pieza de madera de la misma especie o con características anatómicas similares, o bien refuerzo mediante resinas epoxi.

Sustitución con madera sana:

Se extrae la madera en mal estado y se sustituye por otra pieza de madera sana que tenga las mismas características, unidas mediante cola.

Método Beta:

Se utiliza para refuerzo del apoyo de vigas con muro cuando esta se encuentra en estado de pudrición debido a la falta de aireamiento de la madera. El procedimiento es el siguiente (*figura 81*):

- 1º) Saneado de la pieza
- 2º) Realización de taladros para la introducción de las varillas
- 3º) Introducción de las varillas que sirven de elementos fijación entre las partes.
- 4º) Encofrado para el vertido de la resina epoxi
- 5º) Vertido de la resina en el encofrado
- 6º) Vertido de la resina sobre los orificios de los taladros

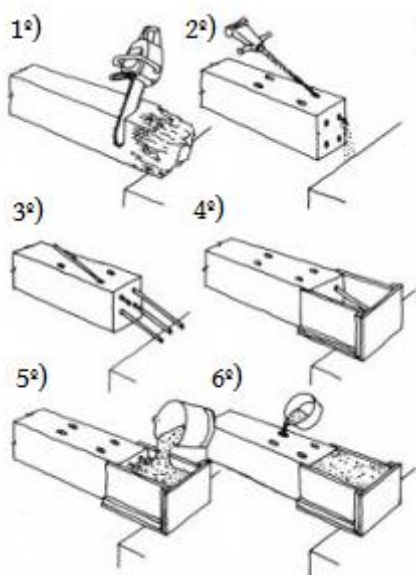


Figura 81: Saneado de una viga de madera por el método beta.

Fuente: constructalia.com

- ✓ Desbastado de la superficie deteriorada
- ✓ Eliminación de zonas afectadas

Tratamiento contra hongos xilófagos:

Productos en forma de pastas o implantes

Tratamientos contra insectos xilófagos:

- ✓ Productos líquidos
- ✓ Productos gaseosos (fumigación)
- ✓ Esterilización con calor
- ✓ Esterilización con frío
- ✓ Sistema de cebos (tratamiento protector contra termitas)

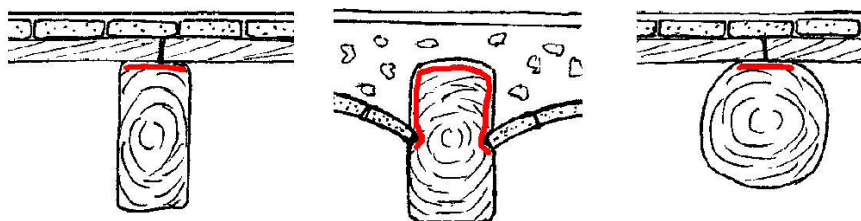


Figura 82: Zonas donde tratamientos superficiales no son eficaces.

Fuente: ibertrac.com

5.3. PROTECCIÓN MEDIANTE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Se utilizan para disminuir el riesgo de deterioro de la madera y están enfocados a eliminar la aparición de humedades en la construcción que facilitan la actuación de los agentes xilófagos.

La correcta solución de las distintas fuentes de humedad que se pueden presentar en un edificio es una condición necesaria, y en muchos casos suficiente, para garantizar la pervivencia de la estructura de madera.

Los peligros a controlar hacen referencia a:

- ✓ Precipitaciones atmosféricas
- ✓ Paso de humedad de los materiales colindantes:
 - a través del suelo: apoyo de soportes.
 - a través del muro: apoyo de vigas (*figura 83*)



Figura 83: Viga de madera deteriorada por la humedad en el muro.

Fuente: soloarquitectura.com

- ✓ Evitar la formación de condensaciones.
- ✓ Aportes accidentales de humedad (fugas, filtraciones, goteras, etc.).



Figura 84: Viguetas de madera en mal estado debido a filtraciones de la planta superior.

Fuente: soloarquitectura.com

- ✓ Saneamiento y disposiciones constructivas en la lucha contra las termitas.

De forma general se engloban en las siguientes actuaciones:

- ✓ Evitar o disminuir las humedades procedentes del suelo:
 - drenaje físico
 - sistemas eléctricos
 - barreras impermeables físicas
 - barreras impermeables químicas
 - etc.

- ✓ Aislar, separar o proteger el arranque de la estructura desde el terreno (*figura 85*).



Figura 85: Arranque metálico del pilar para protegerlo de la humedad del terreno.

Fuente: arquitecturadc.es

- ✓ Ventilar los apoyos de las vigas en los muros: la norma dice que hay que dejar como mínimo una superficie de ventilación de la madera de 15 mm.

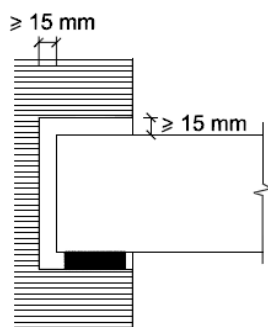


Figura 86: Ventilación de los apoyos de una viga.

Fuente: Documento Básico SE-Madera

- ✓ Diseñar correctamente los aleros y la protección de la fachada mediante vuelos
- ✓ Evitar humedades accidentales en la cubierta y las instalaciones
- ✓ Evitar la aparición de condensaciones

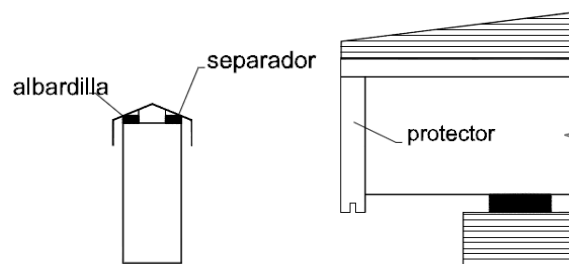


Figura 87: Ejemplo de protección de elementos estructurales situados al exterior.

Fuente: Documento Básico SE-Madera

5.4. REFUERZOS DE CARÁCTER ESTRUCTURAL

Este tipo de actuación se realiza sobre piezas estructurales en obras de rehabilitación. Puede ser debido al cambio de uso del edificio, necesitando con este nuevo uso mayor resistencia estructural, o bien puede ser debido a la pérdida de resistencia estructural de la madera con el paso del tiempo. En ambos casos, son necesarias una serie de actuaciones con el objetivo de igualar o mejorar las propiedades de resistencia mecánica que tenía originalmente.

- ✓ Actuaciones sobre los apoyos de vigas:
 - Apeo
 - Refuerzos metálicos (*figura 88*)
 - Soluciones con aporte de madera
 - Soluciones con formulaciones epoxi

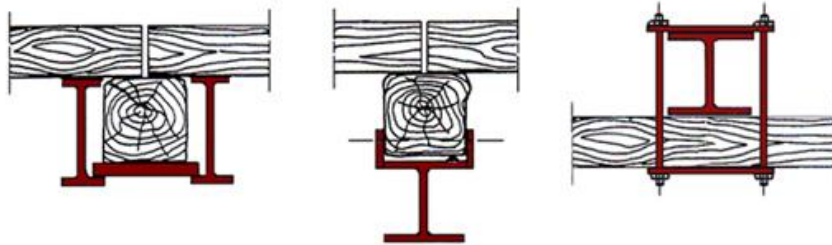


Figura 88: Refuerzos de vigas con perfiles metálicos.

Fuente: constructalia.com

- ✓ Actuaciones con aporte a la madera: tienen como finalidad la disminución de la deformación de la pieza de madera.
 - Solución de aporte de madera
 - Aplicación de la tecnología de las resinas epoxi
 - Soluciones de sustitución con hormigón
 - Soluciones mixtas de madera y hormigón
 - Soluciones mixtas de madera y tablero
 - Soluciones con acero: las piezas metálicas son utilizadas como refuerzo el acero inoxidable o lámina galvanizada
- ✓ Actuaciones en pies derechos
- ✓ Sustitución de la pieza: debe realizarse cuando la madera está deteriorada más del 50% y no vale la pena ni técnica ni económicamente aplicar medidas de refuerzo o consolidación. La sustitución debe realizarse con otra pieza de la misma especie y con características anatómicas similares (contracción, hinchamiento, etc.).

PARTE 1:
LA MADERA LAMINADA

B/01

LA MADERA LAMINADA



PRECEDENTES HISTORICOS

La historia de la madera laminada encolada (MLE, de aquí en adelante) se remonta a la capacidad humana para superar los problemas que surgían a la hora de cubrir grandes luces, utilizando piezas rectas o curvas de madera. Su origen lo marca la aparición de los adhesivos estructurales, aunque cabe señalar que existen referencias históricas desde muchos años antes.

En el interior de las pirámides egipcias, ya se habían encontrado cofres de madera unidos con colas naturales, pertenecientes al 4000 a. C.

Leonardo Da Vinci (1452-1519) diseñaba, en sus esbozos de ingenios militares, láminas de madera unidas por cuerdas y elementos metálicos.

Medio siglo más tarde, el arquitecto Filiberto de l'Orme (1515-1570) fue quien trasladó la técnica de construcción de arcos de piedra a la de arcos de madera; de tal forma que se conseguían mayores luces con la unión de piezas pequeñas. Filiberto utilizó por primera vez una estructura de madera para el Castillo de Mvette (1548) basada en la realización de arcos mediante la unión de tablas recortadas de 1,5 a 2,5 metros de longitud con clavos. El diseño de este arco se muestra en el siguiente dibujo (*figura 89*).

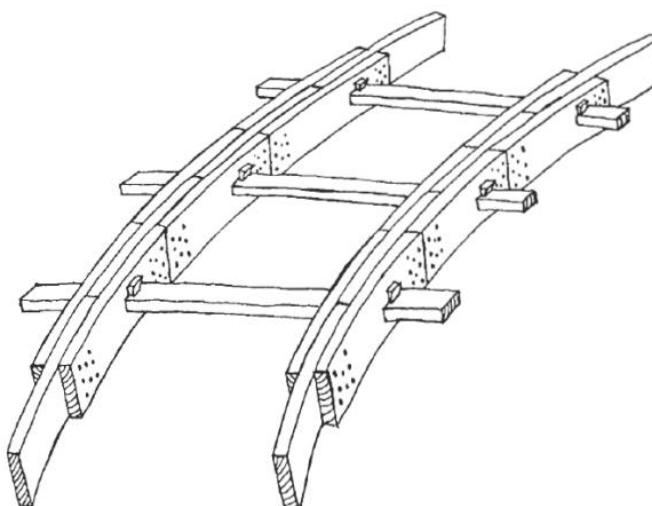


Figura 89: Arriostramiento lateral armadura tipo de l'Orme.

Fuente: Precedentes históricos de la madera laminada. Arq. Francisco Arriaga Martitegui

En el siglo XIX el coronel francés Emy ideó una solución para la fabricación de formas curvas mediante tablas de madera acopladas de plano en sentido horizontal y trabadas con pasadores metálicos, tochos de madera y bridas metálicas; componiendo ballestas. A diferencia del diseño de L'Orme, éste está realizado con tablas de gran longitud que trabajan a flexión. En este sistema las tablas se empalman de la misma manera que se realiza hoy en día, pero en lugar de colas se utilizaban tablas trabadas para la unión, tal y como se muestra en el siguiente dibujo (figura 90).

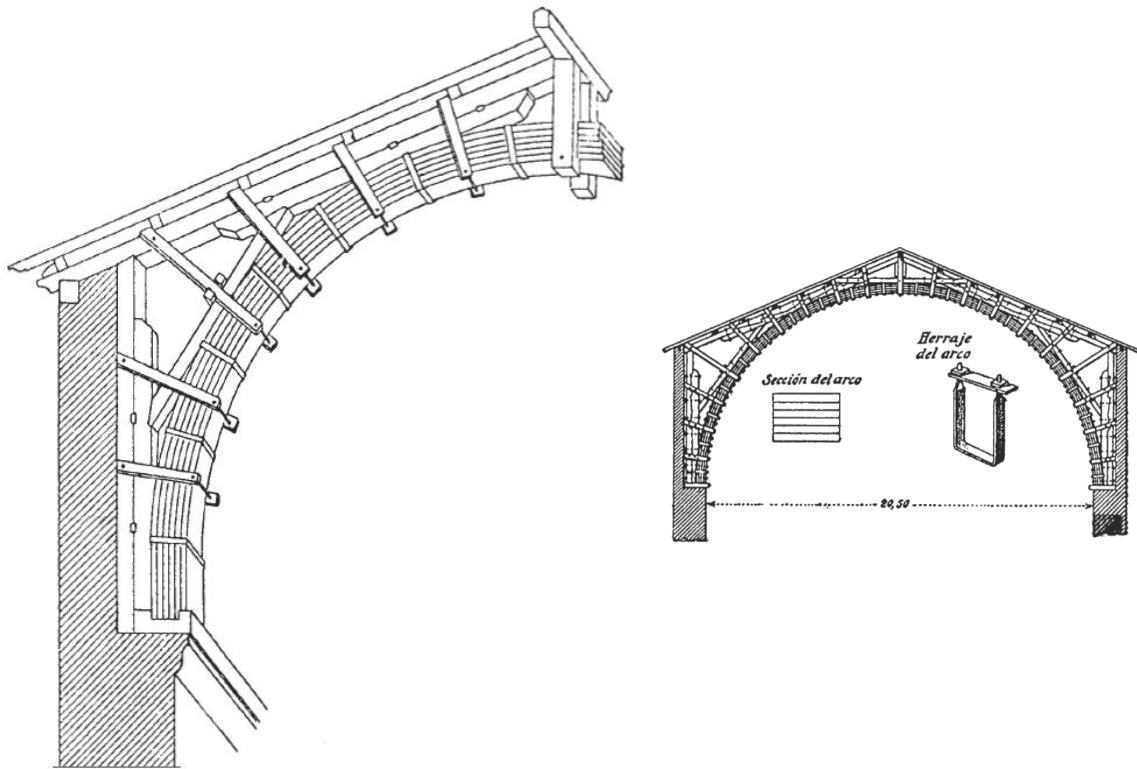


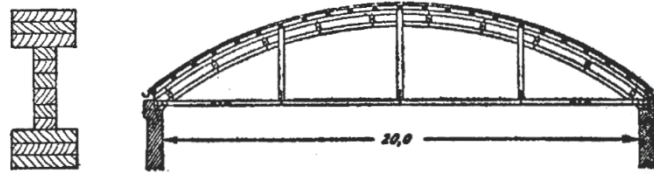
Figura 90: Armadura tipo Emy.

Fuente: Precedentes históricos de la madera laminada. Arq. Francisco Arriaga Martitegui

El arquitecto Stephan ideó una cercha de celosías cuyos cordones se componen de tablas canteadas y adosadas, que a diferencia del diseño de L'Orme, son dobladas en un plano, lo que supone mayor longitud de las tablas (de 6 a 8 metros) y da lugar a menor número de juntas.

Al principio del siglo XX, el maestro carpintero Otto Karl Freidrich Hetzer (1846-1911), de Weimar (Alemania), obtuvo la patente del desarrollo en la construcción con madera laminada encolada, gracias a los progresos de la química que hizo sustituir los medios de unión metálicos por colas de caseína. Con la aplicación de esta técnica, la sección de la pieza pasa a trabajar solidariamente como una unidad, y se llegan a obtener piezas con sección y longitud casi ilimitadas.

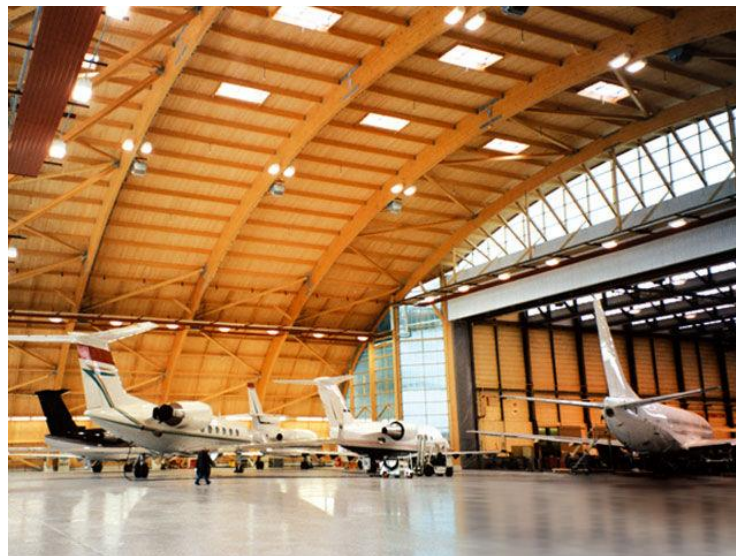
Hetzer diseñó un tipo de cuchillo con cordón superior curvo y con sección en doble T y un tirante en el cordón inferior, figura 91.



*Figura 91: Cuchillo Hetzer.
Fuente: Aitim. Historia y definición.*

Tras la presentación del sistema de Hetzer en la Exposición Mundial de 1910 en Bruselas, comenzó a desarrollarse esta técnica en toda Europa, llegando a utilizarse en más de 200 edificios en los 10 años siguientes.

El responsable de la introducción de la madera laminada en los Estados Unidos fue Max Hanisch, asociado con Hetzer. Este construyó en 1934 la empresa Unit Structures que tuvo mucha repercusión sobre el desarrollo y comercialización de la madera laminada encolada. En esa época las mayores luces se encontraban en las construcciones de los hangares para los aviones, tal y como se muestra en la *figura 92*, con 45 metros de luz libre.



*Figura 92: Hangares para los aviones realizados en madera laminada.
Fuente: archiexpo.es*

Actualmente existen multitud de edificios en España cuya estructura está fabricada en madera, aunque no laminada. Esto es debido a que a lo largo del siglo pasado en los edificios en altura se utilizaban estructuras de madera maciza.

Los arquitectos contemporáneos de hoy en día han rescatado el uso tradicional de la madera laminada para embellecer sus obras, gracias a las ventajas que ofrece este material en cuestión de formas. Un ejemplo del diseño moderno con madera laminada es la Capilla ecuménica en Turku (Finlandia), mostrada en la *figura 93*.



*Figura 93: Capilla ecuménica en Turku (Finlandia). Arquitecto: Matti Sanaksenaho.
Fuente: arqred.com*

La MLE es un producto de aplicación estructural formado por piezas de madera superpuestas unidas mediante colas, con la dirección de la fibra paralela al eje longitudinal del elemento. Esto nos permite obtener elementos ilimitados en cuanto a su sección, longitud y forma (*figura 94*).

Los materiales que se utilizan para su fabricación son: madera maciza estructural generalmente de la misma especie, adhesivos estructurales, productos protectores y productos de acabado.

Para la fabricación de la MLE deben de cumplirse los requisitos que aparecen en las normas UNE-EN 14080 y UNE-EN 386. La descripción de las Clases Resistentes de madera laminada encolada se recoge en la norma UNE-EN 1194.



Figura 94: Estructura de madera laminada encolada

Fuente: archiexpo.es

MADERAS UTILIZADAS PARA LA FABRICACIÓN DE MLE

En la mayoría de los países las maderas utilizadas para la fabricación de MLE son de familia resinosa como el abeto, la picea, el pino silvestre, el pino de Oregón; esto es debido, entre otros factores, a su buena adaptabilidad con las colas de resorcina. No obstante, para la fabricación de MLE pueden emplearse cualquier especie que pueda encolarse con suficiente garantía. Existen normativas de ensayo que permite comprobar la aptitud de trabajo conjunto de la madera y la cola: Ensayo de determinación de las líneas de adhesivos UNE EN 391:1995, y Ensayo de resistencia a cortante en las líneas de adhesivos UNE EN 392:1995.

Pocas especies, en principio, quedarían rechazadas por motivos técnicos. Dentro de éstas se encierran aquellas con propiedades autoengrasantes como la teca o las especies con abundante contenido en resina que dificultan el encolado o bien obligan a seguir ciertas precauciones.

La madera a unir debe de ser una madera porosa, limpia, con los cortes recién hechos y que no tenga sustancias que se interpongan entre la madera y la cola. La humedad excesiva de la madera, es una barrera a la unión con la cola, por lo tanto, la madera debe de estar seca.

Las resinas, grasas, aceites o taninos que puede contener la madera dificultan el secado.

La madera que se utiliza en la fabricación de estructuras de MLE debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Adecuadas características mecánicas.
- ✓ Buena adaptabilidad a las colas empleadas.
- ✓ Densidad adecuada.
- ✓ Buena disposición de sus nudos y buena disposición de sus fibras.

En el caso de coníferas, se buscan especies que soportan esfuerzos de comprensión longitudinal del orden 150 kg/cm^2 y similares esfuerzos en tracción también longitudinal. La densidad de la madera debe de estar en torno a los 500 kg/m^3 en estado seco ($\pm 15\%$ de humedad). La humedad media de una pieza debe estar entre el 9 y el 13% y en todo caso conviene seguir las recomendaciones del fabricante de las colas. Se ha comprobado que en las maderas demasiado secas, por debajo del 10,5%, sus poros aparecen excesivamente cerrados y por lo tanto son mucho menos resistentes. De igual manera, las maderas con humedades mayores del 12% hacen que la propia agua repela la cola. Es aconsejable trabajar con maderas con humedad ente el 10,5% y 11%.

3.1. PRINCIPALES CONIFERAS ESPAÑOLAS

Las maderas coníferas son las más empleadas en la fabricación de la MLE, entre las que destacamos a nivel español:

- ✓ Pino pinaster (o pino gallego)
- ✓ Pino insigne
- ✓ Pino silvestre
- ✓ Pino laricio
- ✓ Pino amarillo
- ✓ Pino oregón
- ✓ Cedro
- ✓ Alerce

3.2. PRINCIPALES FRONDOSAS UTILIZADAS

Aunque la mayor parte de la madera laminada encolada se fabrique con maderas coníferas, también se utilizan algunas clases de frondosas de las que a continuación se citan las más utilizadas, tanto nacionales como importadas:

- | | |
|-----------------|--------------------------------|
| ✓ Castaño | ✓ Olmo |
| ✓ Ipé | ✓ Roble |
| ✓ Eucalipto | ✓ Jabota |
| ✓ Fresno | ✓ Elondo |
| ✓ Iroko | ✓ Alerce común |
| ✓ Haya europea | ✓ Hemlock occidental americano |
| ✓ Roble europeo | ✓ Picea plateada |
| ✓ Wengé | ✓ Tuya gigante |
| ✓ Encina | |

3.3. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE MLE

Existen fundamentalmente dos métodos de clasificación estructural de la madera, la clasificación visual y la clasificación mecánica.

3.3.1. CLASIFICACIÓN VISUAL

La clasificación visual de las maderas es un proceso mediante el cual una pieza de madera puede clasificarse en diferentes categorías con el fin de asignarle valores fiables de resistencia y rigidez, pudiendo realizarse totalmente mediante inspección visual de las características o defectos superficiales o de la sección, o bien mediante un dispositivo que no introduzca directamente tensiones sobre la pieza o incluso mediante una combinación de ambos métodos (figura 95).



Figura 95: Clasificación estructural de la madera de manera visual.
Fuente: infor.cl

En Europa existen numerosos reglamentos vigentes sobre clasificación visual resistente de la madera. Se han establecido para tener en cuenta:

- ✓ Diferentes especies o grupos de especies.
- ✓ Procedencia.
- ✓ Diferentes especificaciones dimensionales.
- ✓ Diferentes especificaciones según las diversas utilizaciones.
- ✓ La calidad del material disponible.
- ✓ La práctica histórica o la costumbre.

Dada la diversidad de reglamentos de clasificación vigentes en los diferentes países, actualmente es imposible imponer un criterio único de clasificación para la totalidad de estados miembros. Por consiguiente la UNE UN 518:1996 establece los principios básicos que deben respetarse para el establecimiento de especificaciones sobre determinadas propiedades.

Es preciso tener en cuenta varios aspectos fundamentales para establecer clasificación visual resistente:

1. Deben separarse claramente las piezas de madera por calidades.
2. Los criterios y el texto deben comprenderse fácilmente y deben poder ponerse en práctica por los clasificadores de los aserraderos.

3. Limitaciones para las características que reducen la resistencia: Nudos, desviación de la fibra, densidad y tasa de crecimiento, fendas.
4. Limitaciones para las características geométricas: gemas, deformaciones.
5. Limitaciones relativas a las alteraciones biológicas: hongos e insectos.
6. Otras características: Madera de reacción, daños mecánicos, y otros aspectos.

Según la clasificación visual se establecen dos clases de calidades en función de las características de la madera: ME-1 Y ME-2. También puede darse la situación de que la pieza deba ser rechazada.

ME-1

Madera que no presenta ningún defecto de quemadura, pudrición, ni ataque de insectos; aserrada con aristas vivas y paralelas; tomando la tabla por su testa, debe de presentar las caras paralelas y perpendiculares entre sí; la perpendicularidad de sus fibras, medidas en sentido longitudinal en una de sus caras, no debe ser superior al 7 por 100, admitiendo zonas muy localizadas con pendientes máximas del 12 por 100. Los nudos estarán sanos y adheridos, no agrupados y con un diámetro máximo de 30 mm. La densidad mínima (20% humedad) es de 500 kg/m³.

ME-2

Madera escogida que no presente ataques de insectos ni de hongos; tampoco podrá presentar quemaduras, estará aserrada con sus aristas vivas y perpendiculares, la pendiente de sus fibras, medidas en sentido longitudinal en una de sus caras, no debe ser superior al 12 por 100, admitiendo localmente hasta un 20 por 100. Los nudos serán sanos, adheridos y no agrupados, su dimensión no sobrepasará de 40 mm.

Todas las piezas clasificadas deben marcarse. Se debe indicar el procedimiento de marcado. El marcado debe incluir como mínimo: la calidad y/o clase resistente, la especie o grupo de especies, el fabricante y la norma de clasificación.

Si por razones estéticas de la madera debiésemos suprimir su marcado, cada paquete de madera de una misma calidad deberá certificarse mediante un documento de conformidad en el que figure como mínimo, además de la información anterior: número, serie y fecha del certificado, nombre y dirección del cliente, número de pedido del cliente, dimensiones y cantidad de las piezas y fecha de la clasificación de la madera.

3.3.2. CLASIFICACIÓN MECÁNICA

La clasificación mecánica es de uso común en diversos países. Comparativamente con la clasificación visual, el método de predicción de la resistencia es más preciso y permite obtener mayores rendimientos y clases resistentes superiores. Los distintos países utilizan dos sistemas conocidos como: Máquina controlada y Control de la producción. Los dos sistemas requieren un control visual previo para evaluar las características minoradas de la resistencia que no son detectadas automáticamente por la máquina.

El sistema de **Control de la producción** es adecuado cuando las máquinas están ubicadas en los aserraderos para clasificar por dimensiones, especies y calidades determinadas en lotes de producción homogéneos, cuyo volumen se corresponde aproximadamente a un turno de producción. Los parámetros de las máquinas se controlan y ajustan por medio de las probetas extraídas diariamente y por un procedimiento estadístico, con el fin de mantener las propiedades de resistencia específicas para cada clase.

El sistema de **Máquina controlada** comenzó a utilizarse en Europa hacia 1969. Debido a la gran diversidad de tamaños, especies y calidades utilizadas no era posible realizar ensayos de control sobre probetas extraídas de la producción. El sistema se basa en la premisa de que las máquinas estén estrictamente ajustadas y controladas, para que los parámetros de la máquina permanezcan constantes para todas las máquinas del mismo tipo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y PROPIEDADES

Las propiedades de la madera laminada van a depender de tres factores primordiales: la madera aserrada o tabla como materia prima, la formación de lámina continua mediante unión dentada de testa y el encolado entre láminas.

4.1. MADERA ASERRADA

Para la fabricación de la MLE hay que utilizar madera aserrada en forma de tablas clasificadas estructuralmente de forma visual o mecánica, según expone la norma UNE-EN 386.

En España hay tener en cuenta la norma UNE 56544, que define las calidades visuales ME1 y ME2 aptas para fabricación de madera laminada. En otros países hay que utilizar las normas correspondientes, por ejemplo en Alemania y Austria la norma de clasificación DIN 4074,

La clasificación visual se realiza mediante la medición de los defectos físicos de la madera, como el tipo y tamaño de los nudos, la presencia de médula, la anchura de los anillos de crecimiento, entre otros.

La clasificación mecánica se realiza mediante la medición de las propiedades como el módulo de elasticidad en flexión.

Para la realización de estas clasificaciones hay que tener en cuenta cuál va a ser el modo de trabajo de la pieza una vez entrada en carga.

4.2. FORMACIÓN DE LÁMINA CONTINUA MEDIANTE UNIÓN DENTADA EN LA TESTA

Sin este proceso no sería posible la utilización de la madera laminada como uso estructural, ya que permite el acoplamiento de otras láminas unidas como una única pieza. Las propiedades mecánicas de la MLE dependen en gran parte del procedimiento de empalme mediante la unión dentada de las testas de las piezas (*figura 96*).



Figura 96: Vigas de MLE listas para la formación de lámina continua mediante unión dentada en la testa.

Fuente: spacemedia.com

La formación de lámina continua mediante unión dentada debe realizarse siguiendo las especificaciones de la norma EN 385. Esta unión debe adquirir unos valores determinados de resistencia a tracción o flexión, en función de la Clase Resistente de la madera laminada.

La resistencia de la unión depende de la geometría del dentado y la calidad de ejecución, fundamentalmente. Con las geometrías de unión dentada utilizadas en Europa se pueden conseguir todas las clases resistentes de MLE definidas en la norma EN 1194.

Los adhesivos utilizados para las uniones empalmadas dentadas son los de tipo I y II, según la norma EN 301, ya que son capaces de garantizar la resistencia necesaria. La resistencia de la unión dentada puede determinarse mediante ensayos de tracción o de flexión de cara.

4.3. ENCOLADO DE LÁMINAS

Antes de realizar el encolado hay que tener en cuenta la orientación de las láminas en la MLE, de tal manera que las caras interiores de las tablas (las que miran hacia el corazón del tronco) estén orientadas todas en la misma dirección, *figura 97*. Para la clase de servicio 3, las láminas de los extremos deberán estar orientadas con la cara interior hacia fuera, *figura 98*.

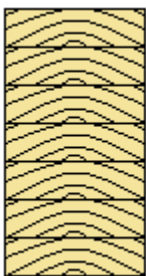


Figura 97: Orientación general de las láminas.

Fuente: propia



Figura 98: Orientación de las láminas para clase de servicio 3.

Fuente: propia

El encolado de las láminas debe realizarse conforme a la norma EN 301, debiendo aplicarse una cantidad de adhesivo al menos 350 g/m^2 , en el caso de adhesivos habituales. También hay que respetar la presión indicada por el fabricante del adhesivo, el que tendrá que ser superior a $0,6 \text{ N/mm}^2$.

4.4. COMPOSICIÓN DE SECCIONES Y CLASES RESISTENTES

Si las láminas están dispuestas con la parte de la tabla perpendicular a la fuerza de flexión, se denomina laminación horizontal, y es la más habitual (figura 99); por el contrario, cuando las láminas están dispuestas de tal manera que el canto reciba la fuerza, se denomina laminación vertical (figura 100). La norma EN 1194 indica que son válidas para la madera laminada estructural el laminado horizontal formado por cuatro o más láminas.

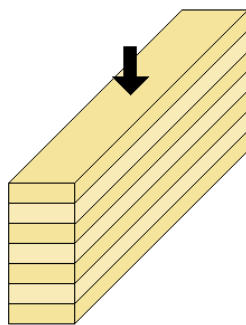


Figura 99: Laminación horizontal.

Fuente: propia

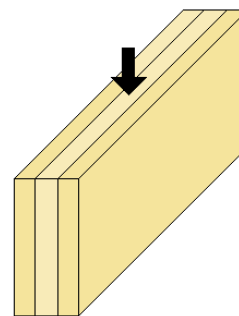


Figura 100: Laminación vertical.

Fuente: propia

El Documento Básico SE-M distingue entre MLE homogénea y combinada, para el caso de laminación horizontal.

La MLE homogénea está formada por láminas de madera de la misma especie y misma calidad, pudiendo variar la especie mientras tengan la misma Clase Resistente. En Europa se identifica con las siglas "GL h" ("BS h" según la denominación de Austria).

La MLE combinada, como propiamente indica la palabra, combina de láminas de calidades diferentes en cuanto a Clase Resistente y especie, de tal manera que las láminas de mayor calidad están colocadas en la parte exterior de la pieza. En Europa se identifica con las siglas “GL c” (“BS k” según la denominación de Austria).

No obstante, la clase resistente definida para MLE son:

- ✓ Madera laminada encolada homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h;
- ✓ Madera laminada encolada combinada: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c.

En las que los números indican el valor de la resistencia característica a flexión, $f_{m,g,k}$, expresada en N/mm^2 .

Las Clases Resistentes más habituales suministradas por los comerciantes europeos son GL24h, GL28h, GL24c y GL28c. Por el contrario, las clases GL32 y GL36 son las menos frecuentes.

El DB SE-M indica la Clase Resistente para la MLE homogénea y combinada a partir de la clase resistente de la madera aserrada utilizada para su fabricación y clasificadas en esta misma norma. Esta clasificación será para:

- ✓ Coníferas y chopo: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50;
- ✓ Frondosas: D30, 325, D40, D50, D60 y D70.

En las que los números indican el valor de la resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$, expresada en N/mm^2 .

La composición de las láminas para la madera laminada encolada viene definido en del DB SE-M (*tabla 11*), donde establece algunas correspondencias conocidas entre las clases resistentes de la madera laminada encolada y las clases resistentes de la madera aserrada con las que se fabrican las láminas:

Tabla 11.- Correspondencias conocidas entre clases resistentes de madera laminada encolada y la madera aserrada. Fuente: DB SE-M. Anejo D.

Clase resistente de madera laminada	Clases resistentes de las láminas exteriores/interiores	
	Homogénea	Combinada
GL24	C24/C24	C24/C18
GL28	C30/C30	C30/C24
GL32	C40/C40	C40/C30

A continuación, en la *figura 101*, se muestra un ejemplo de su disposición de las láminas para la clase resistente de la madera laminada GL28. En el caso de que se trate de MLE combinada, las láminas de mayor clase resistente se colocarán en los extremos, de aplicación al sexto del canto extremo de cada lado con un mínimo de dos láminas.

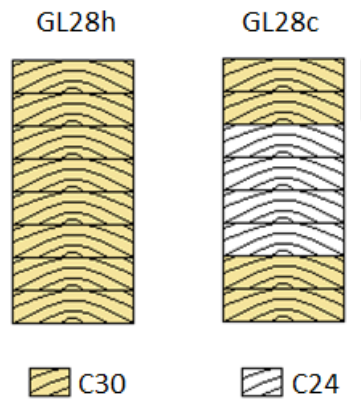


Figura 101: Ejemplo de la disposición de las láminas en la MLE.
Fuente: propia

Los valores característicos de resistencia para el cálculo estructural vienen definidos en el Documento Básico SE-M, de los que obtenemos las siguientes tablas (tablas 12 y 13):

Tabla 12.- Valores de las propiedades asociadas a cada una de las Clases Resistentes de la madera laminada encolada homogénea. Fuente: DB SE-M. Anexo E.

Propiedades	Clase Resistente			
	GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (N/mm²)				
Flexión	24	28	32	36
Tracción paralela	16,5	19,5	22,5	26
Tracción perpendicular	0,4	0,45	0,5	0,6
Compresión paralela	24	26,5	29	31
Compresión perpendicular	2,7	3	3,3	3,6
Cortante	2,7	3,2	3,8	4,3
Rigidez (kN/mm²)				
Módulo de elasticidad paralelo medio	11,6	12,6	13,7	14,7
Módulo de elasticidad paralelo 5°-percentil	9,4	10,2	11,1	11,9
Módulo de elasticidad perpendicular medio	0,39	0,42	0,46	0,49
Módulo transversal medio	0,72	0,78	0,85	0,91
Densidad (Kg/m³)				
Densidad característica	380	410	430	450

Tabla 13.- Valores de las propiedades asociadas a cada una de las Clases Resistentes de la madera laminada encolada combinada. Fuente: DB SE-M. Anexo E.

Propiedades	Clase Resistente			
	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Resistencia (N/mm²)				
Flexión	24	28	32	36
Tracción paralela	14	16,5	19,5	22,5
Tracción perpendicular	0,35	0,4	0,45	0,5
Compresión paralela	21	24	26,5	29
Compresión perpendicular	2,4	2,7	3	3,3
Cortante	2,2	2,7	3,2	3,8
Rigidez (kN/mm²)				
Módulo de elasticidad paralelo medio	11,6	12,6	13,7	14,7
Módulo de elasticidad paralelo 5°-percentíl	9,4	10,2	11,1	11,9
Módulo de elasticidad perpendicular medio	0,32	0,39	0,42	0,46
Módulo transversal medio	0,59	0,72	0,78	0,85
Densidad (Kg/m³)				
Densidad característica	350	380	410	430

5.1. DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Los adhesivos para uso estructural deben de tener la capacidad de dar lugar a uniones resistentes y duraderas para mantener la integridad del encolado a lo largo de la vida de servicio prevista de la estructura y para la clase de servicio establecida.

La documentación técnica de los adhesivos debe incluir las condiciones de uso y sus incompatibilidades.

En el caso de encolado de láminas de madera de distinta especie hay que tener en cuenta sus diferentes coeficientes de contracción, lo que requiere de un conocimiento específico sobre su viabilidad.

El pH ácido que presenta la madera, así como ciertas sustancias de impregnación presentes en algunas variedades de árboles pueden ser el motivo de reacciones indeseables con el adhesivo y originar problemas al encolar la madera, como es el caso de las manchas.

Del mismo modo, las maderas con densidad mayor a los 700 kg/m³ suelen provocar problemas en el encolado, originados por la falta de absorción del pegamento y por su sensibilidad a las variaciones de humedad.

5.2. TIPOS DE ADHESIVOS

Las normas UNE EN 301:2007 y UNE EN 12436:2002 establecen la clasificación y requisitos de comportamiento de los adhesivos estructurales bajo la carga en condiciones climáticas específicas. Estas especificaciones se aplican únicamente a los adhesivos, no a la estructura, de tal manera que los adhesivos actúen satisfactoriamente.

Según esta norma se establecen dos tipos de adhesivos en función de las condiciones ambientales a las que este expuesto:

- ✓ **Tipo I:** son validos cuando se encuentra en condiciones de exposición prolongada a altas temperaturas o situadas en el exterior con altos contenidos de humedad en la madera. Aptos para clases de servicio 1, 2 y 3.
- ✓ **Tipo II:** son validos cuando se encuentra en condiciones interiores o semiexteriores, protegidos de las inclemencias atmosféricas. Aptos para clases de servicio 1 y 2.

Los adhesivos utilizados en madera para uso estructural que se utilizan actualmente son de origen sintético, obtenidos a base de polímeros derivados del petróleo, y son los siguientes:

FENOL-FORMALDEHÍDO (PF)

Es una resina sintética termoestable compuesta por mezclas de resinas procedentes de la polimerización y condensación parcial del Fenol o del Cresol con el Formol.

Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura los reactivos se polimerizan irreversiblemente, lo que da como resultado a una masa rígida y dura, formando unas líneas de cola de color marrón oscuro.

Tienen gran resistencia al agua, a la humedad y a los agentes químicos; así como también buena resistencia al fuego. Estas características hacen que pueda utilizarse para encolados de maderas en exteriores.

RESORCINA-FENOL-FORMALDEHÍDO (RPF)

Es una resina sintética termoestable que presenta buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la humedad y al agua, lo que la hace utilizable para el exterior. La línea de cola es de color marrón oscuro.

RESORCINA-FORMALDEHÍDO (RF)

Es una resina sintética termoestable que tiene propiedades similares a la resorcina-fenol-formaldehído, pero su coste es notablemente mayor debido a que en su formulación contiene un 15% más de resorcina, que es el componente más caro de la resina. La línea de cola es de color marrón oscuro.

MELAMINA-UREA-FORMALDEHÍDO (MUF)

Son adhesivos termoestables obtenidos por la polimerización y condensación de estos dos productos químicos, melamina y formaldehído.

Este producto presenta buena resistencia a la humedad y la resistencia en las juntas es muy similar a la de la madera. La línea de cola es de color transparente.

UREA-FORMALDEHÍDO (UF)

Son adhesivos que se obtienen de la condensación de la urea con el formol y se utiliza para interiores debido a su baja resistencia al agua. En cambio tiene buenas prestaciones adherentes y mecánicas, su coste es relativamente bajo, y el aspecto de su línea de cola es de color transparente.

POLIURETANO (PU)

Son adhesivos que están basados en la química del isocianato. Son conocidos también como adhesivos elásticos, puesto que tienen una extraordinaria elasticidad.

Como ventajas se puede citar su resistencia al agua, buena adherencia, extraordinaria elasticidad, ausencia de disolventes (100% sólido). Como inconveniente presenta que a temperaturas bajas causan que el adhesivo se espese, la toxicidad y la sensibilidad al agua.

Estos adhesivos son muy caros pero muestran una gran resistencia al calor y la humedad, y muy buena adherencia. Su línea de cola es de color transparente.

RESINAS EPOXI (EP)

Son adhesivos termoplásticos cuyo polímero base está formado por el grupo químico denominado epoxi. Estos adhesivos son también conocidos como adhesivos rígidos, puesto que poseen una alta resistencia frente a tensiones o cargas.

Presentan buena adherencia, buena resistencia a la humedad, aptas para el relleno de juntas gruesas, no sufren contracciones, no presentan toxicidad en caso de incendio y son impermeables. Como inconvenientes podemos citar que estos adhesivos no son convenientes para temperaturas superiores de 50°C, son inflamables y tienen un elevado coste.

Su línea de cola es de color transparente.

La **adecuación a la clase de servicio de los distintos adhesivos** viene definida a continuación, en la *tabla 14*:

Tabla 14.- Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación a las clases de servicio.

Fuente: DB SE-M. Adhesivos

Tipo de adhesivo	Abreviatura	Clase de uso		
		1	2	3
Fenol-formaldehído	PF	apto	apto	apto
Resorcina-fenol-formaldehído	RPF	apto	apto	apto
Resorcina-formaldehído	RF	apto	apto	apto
Melamina-urea-formaldehído	MUF	apto	apto	apto
Urea-formaldehído	UF	apto	no apto	no apto
Poliuretano	PU	apto	apto	apto
Resinas epoxi	EP	apto	apto	apto

Es necesario que los adhesivos para uso estructural estén certificados por organismos de reconocido prestigio, como por ejemplo el CTBA (Francia), MPA (Alemania) y el NTI (Noruega).

5.3. CONDICIONES QUE DEBEN DE CUMPLIR

Para su clasificación los adhesivos tienen que cumplir los requisitos de comportamiento específicos conforme a los métodos de ensayo expuestos en la norma UNE EN 302:2005 en las partes del 1 a 4:

Ensayo de resistencia a la cizalladura por tracción longitudinal (UNE EN 302-1)

Consiste en determinar las cargas mínimas de rotura de cizalladura por tracción de juntas con película de adhesivo delgada (0,1 mm aproximadamente) hechas con probetas en madera de haya después de unos tratamientos correspondientes que vienen reflejados en la norma.

Ensayo de resistencia a la delaminación (UNE EN 302-2)

Se trata de originar tensiones interiores en la madera por medio de un gradiente de humedad. Esto dará lugar a tensiones de tracción perpendiculares a las líneas de adhesivo, de tal forma que los encolados defectuosos sufrirán delaminaciones en dichas líneas. Existen dos métodos de ensayo denominados A y B, para adhesivos del tipo I y un método C para adhesivos del tipo II.

Ensayo de ataque ácido a las fibras de madera debido a los tratamientos cíclicos de temperatura y humedad sobre la resistencia a la tracción transversal (UNE EN 302-3)

El promedio de la carga de tracción perpendicular en la rotura de las muestras de control sin tratar, determinada según el método de la norma, no debe de ser menor de 2,5 kN.

El promedio de la carga de tracción perpendicular en la rotura de las probetas, después de ser sometidas al tratamiento cíclico indicado en la norma, no debe de ser inferior al 80% del valor medio obtenido para las muestras del control.

Ensayo de resistencia a la cizalladura por contracción de la madera (UNE EN 302-4)

El promedio de la carga de cizalladura por compresión en la rotura después del ensayo de contracción, determinado según el método de la norma, no debe ser menor de 30 kN.

5.4. INFORMACIÓN ADICIONAL

La siguiente información debe de ser proporcionada por el fabricante si es requerida por el laboratorio responsable de realizar ensayos, según especifica la norma UNE EN 301:2007:

Descripción general del adhesivo tal como se recibe

- ✓ Descripción breve del adhesivo (tipo de resina, endurecedor y campo de aplicación).
- ✓ Vida útil de los componentes.
- ✓ Proporción exacta de los componentes en el adhesivo tal y como se prepara para su uso.

Propiedades físicas del adhesivo preparado para el uso

- ✓ Viscosidad dinámica del adhesivo preparado para el uso.
- ✓ pH de la mezcla adhesiva.
- ✓ Tiempo de vida (fin del periodo de uso) del adhesivo preparado para el uso.

Uso del adhesivo

- ✓ Gramaje del adhesivo e instrucciones de si ha de aplicarse o no sobre ambas caras.
- ✓ Temperaturas mínimas y recomendadas para la aplicación y el curado.
 - ✓ Tiempos máximos de aireación y de espera, expresados en minutos.
 - ✓ Valor mínimo de presión.
 - ✓ Tiempo mínimo de prensado.
 - ✓ Tiempo mínimo de almacenamiento.

6.1. INTRODUCCIÓN

El método de fabricación de la MLE puede variar, en función de las dimensiones de los elementos y de la capacidad de producción, de una empresa a otra y de un país a otro, pero ésta siempre tiene tres etapas:

- ✓ La fabricación de las láminas.
- ✓ El prensado de los elementos.
- ✓ El acabado de cada pieza (cortes, taladros, tratamiento).

6.2. PROCESO DE FABRICACIÓN

Normalmente, la fabricación de la MLE se realiza con madera aserrada que se compra directamente a los aserraderos, que la suministran bajo la forma de tablas con las dimensiones que se le solicitan. Son casos inusuales, aquellos en los que los fabricantes de MLE poseen su propio aserradero y se autoabastecen de la madera necesaria.

El proceso de fabricación, por lo tanto, se compone de las siguientes etapas:

1. Recepción y almacenamiento de la materia prima.
2. Preparación de las tablas.
3. Empalmado longitudinal.
4. Regruesado de las tablas y aplicación de la cola.
5. Prensado de las tablas.
6. Cepillado final, corte y acabado final de la pieza.

6.2.1. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO

Como se ha dicho anteriormente, el caso más usual es recibir la madera con la humedad adecuada (entre un 8 y un 16 por 100) y con la calidad que se indica al aserradero; la madera llega en forma de

paquetes clasificados en calidades y dimensiones, por ejemplo:

Calidad V, 150 x 50, 4,5 m³, pino abeto sueco.

Que viene a indicarnos:

- ✓ Un envío de 4,5 m³ de madera.
- ✓ Dimensiones de las tablas: 50 mm de espesor y 150 mm de ancho, con largos varios.
- ✓ Calidad “quinta”.
- ✓ Especie pino abeto de Suecia (por lo tanto, es clasificación Sueca).
- ✓ El paquete viene también identificado, normalmente, con el sello del origen del aserradero.

Una vez recibida la mercancía se deben hacer unas comprobaciones de medición de humedad de cada paquete, mediante un xilohigrómetro (la práctica aconseja realizar mediciones por paquete y hallar el valor medio *(figura 102)*, y también es recomendable hacer comprobación “visual” de cada paquete.



Figura 102: Medición de humedad mediante xilohigrómetro
Fuente: maderayvida.blogspot.com

Posteriormente se procede a su apilado y almacenamiento, que debe realizarse, si es posible, en el local de fabricación, debido a la estabilización de temperatura y humedad que la madera debe sufrir antes de la producción (es conveniente un periodo de almacenamiento superior a las 48 horas). Normalmente se pierde entre un 25 y un 30 por 100 sobre el volumen inicial o volumen bruto de madera utilizada cuando ésta se ha convertido en MLE. Esto es debido al cepillado y cortes de extremos sobrantes que se realizan en las piezas encoladas. Es decir, para una estructura de ± 100 m³ de MLE se necesitan ± 130 m³ de madera bruta.

6.2.2. PREPARACIÓN DE LAS TABLAS

La madera antes de ser utilizada debe cumplir una serie de requisitos:

- ✓ Que no supere el 16% de humedad. Esta condición viene impuesta por las colas y por las condiciones de ubicación de las estructuras. Puede realizarse de dos maneras:
 - Cada paquete antes de entrar en el proceso de fabricación sufre ciertas mediciones de humedad, y si éstas se encuentran por debajo del valor citado, se admiten al proceso.

- Cada tabla, de una forma automática, sufre una medición de humedad antes de la entrada en la máquina fresadora encargada de realizar la entalladura en las testas de las tablas; en caso de que supere el valor máximo, no se admitirá en el proceso.
- ✓ Que se haya realizado correctamente el saneado de tablas, eliminando los nudos muertos, las fendas, las alteraciones de color, las zonas de desviación de la fibra demasiado acentuadas (sobre todo en la zona de empalmado), así como las zonas donde se observe cualquier tipo de pudrición.

Un aspecto a tener en cuenta es que en función de la calidad de la madera, podemos utilizar la mejor madera en las zonas expuestas a las máximas tensiones y por el contrario, la de peor calidad se utiliza en las zonas de mínimas tensiones.

6.2.3. DIMENSIÓN DE LAS TABLAS

Las dimensiones de las tablas, en su testa, más usuales en toda Europa son:

- ✓ Anchos: 100, 125, 150, 175, 200 y 225 mm. Normalmente al cepillarse pierden entre 10 y 20 mm, es decir, una tabla de ancho 100 mm, viene a quedarse en 85 mm.
- ✓ Espesores: 25, 38 y 50 mm. Los espesores inferiores se utilizan para piezas curvadas y lo normal es que una tabla de 25 mm pase a ser encolada con un espesor entre 19 y 22 mm; las de 38 mm pasan a encolarse a 32 / 35 mm.; las de 50 mm, a 42 / 45 mm.

El espesor de la lámina cepillada (t en mm) y la sección transversal (A en mm^2) no excederá de los valores dados en la siguiente *tabla 15* de la Norma UNE EN 386: Madera Laminada Encolada. Requisitos de fabricación. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.

Tabla 15.- Valores máximos del espesor y sección transversal de las láminas. Fuente: UNE EN 386. Madera laminada encolada.

Clase de servicio	1		2		3	
	t (mm)	A (mm^2)	t (mm)	A (mm^2)	t (mm)	A (mm^2)
Coníferas	45	100	45	90	35	70
Fronosas	40	75	40	75	35	60

Los largos de tablas son variados y lo ideal sería el poder disponer de grandes largos, siempre y cuando las tablas no tuvieran curvaturas, alabeos y/o acanalados, ya que esto permitirá la reducción en el número de empalmes. Podemos decir que los largos habituales están entre los 2,50 y 5,00 m.

A la vista de lo dicho, la mayor sección posible de la testa de una tabla sería de $112,5 \text{ cm}^2$ ($22,5 \times 5,0$ cm); la práctica, sin embargo, recomienda no sobrepasar los 100 cm^2 . Esto es debido, sobre todo, al empalme longitudinal que necesita normalmente una alta presión de empalmado (delimitada por la longitud de la entalladura) y en tablas de más de 200 mm de ancho, con espesores de 50 mm, se comprueba que se producen agrietamientos longitudinales en la zona del empalme que mermarían las resistencias del producto.

6.2.4. EMPALMADO LONGITUDINAL DE LAS TABLAS

La diferencia de humedad entre las dos testas de los elementos de madera que vayan a ser empalmados no debe ser superior a un 5%.

Una vez se han seccionado las láminas o tablas adecuadas, se procede a la realización de unas entalladuras en las testas de las mismas, dichas entalladuras suelen tener forma de cuña y sección trapezoidal (figura 103).

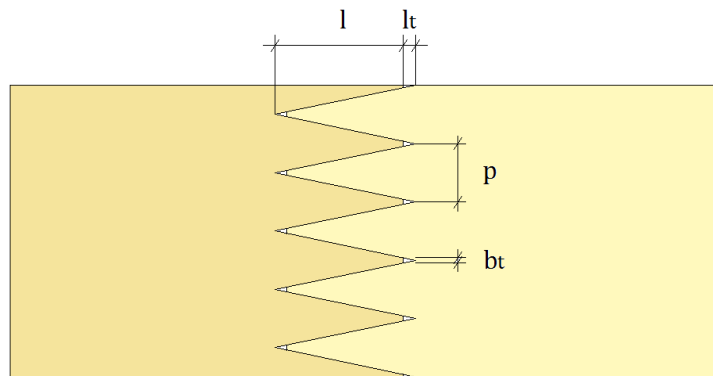


Figura 103: Detalle de la unión dentada

Fuente: propia

Unión dentada: Empalme realizado mediante mecanización de un número determinado de entalladuras iguales y simétricas, en las testas de las piezas de madera que son encoladas posteriormente.

Longitud del diente (l): Distancia entre la base de la entalladura y la punta del diente medida a lo largo de su eje.

Paso (p): Distancia entre ejes de dientes.

Holgura de la punta (l_t): Distancia entre la punta del diente, perteneciente a una de las piezas y la base de la entalladura de la otra, en una unión dentada ya encolada.

Anchura de la punta (b_t): Distancia entre las caras del diente, medidas en la punta del mismo.

Las entalladuras se pueden orientar de tres formas diferentes con respecto a la sección de la madera, mediante cortes: perpendiculares, paralelos o inclinados.

Perpendiculares

Son las más utilizadas por dar mejores resistencias a flexión, ya que todas las entalladuras sufren el mismo esfuerzo; además, las fresas que producen los rebajes se desgastan menos.

Estas entalladuras perpendiculares, figura 104, pueden ser de tres tipos en función de la longitud de empalme:

- ✓ Múltiple clásica: longitud de dientes entre 15 y 60 mm. Es la más utilizada.
- ✓ Minientalladura: longitud de dientes entre 7 y 15 mm.
- ✓ macroentalladura: longitud de dientes menores de 7 mm.

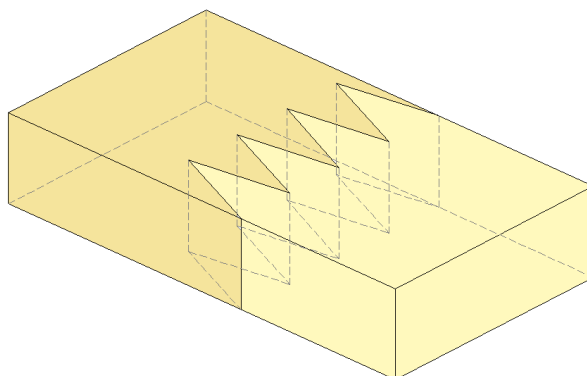


Figura 104: Detalle de entalladura perpendicular.

Fuente: propia

Paralelos

Las entalladuras exteriores sufren mayor tensión que las centrales y esto debilita la junta, [figura 105](#). Con este empalme se obtienen resistencias inferiores (del orden de un 15 por 100 menos) a las realizadas perpendicularmente.

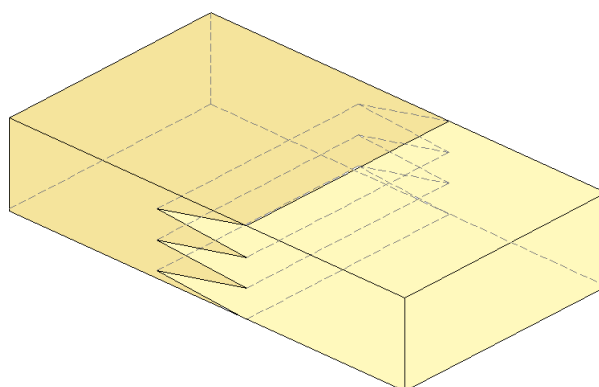


Figura 105: Detalle de entalladura paralela.

Fuente: propia

Inclinados

La forma de la entalladura es triangular y admite mayor presión, [figura 106](#). Las entalladuras externas sufren menos debido al efecto cuña y no tienden a abrirse. Este tipo de empalme es de mejores resultados que el perpendicular. No se utiliza mucho por la complejidad del empalme y por el desgaste importante que sufren las fresas.

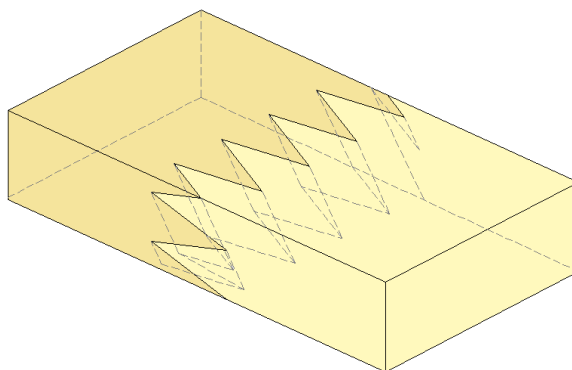


Figura 106: Detalle de entalladura inclinada.

Fuente: propia

La resistencia a flexión obtenida en las tablas empalmadas es aproximadamente y como mínimo del 75 por 100 de la que tendría la tabla utilizada sin empalmar, y suponiendo una pieza sin defectos y sana.

La presión de empalmado en las cabezas de las tablas, está en función del tipo de entalladura realizada, para el caso más usual de una entalladura múltiple clásica, de longitud de diente de 20 a 25 mm y una pendiente del 10 por 100, se utilizaría una presión de empalmado de 80 a 90 kg/cm². Lo que nos viene a indicar que para el caso de máxima sección permitida de ± 90 cm², se necesitaría una prensa de 8 Tn.

La presión máxima debe aplicarse al empalme por unión dentada como mínimo durante 2 segundos.

Los adhesivos deben ser escogidos considerando las condiciones climáticas de servicio, la especie de madera, el protector usado (si ha sido aplicado) y el método de fabricación.

En los empalmados longitudinales, se utilizan adhesivos bicomponentes, normalmente del tipo vinílico y con calificación B-4, es decir, antihumedad; las condiciones de utilización más usuales son:

- ✓ Temperatura mínima de utilización10º C
- ✓ Temperatura ambiente del taller..... 18 a 20º C
- ✓ Humedad de las maderas 8 a 14 por 100
- ✓ Porción adhesivo endurecedor en peso 100/10
- ✓ Gramaje 140 a 200 gr/m²
- ✓ Tiempo de ensamblaje abierto 5 a 15 m
- ✓ Presión de empalmado 4 a 8 bar
- ✓ Tiempo de presión (se debe tener en cuenta el tipo de empalme)
- ✓ Tiempo de estabilización 5 a 6 h

Todo el proceso de fresado – encolado – empalmado se realiza normalmente con una máquina compacta, **figura 107**, que suele cortar a medida las longitudes de las láminas deseadas.



Figura 107: Máquina de fresado-encolado-empalmado

Fuente: madera.fordaq.com

No son admisibles nudos, fendas o desviación de la fibra importante en la misma entalladura. En la proximidad de la unión dentada, la distancia entre el nudo y el empalme o será menor que $L + 3D$, donde D es el diámetro del nudo medido perpendicularmente a la dirección de la fibra (dirección longitudinal), **figura 108**.

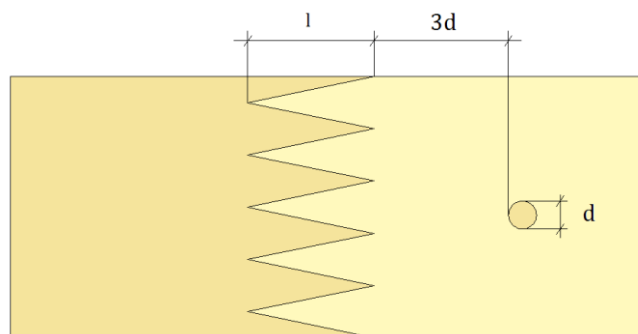


Figura 108: Distancia del nudo al empalme en piezas de MLE.

Fuente: propia

Cuando se ejecuten cortes para sanear nudos, éstos deberán realizarse a una distancia del nudo de por lo menos $3D$, **figura 109**.

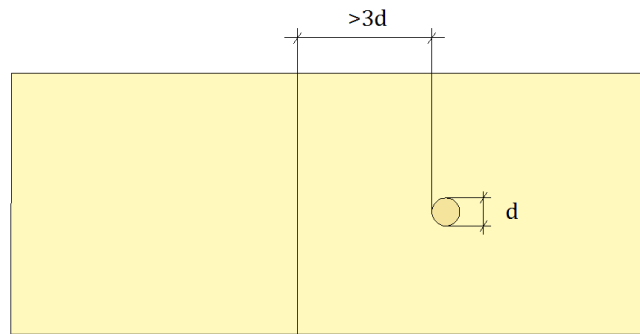


Figura 109: Distancia mínima a la que debe realizarse un corte transversal para suprimir el nudo.

Fuente: propia

Las especificaciones y requisitos mínimos de fabricación de los empalmes por unión dentada se realizarán de acuerdo con la UNE EN 385: 1996.

6.2.5. REGRUESADO DE LAS TABLAS Y APLICACIÓN DE COLA

Los adhesivos utilizados para las uniones empalmadas dentadas son los de tipo I y II, según la norma EN 301, ya que son capaces de garantizar la resistencia necesaria. La resistencia de la unión dentada puede determinarse mediante ensayos de tracción o de flexión de cara.

Una vez hecho el encolado de la testa, se deja fraguar la cola, y luego pasan directamente al proceso de laminación, donde se cortan con los largos deseados, se procede al apilado de las mismas, en función del tiempo necesario de estabilización de las colas (± 6 horas).

Se permite la realización de una ranura en cada lámina en la zona central de su sección, con una anchura máxima de 4 milímetros y una profundidad máxima de $1/3$ del espesor, para reducir el efecto de abarquillado.

Posteriormente, las láminas pasan a través de un compilador automático hacia una cepilladora de dos caras, donde se regruesan las tablas en dos de sus cara (las de mayor superficie), con objeto de dejar sus superficies lo más planas posibles (la desviación del espesor no puede sobrepasar los $0,2$ mm/100 cm), figura 110. Esta operación permite una buena distribución de las colas y nos garantiza que las juntas de encolado tendrán el mismo espesor y, por lo tanto, un buen reparto de tensiones.



Figura 110: Regruesadora de madera

Fuente: informaciona.com

Los espesores y el área de la sección transversal de cualquier lámina cepillada, no excederá de los siguientes valores:

Tabla 16.- Valores máximos del espesor y área de la sección transversal en las láminas cepilladas, según la clase de servicio. Fuente: UNE EN 386:1995.

Tipo de especie	Clase de servicio 1		Clase de servicio 2		Clase de servicio 3	
	t (mm)	A (mm ²)	t (mm)	A (mm ²)	t (mm)	A (mm ²)
Conífera	45	10.000	45	9.000	35	7.000
Froncosa	40	7.500	40	7.500	35	6.000

Nota.- Se recomienda realizar ranuras en las láminas cuando el área de la sección exceda de 7.500 mm².

Una vez cepilladas las láminas y justo a continuación, se procede a la aplicación de la cola mediante una encoladora. Normalmente esta máquina realiza la mezcla adhesivo-endurecedor automáticamente, así mismo deposita la cola sobre la tabla con el gramaje deseado (entre 300 y 600 gr/m²). La aplicación de la cola puede hacerse mediante rodillo, pero el método más usual es mediante una cortina de cola que cae directamente sobre la lámina según ésta va pasando hacia los rodillos que alimentan a las prensas. La cola sobrante se recoge en un recipiente que la devuelve al ciclo.

El tiempo entre el cepillado y la aplicación de la cola debe ser el mínimo imprescindible y nunca sobrepasará las 24 horas. La cola utilizada en este caso es siempre del tipo resorcina.

La calidad del cepillado juega un papel importantísimo en la calidad de la junta de encolado y, por lo tanto, en la pieza acabada. Para obtener una buena junta de encolado es necesario que no sobrepase los 0,4 mm de espesor (una vez realizado el prensado). Esto quiere decir que el margen de irregularidad una vez cepillada la lámina no puede ser superior a 0,2 mm. Esta irregularidad puede deberse a:

- ✓ Presencia de nudos.
- ✓ Mal afilado de las cuchillas.
- ✓ Mal montaje de las cuchillas.
- ✓ Velocidad de avance del cepillado demasiado rápida.
- ✓ Número insuficiente de cuchillas en la cepilladora.

6.2.6. PRENSADO DE LAS LÁMINAS

El prensado de las láminas se puede realizar en prensas de tipo vertical o de tipo horizontal; en cualquier caso, las indicaciones a seguir son siempre las mismas. En el primer caso, [figura 111](#), las láminas se encolan unas encima de las otras y en el segundo, unas al lado de las otras. Para el caso de piezas curvas, lo más usual es usar prensas de tipo horizontal, [figura 112](#), por la facilidad de replanteo y colocación de cada lámina.



Figura 111: Detalle de prensa vertical

Fuente: madera.fordaq.com

La prensa horizontal se compone de una serie de postes metálicos (normalmente piezas en “H”), colocados verticalmente y separados cada 30 cm, que van anclados a unas guías fijas empotradas en el pavimento para que puedan desplazarse adelante o atrás, según convenga, en función de la directriz curva o recta de cada pieza. Dichos postes actúan como base de apoyo de los elementos de MLE que se están fabricando; se va situando cada lámina (una al lado de otra) y al llegar a la última se procede al prensado sobre cada poste en “H”, mediante unas piezas atravesadas por pasadores metálicos que se tensan con unos grandes muelles situados en la parte posterior de los postes; allí esperarán en la misma situación hasta que se haya terminado el proceso de polimerización de las colas. La operación de tensado para conseguir las presiones adecuadas (entre 7 y 14 bares) se lleva a cabo normalmente con gatos hidráulicos de tipo fijo o móvil.

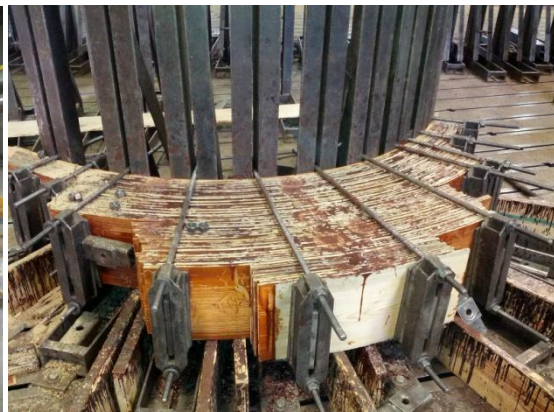


Figura 112: Detalle de postes y de guías en una prensa horizontal para laminación de una viga curva.

Fuente: fordaq.com

En el proceso de prensado, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Se deben evitar marcas o deformaciones en la superficie de las piezas, para ello, se espacian como máximo los postes cada 30 cm. En caso de una prensa vertical los puntos de presión tampoco sobrepasan este valor.

- ✓ La operación de prensado se debe comenzar por el punto central hacia los extremos; esto permite a las láminas el movimiento necesario de adecuación y de posición en el sentido longitudinal.
- ✓ Se deben seguir las recomendaciones del fabricante de las colas, tanto en las presiones de prensado como en las condiciones del taller y en el tiempo de prensado y de polimerización. El tiempo de polimerización de las colas está fuertemente influenciado por la temperatura del taller. Esta polimerización ejerce una gran influencia sobre la calidad de las juntas.

Tabla 17.- Presiones de prensado recomendadas. Fuente: UNE EN 386:1995.

Espesor de laminas t (mm)	t ≤ 35	35 < t ≤ 45
Presión (N/mm ²)	0,6	0,8 con ranuras
		1,0 sin ranuras

6.2.7. CEPILLADO FINAL, CORTE Y ACABADO DE LAS PIEZAS

Una vez que la pieza ha pasado por el proceso completo de: empalmado, cepillado, encolado y prensado, y las colas han polimerizado convenientemente, se retira la prensa normalmente con puente grúa y se procede al segundo cepillado de las dos caras de mayor superficie, esta operación es realizada por una gran cepilladora, que puede admitir piezas de hasta 2 m de altura y 50 cm de ancho. El cepillado debe ofrecer superficies de total planimetría sin diferencias apreciables.

Posteriormente y una vez se ha cepillado la pieza, se procede al replanteo (sobre el propio elemento de MLE) de la misma con su dimensión final y se corta con circulares y sierras de manejo manual, tal y como se muestra en la [figura 113](#). A continuación se le aplica el tratamiento final necesario en función del medio donde se vaya a instalar la estructura.

La aplicación de productos protectores, incluyendo productos ignífugos, sobre madera empalmada por uniones dentadas debería, por lo general realizarse después de su fabricación. Además los productos protectores y el adhesivo deben ser compatibles.

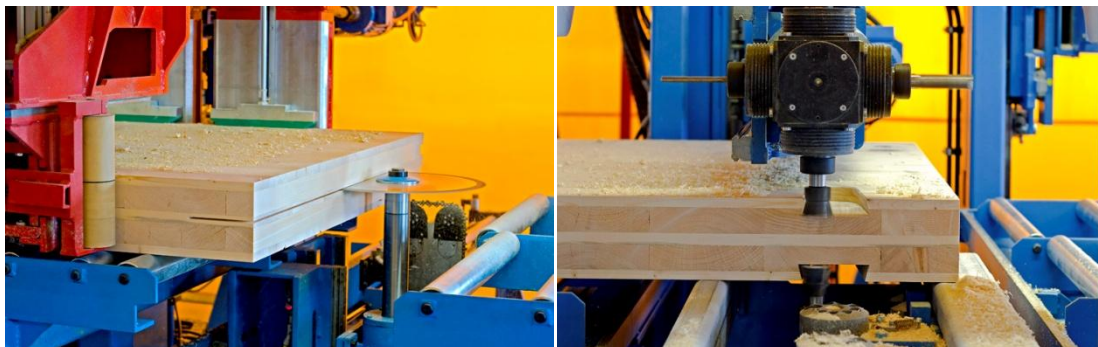


Figura 113: Maquinas de replanteo y manufacturas sobre productos de madera mediante sierras.

Fuente: hundegger.com

6.3. CONTROL DE CALIDAD

Las estructuras de madera parten de un material elaborado en origen por la naturaleza que sufre gran variedad de deformaciones debido a la inestabilidad dimensional. La intervención del hombre no sólo se reduce al proceso de fabricación (laminado y encolado), sino también al almacenaje, transporte y montaje.

El control de calidad de la MLE incluye los siguiente aspectos:

1. Control de la fabricación y de la ejecución en factoría y en obra, que se realiza a dos niveles; el Control Interno, realizado por personal de la empresa fabricante, y que es realizado diariamente varias veces; y el Control Externo, que se realiza dos o tres veces al año por personal autorizado perteneciente a algún organismo de control cuyo certificado de calidad está reconocido.
2. Control después de la terminación de la estructura.

6.3.1. CONTROL DE FABRICACIÓN

6.3.1.1. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN FÁBRICA. CONTROL INTERNO

Con el fin de garantizar que los elementos de Madera Laminada Encolada sean conformes a la normativa especificada, UNE EN 386:2002, el fabricante establecerá y mantendrá un control interno y documentado de la producción.

Este control interno consiste en un registro diario de todos los elementos fabricados.

EMPALMES POR UNIÓN DENTADA

Por cada turno de trabajo y por cada línea de producción, se extraerá una muestra representativa de empalmes por unión dentada y se ensayará a flexión de cara tal y como se describe en la Norma UNE EN 385:1994. Los ensayos se realizarán sobre la sección transversal total de la lámina.

Para cada empalme se registrarán en un informa que debe ser firmado por la persona responsable del control:

- ✓ Fecha de fabricación.
- ✓ Día de ensayo.
- ✓ Tipo de madera y calidad.
- ✓ Tratamiento final.
- ✓ Tipo de cola empleada.
- ✓ Dimensiones de las láminas empleadas.
- ✓ Carga de rotura.
- ✓ Resistencia a flexión.
- ✓ Descripción del modo de rotura con % de rotura en madera.

Para cada línea de producción y turno de trabajo, la resistencia a flexión será aceptable si alcanza una de las dos condiciones siguientes, según UNE EN 386:1995:

- a) La resistencia a flexión de cada empalme f_m es mayor o igual que el valor característico de la resistencia a flexión requerida para los empalmes por unión dentada $f_{m,r,k}$.

$$f_m \geq f_{m,r,k}$$

- b) El valor característico de la resistencia a flexión durante los 15 últimos empalmes ensayados de la línea de producción $f_{m,15,k}$ es mayor o igual que el valor característico de la resistencia a flexión requerida para los empalmes por unión dentada $f_{m,r,k}$.

$$f_{m,15,k} \geq f_{m,r,k}$$

El valor característico de la resistencia a flexión de los empalmes por unión dentada deberá cumplir:

$$f_{m,k} \geq f_{m,r,k}$$

Donde:

$f_{m,k}$ es el valor característico de la resistencia a flexión de los empalmes por unión dentada en las láminas, en newtons milímetro cuadrado;

$f_{m,r,k}$ es el valor característico de la resistencia a flexión de los empalmes por unión dentada, en newtons milímetro cuadrado.

REGISTRO DE ENCOLADO

En el registro de encolado se reflejará la temperatura y humedad relativa del aire en el almacén de madera, en la zona de empalme de láminas, en la zona de encolado y en la de prensado.

El registro de encolado debe incluir:

- ✓ Fecha y orden de fabricación.
- ✓ Especie.
- ✓ Calidad de la madera.
- ✓ Dimensiones de la estructura.
- ✓ Contenido de la humedad de la madera.
- ✓ Hora de comienzo de la aplicación del adhesivo.
- ✓ Hora de comienzo y final del proceso de prensado.
- ✓ Presión de prensado.
- ✓ Resina y endurecedor.
- ✓ Cantidad de adhesivo empleado (g/m^2).
- ✓ Calibración del xilohigrómetro.

El registro estará firmado por el responsable designado.

INTEGRIDAD DE LAS LINEAS DE ADHESIVO

La integridad de las líneas de adhesivo se evaluará en una sección transversal completa de la muestra, que será obtenida de un elemento de madera laminada ya consignado para cada turno de trabajo. En cada turno de trabajo en que se realice encolado se tomará por cada pasada o por cada $10 m^3$ de producción una muestra de una sección transversal completa.

Si todos los ensayos son correctos durante un periodo de 3 meses, su número puede ser reducido a no menos de la mitad de los indicados anteriormente.

Los resultados de los ensayos de integridad de la línea de adhesivo se documentarán tal como se describe en las Normas UNE EN 391 y UNE EN 392 para los ensayos de laminación y esfuerzo cortante respectivamente.

ORGANIZACIÓN DEL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Responsabilidad y autoridad

Deberá definirse claramente la responsabilidad, autoridad e interrelación de todo el personal que trabaja en el control de calidad, especialmente para el personal que necesite libertad de acción y autoridad para:

- ✓ Iniciar acciones para prevenir la aparición de elementos defectuosos de la madera laminada.
- ✓ Identificar y registrar cualquier problema de calidad en elementos de madera laminada.

Responsable del control de la producción

En cada fábrica se designará una persona que tendrá la autoridad, conocimientos y experiencia requeridos sobre la producción de la madera laminada, que será responsable de la dirección y supervisión de los procesos de control de la producción y garantizará que se introducen y mantienen los niveles exigidos en la norma UNE EN 386:1995.

Revisión por la dirección

El sistema de control de la producción adoptado para cumplir los requisitos de la norma UNE EN 386:1995 se revisará en intervalos de tiempo apropiados por la dirección de producción, para asegurar su vigencia y efectividad. Se archivarán los informes de dichas revisiones.

DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

La documentación del fabricante, los procedimientos e instrucciones reflejarán los aspectos relevantes y el proceso de control de la Madera Laminada. Serán descritos adecuadamente en el "manual de calidad", que comprenderá:

- ✓ Los objetivos de calidad y la estructura organizativa, responsabilidades y poderes de la dirección con respecto a la conformidad de la madera laminada.
- ✓ Los procedimientos para especificar y verificar la calidad de la madera y del adhesivo.
- ✓ La fabricación, control de la producción y otras técnicas, procesos y acciones sistemáticas que sean utilizadas.
- ✓ Las inspecciones y ensayos que sean realizados antes, durante y después de la fabricación así como la frecuencia con la que se realizarán.

Toda la documentación se guardará al menos durante 10 años y será guardada de tal forma que, la materia prima y las condiciones de producción para cada elemento de madera laminada puedan ser identificadas, al menos dentro de la semana y año de producción. Además, la documentación correspondiente a los ensayos de empalmes por unión dentada, el registro de encolado y los ensayos de la línea de adhesivo, se deberán registrar y guardar independientemente.

INSPECCIÓN Y ENSAYOS

Se dispondrá de todos los medios, equipo y personal precisos para llevar a cabo las inspecciones y ensayos necesarios. Este registro también se puede cumplir por medio de un contrato del fabricante o su representante con otra entidad que tenga medios, equipo y personal precisos. Para demostrar la conformidad de los elementos de madera laminada a las especificaciones exigidas, el fabricante controlará, calibrará e inspeccionará los equipos, ya sean o no de su propiedad. El nivel de incertidumbre del equipo utilizado será conocido y estará en concordancia con la precisión exigida.

Si existen razones para dudar de la calidad en cualquier fase de la producción o de las materias primas usadas, se aumentará e intensificará el control interno de la calidad. La organización inspectora será informada inmediatamente si son descubiertos defectos graves.

Si el resultado del ensayo o la inspección de un elemento de madera laminada presenta un resultado incorrecto, el fabricante está obligado a adoptar las medidas oportunas para rectificar el defecto. Los elementos de madera laminada que no cumplan con las especificaciones serán retirados y marcados según proceda. Cuando la causa del defecto haya sido rectificada, el ensayo o inspección en cuestión será repetido sin demora, siempre que sea técnicamente posible y que sea necesario como evidencia de que se ha subsanado.

Se notificará a los clientes, en caso de ser necesario, con objeto de evitar daños debidos a elementos defectuosos de madera laminada que hayan sido expedidos antes de estar disponibles los resultados de los ensayos.

6.3.1.2. LA ORGANIZACIÓN INSPECTORA. CONTROL EXTERNO

El propósito del control externo es supervisar el control interno, comprobar por medio de muestras la calidad de los empalmes y las líneas de adhesivos y obtener conocimiento de la producción de madera laminada de tal forma que la certificación puede ser retirada o mantenida.

Se realizarán un mínimo de dos inspecciones anuales. Éstas deben ser sin anuncio previo a no ser que, por razones especiales sea necesario anunciarla.

La organización inspectora tendrá acceso a todos los almacenes y zonas de producción y el fabricante responderá a cualquier pregunta técnica. La organización inspectora considerará toda la información técnica como confidencial. El fabricante puede ser requerido para entregar, a la organización inspectora, cada cierto intervalo de tiempo, información sobre la producción y resultados de ensayos.

Durante la inspección se comprobarán o inspeccionarán los siguientes aspectos:

- ✓ Materia primas
- ✓ Fabricación de acuerdo con las especificaciones establecidas en la norma (UNE EN 386:1995)
- ✓ Componentes de los elementos de madera laminada (empalmes por unión dentada, láminas)
- ✓ Elementos de madera laminada acabados.

La sección de muestras para ensayos externos (empalmes y muestras de sección transversal completa para ensayos sobre la integridad de la línea de adhesivo) será realizada normalmente por la organización inspectora.

El número de muestras será de 15 empalmes como mínimo para los ensayos a uniones dentadas y por lo menos 6 muestras de secciones transversales completas para los ensayos de integridad de la línea de adhesivo. Dichas muestras se tomarán en cada inspección. Si se pueden probar resultados muy superiores a los exigidos en el ensayo externo proveniente de la última inspección y del control interno de la producción, la toma de muestras puede ser omitida. La organización inspectora será la encargada de preparar un informe de cada inspección.

CERTIFICADOS DE CALIDAD

- ✓ Sello de calidad AITIM, para fabricación de Estructuras de Madera Laminada Encolada: Asociación privada que establece un sello de calidad al fabricante según las especificaciones de la norma UNE EN 386: Madera Laminada Encolada. Requisitos de fabricación. Especificaciones mínimas de fabricación.
- ✓ Marcado CE. El producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE EN 14081, que entro en vigor de forma obligatoria el 1 de septiembre de 2008.
- ✓ Certificado del Instituto Otto–Graf (Stuttgart, Alemania): Organismo oficial que controla la certificación de los fabricantes, de acuerdo a las especificaciones de la norma DIN 1052. Parte 1: Construcciones de madera. Cálculo y ejecución. Es el que inspecciona los trabajos en toda Europa Occidental.
- ✓ Sello de calidad APA EWS (American Plywood Association – American Wood System) (EEUU): Asociación privada que establece una certificación que garantiza que la fabricación es acorde a la norma ANSI A 190.1.
- ✓ Certificado del AITC; American Institute of Timber Construction (EEUU): Asociación nacional que establece la marca de calidad AITC al fabricante de acuerdo con la ANSI/AITC A 190.1-1983.
- ✓ Clasificación profesional del OPQCB (Oficina Pública de Calificación de Constructores en la Edificación. Francia): Establece una calificación profesional de los diferentes gremios de la construcción, en madera laminada es la 232. La validez del certificado es de un año.



Figura 114: Certificados de calidad para la madera laminada.

Fuente: google.es

6.3.1.3. MARCADO DE LA MLE

La madera laminada deberá ser marcada de manera indeleble, y mostrará:

- ✓ El nombre o identificación del fabricante.
- ✓ La clase resistente u otra identificación de resistencia.
- ✓ El tipo de adhesivo.
- ✓ La fecha de fabricación (mes y año).
- ✓ Número de certificado.
- ✓ Número de la norma.

6.3.2. CONTROL DESPUÉS DE LA TERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Cuando esté adecuadamente asegurado el cumplimiento a largo plazo de las hipótesis básicas del proyecto, debería establecerse un programa que especificará las medidas de control (inspección y mantenimiento) para llevarse a cabo durante la vida de servicio.

Toda la información requerida para la utilización en servicio y de mantenimiento de la estructura debería estar disponible para la persona o autoridad responsable de la estructura terminada.

6.4. ALMACENAJE, TRANSPORTE Y MONTAJE DE LAS PIEZAS DE MLE

Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En caso de arcos, pórticos y otras estructuras similares deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

6.4.1. ALMACENAJE DE PIEZAS DE MLE

Los elementos de MLE almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie. Una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

6.4.2. TRANSPORTE DE PIEZAS DE MLE

Una vez que las piezas de MLE han sido cortadas y tratadas convenientemente en fábrica, se procede a su traslado a la zona de ubicación definitiva de la estructura.

Las reglamentaciones de tráfico, el ancho, el ancho de las carreteras por donde se va a circular, los puentes y las obras que se realizan en las mismas, deben de haber sido previstas de antemano para realizar un transporte sin ningún problema (*figura 115*).



Figura 115: Diseño de la estructura con divisiones realizadas de antemano para su transporte.

Fuente: archdaily.com

En España se pueden considerar dos tipos de transportes referentes a mercancías: transportes normales y transportes de tipo especial. Se pueden considerar **transportes normales** aquellos donde las piezas no sobrepasan los ± 12 metros de longitud y el ancho de las mismas no supera los 3 metros (habrá de tenerse en cuenta el alto, que no deberá sobrepasar los 4 metros de altura). El resto de transportes se pueden considerar **transportes especiales** (*figura 116*), y suelen circular en horario nocturno a través de camiones de transporte especial, para no influir en el tráfico vial, llegando a transportar piezas de 40 metros de longitud (como serían las aspas de los molinos de viento que se transportan en una sola pieza).



Figura 116: Transporte especial vigas de grandes dimensiones.

Fuente: blogtecnicodelamadera.com

Las piezas curvas se suelen transportar verticalmente, pero hay que tener en cuenta la flecha del arco de la viga, ya que hay un límite de altura máxima para el transporte.

Cuando la altura de la flecha es demasiado grande, es decir, mayor de 4 metros, las piezas se pueden transportar horizontalmente.

La flecha máxima también viene determinada por los anchos mínimos libres del trayecto elegido.

Cuando el transporte no puede salvar las dificultades del trayecto, debe procederse a la división de las piezas en varias partes y trasladarlas independientemente.

6.4.3. MONTAJE DE PIEZAS DE MLE

Las fases del montaje deben estar bien presentes en la dirección de trabajo: se ha de tener en cuenta el espacio del que se dispone en obra, ya que un reducido campo de actuación podría obligar al proyectista a realizar la estructura en varias partes, en lugar de hacerla de una sola pieza, los tiempos de montaje son limitados y rápidos; se han de prever los emplazamientos de los equipos y medios de elevación (grúas torre, autoportantes,...). Existen una serie de condicionantes, que de no considerarse podrían suponer un retraso en el proceso de ejecución, con la consiguiente repercusión en las previsiones económicas. La fase de montaje, en ocasiones, puede representar entre un 30-40% del coste final de la obra.

A continuación se citan una serie de exigencias que se deben cumplir:

- ✓ Ha de quedar instalado un emplazamiento cerrado destinado a los útiles necesarios para el montaje de la estructura. En la siguiente imagen (*figura 117*) se puede observar la separación de zona en obra donde se sitúa toda la maquinaria y útiles para el montaje de la estructura, separada con una red de color naranja.



Figura 117: Separación en obra de la zona donde se sitúan los útiles de montaje de la estructura.

Fuente: blogtecnicodelamadera.com

- ✓ Se dispondrá de corriente eléctrica, o en su defecto de un grupo electrógeno de la potencia requerida por la empresa instaladora.
- ✓ Se colocarán dispositivos adecuados para impedir el desplazamiento de los diversos elementos en el transcurso de las operaciones a realizar, así como para reducir al máximo las tensiones y deformaciones de las piezas.
- ✓ Es preciso considerar los contravientos necesarios para garantizar la estabilidad provisional de la estructura, hasta llegar a la situación definitiva. En caso de que la velocidad del viento supere los 40 km/h se deberán interrumpir todas las operaciones.
- ✓ La descarga y elevación de las piezas se efectuará mediante abrazaderas y correas adecuadas que no dañen las aristas de los elementos laminados. En la siguiente imagen (*figura 118*) se observa la colocación de una viga de MLE con ayuda de una grúa mediante abrazaderas fijadas en dos puntos para ganar mayor equilibrio de la pieza.



Figura 118: Colocación en obra de las vigas mediante abrazaderas con ayuda de una grúa.

Fuente: blogtecnicodelamadera.com

- ✓ En el caso cubiertas de grandes dimensiones, el trabajo debe desarrollarse simultáneamente sobre las dos vertientes para repartir las cargas de manera uniforme.
- ✓ Se respetarán las medidas de seguridad que marca la normativa.
- ✓ El equipo especialista que realiza el montaje es generalmente propuesto por la propia empresa suministradora del laminado. Esto es debido a que el montaje de este tipo de estructuras requiere esforzadas y complejas operaciones que precisan gran habilidad por parte del personal que lo realiza; que en muchos casos llega a “colgarse” literalmente de alturas que pueden llegar hasta los 30 metros.

El fabricante o montador de la estructura de madera deberá comprobar el replanteo de la obra en los puntos de apoyo de las piezas. El constructor deberá observar las siguientes tolerancias no acumulables admitidas generalmente:

sobre la luz.....± 2 cm
transversalmente..... ± 1 cm
de nivelación..... ± 2 cm
en las esquinas de la construcción..... ± 1 cm

Las tolerancias se reducirán a la mitad en el caso de colocar las placas de anclaje en el momento del vertido del hormigón.

RESISTENCIA AL FUEGO

El RD 312/2005 hace una clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.

Las clases se corresponden conceptualmente con las siguientes definiciones:

A1: No combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego.

A2: No combustible. Sin contribución en grado menor al fuego.

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: **Combustible. Contribución media al fuego**

E: Combustible. Contribución alta al fuego

F: Sin clasificar

con referencia a la opacidad de los humos:

s1: baja

s2: **media**

s3: alta

con referencia a la caída de gotas o partículas inflamadas:

d0: **nula**

d1: media

d2: alta

La MLE, al igual que la madera maciza, se define según su comportamiento frente al fuego como un material combustible que contribuye a la alimentación del fuego de manera media, tiene una velocidad de propagación y producción de humos media, y no presenta caídas de gotas o partículas inflamadas; es decir, está clasificada como **D-s2, d0**.

7.1. COMPORTAMIENTO DE LA MLE ANTE EL FUEGO

Se dice que una estructura tiene un buen comportamiento ante el fuego, cuando ésta sigue cumpliendo su función durante y después de que el incendio se haya producido; consiguiendo así el

tiempo necesario para la evacuación de las personas, primordialmente, así como las operaciones de extinción del mismo. Una de las principales ventajas de las estructuras realizadas con MLE es su comportamiento frente al fuego, que a continuación se explica.

Cuando se inicia un incendio y éste afecta a una estructura de madera, se produce, debido al fuego, una carbonización exterior de la pieza, lo que provoca una disminución de la humedad interna, consiguiendo con ello un aumento de la resistencia de la misma. La superficie carbonizada actúa como un aislante que impide la penetración del oxígeno del aire y retarda la combustión de la madera.

La velocidad de carbonización de la madera, es aproximadamente, la que se indica a continuación:

VIGAS:	en el extradós y los laterales:	0,8 mm/minuto
	en el intradós:	1,1 mm/minuto
PILARES:		0,7 mm/minuto
SUELOS:		1,1 mm/minuto

La temperatura de aparición de daños es relativamente baja en el caso de la madera, cuyo punto de ignición es de alrededor de 250°C mientras que en el hormigón armado, los daños comienzan entre 300°C y 500°C y en acero (salvo los deformados en frío), las características mecánicas no comienzan a alterarse hasta los 750°C y no resultan críticas hasta los 1200°C.

Si estudiáramos el comportamiento interno de la madera ante el fuego podríamos comprobar lo siguiente:

Entre 100°C y 300°C, la madera se calienta y comienza a perder agua mediante su evaporación, esto hace aumentar sus características mecánicas.

A partir de los 450°C y hasta los 800°C comienza la etapa de carbonización, produciéndose una degradación superficial que, al mismo tiempo, actúa como capa protectora y aislante.

Después de los 800°C la carbonización avanza hasta el alma de la madera y produce su rotura.

Hay que tener en cuenta que las temperaturas alcanzadas en un incendio pueden variar entre 800°C y 1200°C, y la madera sin protección es un material inflamable en un incendio.

Una de las características fundamentales de la madera ante el fuego es su baja conductibilidad térmica; ya que cuanto menor es la conductibilidad térmica de material, más lentamente se alcanza la temperatura crítica de pérdida de sus características físico-mecánicas. Esto hace que la temperatura crítica se alcance sólo superficialmente y el interior quede a temperatura muy inferior. Pero para que la combustión se produzca, es preciso el aporte de oxígeno, y al quedar el aire empobrecido por la combustión de la superficie, el interior permanece durante un tiempo considerable inalterado por imposibilidad de arder.

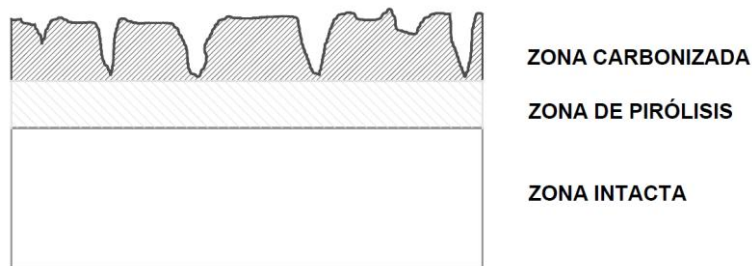
Esta propiedad de la madera, a diferencia que el acero, hace que la estructura no se colapse de manera precipitada, puesto que cuando la madera entra en contacto con el fuego, se van quemando sus capas exteriores permaneciendo intacta la sección interior durante un tiempo.

En el caso de estructuras de acero, éstas aguantan elevadas temperaturas, pero una vez alcanzada la temperatura crítica se deforman considerablemente causando peligro estructural. En la siguiente imagen (*figura 119*) se muestran un ensayo de comportamiento al fuego de una viga de madera laminada y otra de acero sin tratamiento. Se puede apreciar que la viga de madera, a pesar de estar carbonizada, mantiene la forma; mientras que, la viga de acero sufrió una deformación muy notable, lo que da lugar al colapso estructural.



*Figura 119: Sometimiento al fuego de una viga de madera y una viga metálica.
Fuente: cttmadera.cl*

Las caras exteriores que están en contacto con el fuego arden dando lugar posteriormente a la carbonización, zona carbonizada. En la zona inmediata a la anterior, la madera se encuentra en estado de descomposición química causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno, llamada zona de pirólisis; por último se encuentra la zona intacta donde no se ve afectada por la acción del fuego, en la que simplemente disminuye su contenido de humedad (*figura 120*).



*Figura 120: Identificación de las distintas zonas afectadas por el fuego.
Fuente: propia*

La conductibilidad térmica de la madera es de $0,13 \text{ Kcal/ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, mientras que la del carbón de la madera es de $0,03$.

Sus competidoras, en el campo estructural, como son el acero y el hormigón armado, tienen como valores de conductividad térmica 45 y $1,2 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, respectivamente. Esto les obliga a ser protegidos mediante capas superficiales para poder igualar proporcionalmente a elementos equivalentes en Madera Laminada Encolada.

Ello hace que las estructuras de madera resulten, no sólo competitivas, sino ampliamente favorables en términos de resistencia al fuego. Las otras dos acusaciones que se hacen a las estructuras de madera en este sentido, de incrementar la masa de material combustible y de producir humos, resultan asimismo injustificadas, pues el aporte de la estructura de madera, en ambos sentidos, durante un incendio, es por lo general totalmente despreciable.

Se ha estimado, después de diversos ensayos, que la velocidad de penetración del fuego es de $\pm 0,7$ mm por minuto, aunque éste es un valor medio, ya que las cuatro caras de la pieza pueden verse afectadas de forma diferente por el fuego, o no afectadas (*figura 121*). Hay que tener también en cuenta que las aristas de los elementos de madera sufren antes el ataque del fuego que las caras planas de los mismos; debido a estos, sufren el redondeo de las aristas.

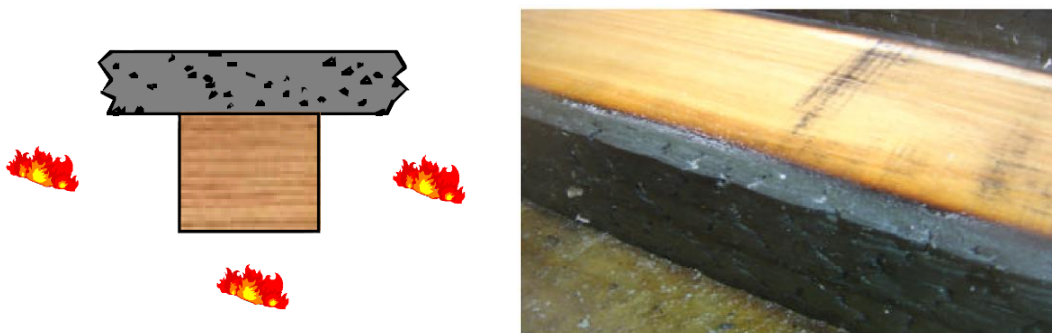


Figura 121: Aspecto de una viga tras un ensayo de 15 minutos con la cara interior protegida por el forjado.

Fuente: plataformaarquitectura.cl

Por tanto, conociendo el tiempo necesario de evacuación para un recinto, podremos estimar la “sección de reserva” necesaria, que debemos de incrementar a la sección dada por el cálculo; es decir, que la sección residual (*figura 122*) que queda después del incendio debe de responder a las sollicitaciones estructurales de ese elemento.

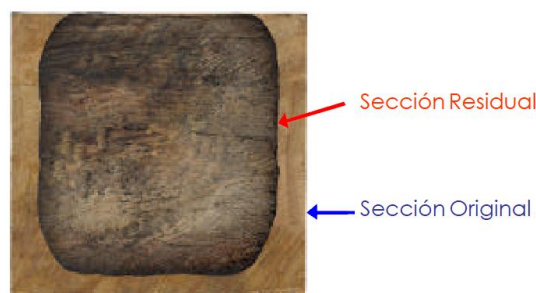


Figura 122: Vista de la sección de una viga antes y después de estar sometida al fuego.

Fuente: plataformaarquitectura.cl

A la vista de lo dicho, en las estructuras de MLE, la estabilidad estructural ante el fuego se consigue a base de sobredimensionar la sección y no por medio de tratamientos ignífugos superficiales.

El costo del sobredimensionamiento de la sección resulta más barato que cualquier tipo de tratamiento adoptado. Asimismo se preserva el aspecto estético de la madera que es una de sus cualidades más interesantes.

7.2. MÉTODO DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MLE

Para determinar la resistencia de los elementos estructurales de madera ante la acción del fuego, el código técnico establece en el DB SI un método simplificado, llamado método de la sección reducida.

MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA

La comprobación de la capacidad portante de un elemento estructural de madera se realiza por los métodos establecidos en el DB SE-M, considerando una sección reducida de madera obtenida eliminando de la sección inicial la profundidad eficaz de carbonatación, d_{ef} , en las caras expuestas, en un periodo de tiempo considerado (figura 123).

Como ya hemos mencionado anteriormente, lo más habitual para la protección de la madera al fuego es el aumento de su sección, en vez de tratamientos protectores o revestimientos de protección, por lo que en este método vamos a determinar cómo se calcula para madera sin protección (para madera con protección también viene determinado en la norma).

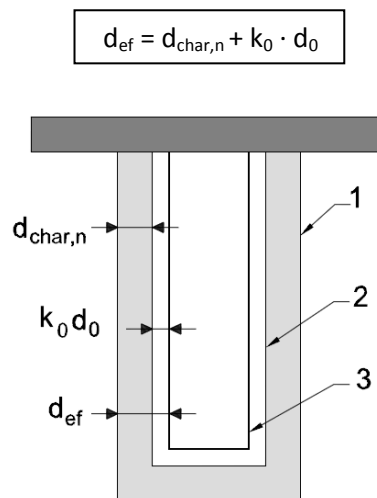


Figura 123: Definición de la sección residual y eficaz.

Fuente: DB SI. Anejo E. Resistencia al fuego de las estructuras de madera.

Siendo:

- 1 superficie inicial del elemento
- 2 límite de la sección residual
- 3 límite de la sección eficaz
- $d_{char,n}$ profundidad carbonizada nominal de cálculo, obtenida por la siguiente fórmula.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

donde β_n es la velocidad de carbonatación nominal de maderas sin protección, obtenidas de la siguiente tabla (tabla 18);

donde t es el tiempo de exposición al fuego (tabla 19).

d_0 de valor igual a 7 mm

k_0 de valor igual a 1 para un tiempo $t \geq 20$ minutos y $t/20$ para tiempos inferiores, en el caso de superficies no protegidas cuyo tiempo del inicio de la carbonización, t_{ch} , sea ≤ 20 minutos.

Tabla 18.- Velocidad de carbonización nominal de cálculo, β_n , de maderas sin protección.

Fuente: DB SI. Anejo E. Resistencia al fuego de las estructuras de madera.

Tipos de maderas	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada con densidad característica de 290 kg/m^3 ⁽¹⁾	0,70
Madera maciza o laminada encolada con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3 , se interpolará linealmente.

Tabla 19.- Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales.

Fuente: DB SI 6. Resistencia al fuego de la estructura

Uso del sector de incendio considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante. Altura de evacuación del edificio		
		$\leq 15 \text{ m}$	$\leq 28 \text{ m}$	$> 28 \text{ m}$
Vivienda unifamiliar ⁽¹⁾	R30	R30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R120	R60	R90	R120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R120 ⁽²⁾	R90	R120	R180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)	R90			
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)	R120 ⁽³⁾			

⁽¹⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽²⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽³⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

8.1. UNIONES CON ADHESIVOS

Las uniones constituyen un punto importante en las estructuras de MLE, llegando a alcanzar su costo entre el 20 y 25% del total.

8.1.1. DEFINICIÓN

Los adhesivos son materiales que se utilizan para pegar las láminas de madera o elementos metálicos, de tal forma que trabaje todo como una única pieza. Hay que tener en cuenta, a la hora de diseñar los ensambles, que los adhesivos trabajan de manera óptima cuando están sometidos a fuerza de deslizamiento, siendo a tracción la peor situación.

En ocasiones se utiliza la palabra “cola” para denominar a los adhesivos de la madera, pero este significado se le da únicamente a los adhesivos en base acuosa.

8.1.2. COMPOSICIÓN

Componente principal

Es el material que actúa de ligante y en la actualidad se corresponden con productos orgánicos de síntesis.

Endurecedores

Son las sustancias que se añaden para acelerar se fraguado, haciendo que los adhesivos alcancen sus propiedades físicas y mecánicas lo más rápido posible.

Cargas

Son las sustancias que se añaden para mejorar las características del adhesivo. Pueden ser productos insecticidas, ignífugos, etc.

Solventes

Es el vehículo en que va disuelto el adhesivo, puede ser orgánico, acuoso, espumas, hidrodispersables, etc.

Complementos

Son las sustancias que se le añaden al adhesivo para abaratarlo.

8.1.3. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ADHESIVOS

En función de los componentes podemos clasificar los adhesivos o colas en dos grandes grupos: adhesivos o colas naturales y adhesivos sintéticos.

8.1.3.1. ADHESIVOS O COLAS NATURALES

Como su propio nombre indica, son aquellas que se obtienen de productos naturales y no sintéticos. Dentro de las colas naturales podemos clasificarlas en: colas al silicato sólido, colas vegetales, colas animales, colas de albúmina y colas de caseína.



Figura 124: Encolado de piezas de madera con colas naturales.

Fuente: taringa.net

Colas al silicato sólido

El componente principal de la cola es el silicato sódico. Esta cola se comercializa en forma de solución acuosa, en concentraciones entre el 30 y el 43 % o bien en forma sólida hidratada al 17 % de agua.

Al emplearse como adhesivo su vida es muy limitada, puesto que es un material soluble. Para mejorar su resistencia a la humedad se puede mezclar con otros adhesivos como la caseína.

Colas vegetales

Estas colas son obtenidas de distintos vegetales, de la cual la planta de las que se extrae le da la denominación a la cola.

Podemos distinguir dos tipos de productos: los amiláceos, que son obtenidos del almidón, féculas y dextrinas; y los proteínicos, obtenidos a través de la soja.

En los productos amiláceos, el componente adhesivo por excelencia es el almidón, que se puede obtener de la fécula de las patatas, harina de las gramíneas, etc.

Estos compuestos, necesitan de una elevada proporción de agua, entre el 100 y el 200 % de su peso seco. Las condiciones idóneas de empleo es en maderas de baja humedad, entorno al 8%, y tiempo de prensado entre 6 y 8 horas.

Estas colas presentan la ventaja de que son baratas y tienen buena conservación en seco. Entre los inconvenientes, tenemos la dificultad para conseguir un buen extendido en la superficie y el ser sensibles a la humedad.

Las Proteínicas están formadas por las proteínas resultantes después de la obtención del aceite de semillas de la soja. Las condiciones idóneas para su aplicación en madera está entre el 5 y 15 % de humedad y un tiempo de prensado de 4 a 12 horas.

Al igual que las colas al silicato, son baratas y de fácil aplicación. Los inconvenientes que presenta es su baja resistencia en agua, es susceptible de ataques por agentes bióticos y tienen un periodo de vida de trabajo corto.

Colas animales

Las colas animales están formadas por gelatina, que se obtiene a través del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos de los animales. Se consiguen a partir de la cocción en agua de pieles, huesos o residuos de los animales; también se pueden obtener las de pescado, entre las que destaca la de esturión por su mayor calidad.

La resistencia al agua de estas colas es muy baja, pero se pueden mejorar añadiendo productos fijadores y estabilizadores que insolubilizan las gelatinas, tales como taninos, bicromato, etc. Ha de aplicarse con un contenido de humedad inferior al 12%.

Tienen la ventaja de que se puede actuar en su viscosidad, su fraguado en frío y buena resistencia mecánica. Como inconveniente presenta su dificultad de obtención, su poca resistencia al agua y son susceptibles de ataques por agentes bióticos.

Colas de albúmina

Son producidas por la coagulación de la sangre de animales deshidratada, hasta que ésta está en consistencia seca.

Se obtienen mezclando el polvo de la sangre en agua tibia, al que se le añade un álcali para aumentar su solubilidad. Se deben de emplear en condiciones de humedad inferiores al 10 %.

Son resistentes al agua, facilidad de fraguado y tienen buenas prestaciones mecánicas.

Como inconveniente muestran baja durabilidad, manchan las maderas con tonalidades oscuras y son susceptibles de ataques por agentes bióticos.

Colas de caseína

La caseína es la principal proteína de la leche y el queso, y se encuentra con porcentajes que varían entre el 0,3 y el 3,5%.

Para proteger estas colas de los agentes bióticos de la madera, se le añaden antisépticos, tales como sulfato de cobre, cloruro de cobre o peróxidos.

Se deben de emplear en condiciones de humedad inferiores al 8%.

Estas colas presentan facilidad de preparación y fraguado, uniones resistentes al agua y buenas prestaciones adherentes y mecánicas.

Presentan el inconveniente de que manchan las maderas ricas en taninos y sus juntas son poco resistentes a los agentes atmosféricos.

8.1.3.2. ADHESIVOS SINTÉTICOS

Se obtienen de la resina artificial a base de polímeros que son derivados del petróleo, procedentes de la industria petroquímica. Dentro de los adhesivos sintéticos, podemos clasificarlos en dos grandes grupos: adhesivos termoplásticos o adhesivos termoestables.



Figura 125: Adhesivos sintéticos obtenidos a base de polímeros.

Fuente: directindustry.com

ADHESIVOS TERMOPLÁSTICOS

Los materiales termoplásticos son aquellos materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares o fuerzas de Van der Waals, formando estructuras lineales o ramificadas. Estos presentan, en general, las características de que pueden derretirse antes de pasar a estado gaseoso, permiten una deformación plástica cuando son calentados, son solubles a ciertos solventes y presentan buena resistencia a la fluencia.

Los termoplásticos más significativos son: las emulsiones de resinas, los adhesivos termo fusibles, los adhesivos de poliuretano y los adhesivos epoxi, entre otros.

Emulsiones de resinas

Están formadas por la polimerización de acetato de vinilo bien sólido o con otros monómeros, para formar polímeros, a los que se les añade estabilizante. Se utilizan en maderas con una humedad del 15%. Esta emulsión se utiliza sobre todo en frío.

Estos adhesivos presentan la ventaja de que su empleo es fácil y se puede utilizar en juntas de pequeño espesor. Como inconvenientes podemos citar su toxicidad, regular comportamiento en agua, pérdida de resistencia a temperatura de 75°C y escasa respuesta a cargas permanentes.

Adhesivos termofusibles (hot melts)

Estos adhesivos, tal y como indica su nombre, se suministran en forma de resina sólida y se vuelven líquidas con la aportación de calor para aplicación sobre la superficie que se desea unir (*figura 126*). Al enfriarse se vuelven a endurecer y no presentan ningún cambio en la estructura química del adhesivo, a diferencia de otros que pasan al estado sólido por reacción química o evaporación de los disolventes.

Como ventajas se puede citar la ausencia de disolventes, resistencia a la humedad, adhesión instantánea, rellenan bien los huecos y son flexibles a bajas temperaturas. Como inconvenientes presenta que necesita temperaturas elevadas para su aplicación que puede perjudicar a las superficies sensibles, y sensibilidad al calor y a los disolventes de las uniones.



Figura 126: Aplicación de adhesivo termofusible con pistola manual.

Fuente: packagingmaterials.com

Adhesivos de poliuretano

Son adhesivos que están basados en la química del isocianato. Son conocidos también como adhesivos elásticos, puesto que tienen una extraordinaria elasticidad.

Este adhesivo se suministra en forma líquida y adquiere rigidez cuando se seca (*figura 127*). Su secado, al igual que el adhesivo termofusible, no se realiza por evaporación de disolventes. Es ideal para ensamblajes de la madera, puesto que ofrece gran aptitud a la deformación.

La temperatura idónea para su aplicación es por debajo de los 10°C y un contenido de humedad de la madera inferior del 18%.

Como ventajas se puede citar su resistencia al agua, buena adherencia, extraordinaria elasticidad, ausencia de disolventes (100% sólido), tiempo de prensado corto y curado rápido. Como inconveniente presenta que a temperaturas bajas causan que el adhesivo se espese, la toxicidad y la sensibilidad al agua.



Figura 127: Aplicación de adhesivo de poliuretano con pistola manual.

Fuente: plantas.facilísimo.com

Adhesivos epoxi

Son adhesivos cuyo polímero base está formado por el grupo químico denominado epoxi. Estos adhesivos son también conocidos como adhesivos rígidos, puesto que poseen una alta resistencia frente a tensiones o cargas (*figura 128*).

El Bisfenol y la Epiclorhidrina, en presencia de hidróxido sódico, forman la base. Para que la resina endurezca, es necesaria la aportación de un reactor, que actúa como endurecedor.

El endurecedor a su vez está formado por áridos, masillas, polvos de madera y en general por distintos tipos de carga que dependen del uso la resina.

Pueden estar formados por uno o dos componentes. Los adhesivos de dos componentes son los más utilizados, compuestos de una base y un reactor que producen una reacción fuertemente exotérmica cuando se mezclan, que endurece a partir de 10°C sin retracción de fraguado.

Las características van a depender del producto final al que han de unirse, siendo distintas para hormigones, maderas, plásticos, aceros, etc. Se utilizan en aquellas uniones que se requiera alta resistencia a las tensiones.

Se emplean sin solventes por lo que durante su fraguado no se producen volátiles o fluidos y no hay pérdida de volumen en su fraguado.

Estos productos presentan buena adherencia, no sufren contracciones, son inflamables, no presentan toxicidad en caso de incendio y son impermeables.



Figura 128: Aplicación de adhesivo epoxi con pistola manual.

Fuente: loctite.es

ADHESIVOS TERMOESTABLES

Los materiales termoestables son aquellos que están formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos, obteniendo una estructura polimétrica altamente reticulada.

La estructura altamente reticulada o unida mediante enlaces químicos que poseen los materiales termoestables, es la responsable directa de las altas resistencias mecánicas y físicas (esfuerzos o cargas, temperatura...).

Por contra es dicha estructura altamente reticulada la que aporta una pobre elasticidad a dichos materiales, proporcionando a dichos materiales su característica fragilidad.

Estos materiales presentan, en general, las características de que no se derriten, son insolubles y presentan alta resistencia a la fluencia.

En este grupo se encuentran los siguientes adhesivos: fenol formaldehído, melanina formaldehído, urea formaldehído y el isocianato, entre otros.



Figura 129: Aplicación de un adhesivo sintético termoestable para unir tablas de madera.

Fuente: bricolaje.facilísimo.com

Fenol formaldehído

Son de las primeras colas utilizadas en la industria de la madera, y están compuestas por mezclas de resinas procedentes de la polimerización y condensación parcial del Fenol o del Cresol con el Formol.

Se pueden comercializar en tres formas distintas:

- ✓ Polvos solubles en agua, alcohol o mezcla de ambos
- ✓ Líquidas, en volúmenes acuosos, alcohólicos o de agua y de alcohol.
- ✓ Películas, constituidas por un soporte de papel poroso impregnado de resinas.

Pueden presentarse acompañadas de un endurecedor, que hará que la reacción sea fuertemente exotérmica, y admiten la posibilidad de cargas como harina de madera, cortezas machacadas, albúmina, entre otras.

Tienen gran resistencia a la humedad, a los agentes químicos, y buena resistencia al fuego, pudiendo utilizarse para encolados de maderas para exteriores.

Melanina formaldehído

Son adhesivos obtenidos por la polimerización y condensación de estos dos productos químicos, melanina y formaldehído.

Para su aplicación idónea se recomienda una humedad en la madera superior al 6% y altas temperaturas para el fraguado.

Este producto presenta buena resistencia a la humedad, buena resistencia a ataques por microorganismos vivos y la resistencia en las juntas es muy similar a la de la madera.

Urea formaldehído

Son adhesivos que se obtienen de la condensación de la urea con el formol. Estos se presentan en forma sólida, líquida o de películas. Las que se presentan en polvo tienen una vida más larga de almacenaje, siempre que no se les incorpore el endurecedor.

Estas colas se suministran en dos partes: la resina y el endurecedor. Se les pueden añadir cargas orgánicas como haría de madera, cereales o leguminosas; o minerales como arcilla, tierra de diatomeas, sulfato de calcio, entre otros.

Entre las variedades de colas se comercializan las de fraguado en frío y fraguado en caliente.

Tienen buenas prestaciones adherentes y mecánicas, y su aspecto es blanco lechoso. Se vuelve frágil cuando se utilizan espesores gruesos.

8.1.4. CONDICIONES DE EMPLEO

Para la aplicación de los adhesivos, las superficies de madera deben estar perfectamente limpias, recientemente preparadas y totalmente lisas y niveladas para poder obtener así la presión lo más homogénea posible, perfectamente repartida.

Los elementos metálicos, al igual que la madera, deben estar exentos de grasas, ceras, aceites, óxidos, etc., debiendo seguirse en su limpieza las instrucciones que suministre el fabricante. No se puede utilizar herrajes metálicos que presenten síntomas de oxidación. Si el metal no está limpio es conveniente limpiarlo mediante su lijado, pulido o chorro de arena.

La humedad de la madera deberá de ser generalmente baja, dependiendo del tipo de adhesivo a utilizar.

8.1.5. UNIÓN DE MADERA Y METAL

La unión de la madera con metal es totalmente distinta a la unión de madera con madera. Esta unión requiere de un estudio previo sobre las características de los elementos a unir, puesto que la madera y el metal son materiales distintos. Habrá que tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ La madera presenta cambios volumétricos debido a la humedad, mientras que el metal permanece inalterable dimensionalmente.
- ✓ La madera es un material que presenta una acusada polaridad en sus moléculas, mientras que el metal es un material no polar.
- ✓ Cuando se aplica el adhesivo al elemento, el metal se dilata, en cambio la madera generalmente se contrae debido a la pérdida de humedad de esta.

8.2. UNIONES METÁLICAS

El cuadro normativo europeo da información, pliego de condiciones y requisitos para evaluar y calcular piezas de uniones para la madera. Además, con el marcado CE, los productos van a ser evaluados según un reglamento común para toda Europa.

8.2.1. DEFINICIÓN

Son elementos metálicos, generalmente de acero, que se hincan, insertan o atornillan en las piezas de madera que constituyen la unión. La transmisión de fuerzas se realiza por medio de un trabajo a flexión, cizallamiento o aplastamiento del medio de unión y de la madera, pudiendo en esta producirse hendimiento.

Las fijaciones deben de ser sencillas, obtenerse con la mínima pérdida de material, ofrecer seguridad suficiente para su uso y ser de rápida ejecución.

8.2.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA DE LA UNIÓN

El éxito de la unión está asociado a varios factores. Los siguientes afectan directamente la resistencia de la fijación mecánica:

Resistencia de la especie de madera

La resistencia de la unión va a depender de la resistencia de la madera utilizada, es decir, dependerá de la densidad de la especie.

Cargas admisibles

Hace referencia a la capacidad de carga de un elemento de unión para una fijación dada, obtenida de un ensayo normalizado, considerando un coeficiente de seguridad con respecto a la carga característica.

Sección transversal crítica

La sección transversal crítica de una pieza es la que presenta tensiones de trabajo máximas, en sentido perpendicular al eje longitudinal (*figura 130*). Hay que tener en cuenta el buen diseño a la hora de colocar las fijaciones, dependiendo de la situación a la que este enfrentado.

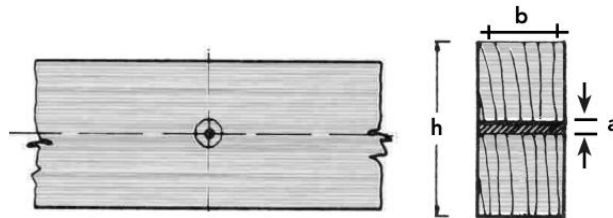


Figura 130: Sección transversal neta de la unión para una pieza con un perno.

Fuente: cttmadera.cl

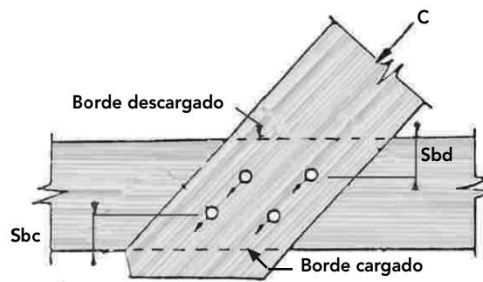
Dirección de la carga respecto a la fibra

Para determinadas fijaciones, el ángulo formado por la dirección de las cargas y la dirección de las fibras, influye en la determinación de las cargas de diseño.

Distancias en los bordes

Hace referencia a la separación entre el centro de los elementos de fijación y el borde contiguo, de tal manera que sea capaz de resistir el esfuerzo para el cual se ha calculado (*figura 131*). Se puede medir en dirección paralela o perpendicular a la fibra.

Con respecto a los bordes encontramos: bordes cargados y los bordes descargados. El borde cargado de una pieza (bc), es aquel que se encuentra afectado por la acción de una fuerza transmitida por el elemento de fijación; mientras que el borde descargado (bd), es aquel que no se encuentra afectado por la acción del elemento de fijación.

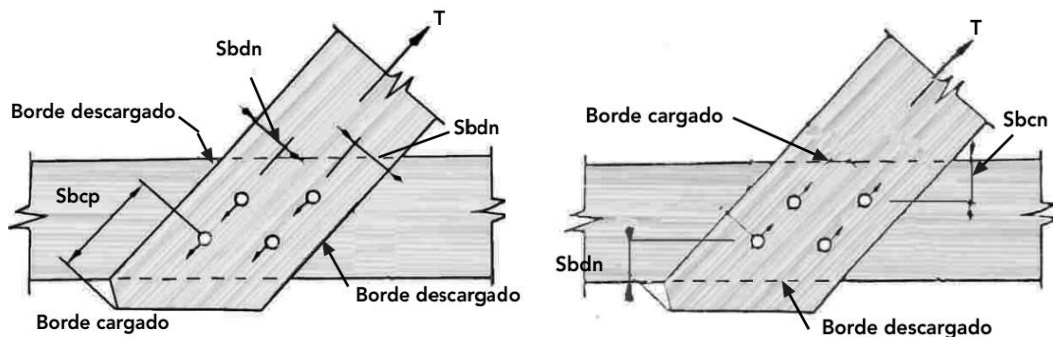


Sbc: separación borde cargado
Sbd: separación borde descargado

Figura 131: Separación mínima entre un elemento de unión y el borde contiguo.
Fuente: cttmadera.cl

Con respecto a las piezas, tenemos piezas solicitantes y piezas solicitadas. La pieza solicitante es aquella cuyo eje coincide con la dirección de la fuerza a transmitir a la unión; mientras que la pieza solicitada es aquella cuyo eje difiere con la dirección de la fuerza en el punto de unión.

Cuando en un nudo la pieza solicitante trabaja a tracción, la fijación en esta produce una fuerza opuesta al sentido de la tracción; en cambio, en la pieza solicitada, la acción de la fuerza en la fijación actúa en el mismo sentido que la tracción (*figura 132*).



Sbcp: separación borde cargado en sentido paralelo a la carga
Sbdp: separación borde descargado en sentido paralelo a la carga
Sbcn: separación borde cargado en sentido normal a la carga
Sbdn: separación borde descargado en sentido normal a la carga

Figura 132: Unión traccionada de la pieza solicitante y solicitada.
Fuente: cttmadera.cl

Cuando en un nudo la pieza solicitante trabaja a compresión, la fijación en esta produce una fuerza que actúa en sentido contrario a la compresión, mientras que en la pieza solicitada el elemento de fijación ejerce una fuerza que actúa en el mismo sentido que la compresión (*figura 133*).

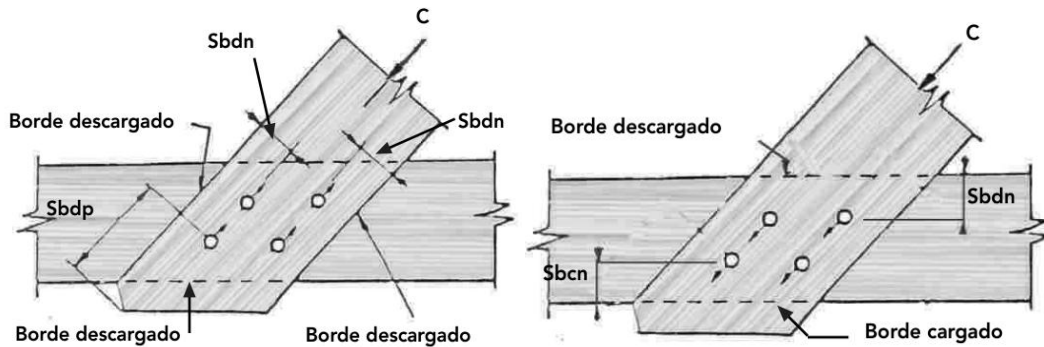


Figura 133: Unión comprimida de la pieza solicitante y solicitada.

Fuente: cttmadera.cl

Las distancias entre los elementos de unión y los elementos de unión con los bordes vienen definidos en el DB SE-M, tabulados distintamente dependiendo del tipo de sistema.

Excentricidad

Los elementos de fijación deben de colocarse simétricamente con respecto al eje de la pieza solicitante y debe intentarse que los ejes de las barras sean concéntricos (figura 134).

Cuando se producen excentricidades, la unión debe de resistir tanto el esfuerzo de la carga como el momento producido por la excentricidad.

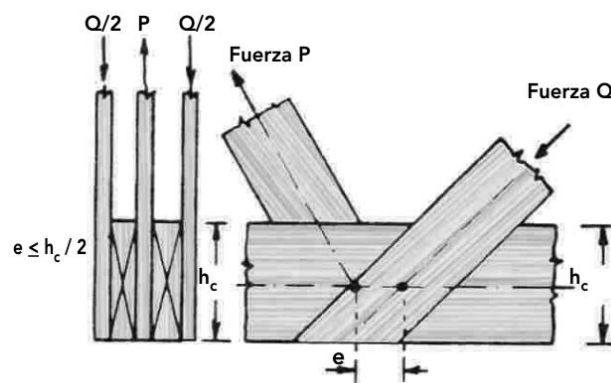


Figura 134: Unión de barras excéntricas.

Fuente: cttmadera.cl

Grupos de fijaciones

Los elementos de unión se dispondrán dependiendo de la situación de las barras y la dirección de la carga. La más habitual es en forma de hilera (figura 135), en la que hay que tener en cuenta que no todos los elementos de fijación reciben la misma carga. Los situados en los extremos están más solicitados que los intermedios.

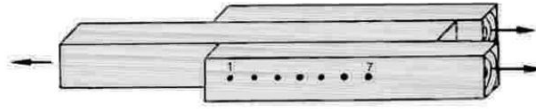


Figura 135: Unión en hilera.

Fuente: cttmadera.cl

Factores de modificación

Están relacionados con la duración de la carga, distancia entre los elementos de unión, contenido de humedad, longitud de hilera, función del elemento de unión y la profundidad de penetración. Dependiendo del tipo de unión se aplicaran uno u otros factores, como por ejemplo a los pernos y pasadores no se les aplica la profundidad de penetración.

Deslizamiento de la unión

Determina la rigidez del medio de unión. Tiene lugar el corrimiento de la unión cuando la carga hace un aplastamiento de la madera a través de la fijación, dando lugar a un hueco mayor que cuando cesa la carga queda la fijación ligeramente suelta.

8.2.3. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UNIONES METÁLICAS

Según su sistema de fabricación, las uniones metálicas pueden clasificarse en dos grandes grupos: elementos metálicos estandarizados y elementos metálicos no estandarizados.

Todos los elementos de unión para utilización estructural deberán de presentar el marcado CE.

8.2.3.1. ELEMENTOS METÁLICOS ESTÁNDAR

Son aquellos elementos metálicos que se fabrican en serie siguiendo un modelo común con unas medidas específicas de acuerdo a una norma aprobada. Presentan grandes ventajas en la comercialización, como que se pueden encontrar estos mismos elementos en las distintas casas de fabricantes, permite la utilización compaginada con otros elementos que estén estandarizados, suelen presentar menos problemas a la hora de su colocación y respuesta del trabajo una vez colocado ya que están diseñados bajo un estudio previo, etc.

Dentro de los elementos metálicos estándares para la MLE podemos encontrar los clavos o puntas, tornillos, tirafondos, pernos, pasadores, conectores y anillos.

CLAVOS O PUNTAS

Los clavos o puntas son piezas metálicas, normalmente de acero, con forma alargada y delgadas que sirven para fijar y asegurar piezas de madera mediante el clavado. Formado por la cabeza, la caña y la punta.

La cabeza puede ser de varios tipos: plana, cónica, perdida o redonda.

La caña puede ser: lisa, acanalada, en espiral o arponado.

La punta puede ser: común, aguda, roma o despuntada.

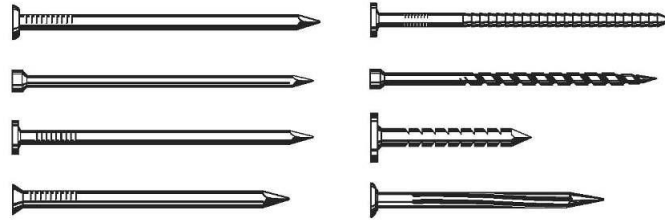


Figura 136: Tipos de clavos variando la cabeza, el caño y la punta.
Fuente: miconstruquia.com

Se utilizan cuando los elementos de madera que concurren en un nudo son piezas de pequeño espesor, organizando su unión en planos simétricos. Las normas de ejecución que deben cumplir las uniones clavadas hacen referencia a que la disposición de los clavos sea contrapeada para evitar que la madera se abra si están todos dentro de la misma fibra (*figura 137: primera imagen*), que los clavos se coloquen con una ligera inclinación para evitar que se vaya perdiendo presión en la junta (*figura 137: segunda imagen*), que se utilicen clavos finos cuando más dura es la madera, y en el caso de que los clavos deban de quedar remachados debido a que traspasen todo el espesor de la madera, estos deberán sobresalir 3 veces su diámetro (*figura 137: tercera imagen*).

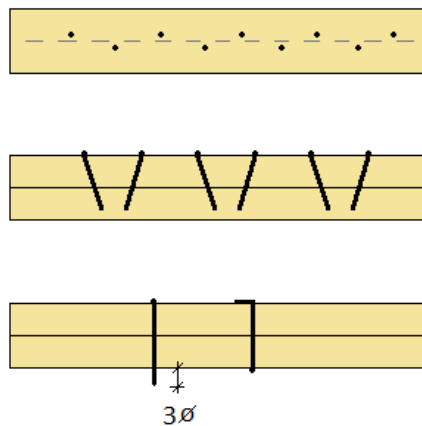


Figura 137: Normas de ejecución que deben de cumplir las uniones clavadas.
Fuente: propia

Se normalizan, designándose, por su longitud en milímetros, por su espesor en décimas de milímetro y por su forma de cabeza.

TORNILLOS Y TIRAFONDOS

Los tornillos (*figura 138*) son un medio de unión que ofrece mayor garantía que los clavos. Los más empleados son los de cabeza ranurada o en forma de cruz y caña roscada que permite crear sus

propias contrarroschas. La colocación ha de realizarse por rotación, nunca por golpe, y en un orificio previamente realizado con barrena de diámetro inferior al tornillo.

La cabeza pueden ser: plana, esférica o bombeada.

Los tornillos pueden ser ordinarios o de alta resistencia, utilizándose en madera los tornillos ordinarios ya que tienen más resistencia que la madera.



Figura 138: Tornillos y atornillador eléctrico automático.

Fuente: esacademic.com

Los tirafondos (figura 139) son tornillos de gran tamaño, con rosca de paso ancho y cabeza cuadrada o hexagonal. La introducción se realizara por rotación en un orificio previamente realizado con barrena de diámetro menor de $0,7D$, siendo D el diámetro del tirafondo.



Figura 139: Tirafondo.

Fuente: varillaroscada.com

PERNOS

Los pernos (figura 140) son herrajes de forma de cilíndrica que atraviesan las piezas de madera que unen. Por un lado presenta una cabeza generalmente de forma hexagonal, y por el otro una rosca donde se colocara una tuerca. Los pernos, además de trabajar a cortante, trabajan principalmente a tracción, comprimiendo las piezas que unen, por lo que deben de colocarse arandelas entre las tuercas y la madera para repartir mejor el esfuerzo y no dañarla. Las arandelas deberán de tener una superficie y un espesor mínimo en función del diámetro del perno.

La unión con pernos debe de respetar las siguientes condiciones: el diámetro del perno debe de ser mayor que $1/6$ del espesor de la pieza de madera más delgada, el espesor de la pieza más delgada debe de mayor que la mitad de la pieza más gruesa, y la anchura mínima de la pieza será mayor que seis veces el diámetro del perno.

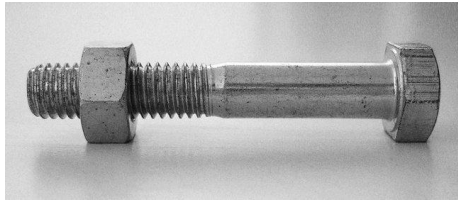


Figura 140: Perno.

Fuente: esacademic.com

PASADORES Y CLAVIJAS

Los pasadores (*figura 141*) son piezas cilíndricas de gran tamaño que atraviesan las piezas de madera a unir, introducida de manera ajustada y a presión. Al contrario que los pernos, no tienen cabeza, tuerca ni arandelas. En algunos casos pueden presentar en los extremos una pequeña rosca, pero generalmente son introducidos en el orificio sin ningún tipo de elemento en los extremos, ya que estas piezas trabajan a cortante.

Sus ventajas radican en una mayor eficacia en la transmisión de los esfuerzos con menores deformaciones, y la estética, ya que quedan prácticamente ocultos.



Figura 141: Pasadores metálicos.

Fuente: alibaba.com

Las clavijas o cabillas (*figura 142*) son vástagos de madera de sección circular o cuadrada que se introducen a golpes en el interior de un orificio practicado anteriormente. Una vez que son introducidos en el interior de los orificios se les ensanchan las cabezas de los extremos mediante golpes con una maza y, a continuación, se introduce en el centro del vástago un pequeño clavo que abre las fibras creando una mayor presión. Estéticamente son casi inapreciables.



Figura 142: Clavijas de madera

Fuente: spanish.alibaba.com

CONECTORES

Los conectores, también llamados llaves o tacos, están sometidos a esfuerzos de compresión y cortante. Los conectores pueden colocarse alojados en cavidades previamente realizadas o bien pueden ser incrustados, sin previa preparación de la madera, mediante presión.

Los conectores se pueden clasificar en: macizos, anulares o de presión.

Conectores macizos

Es necesario realizar unas cajas en las piezas de madera para poder alojarlos luego en su interior. Pueden ser de varios tipos:

Macizos de madera dura u otro material.

Entre estos destacamos las llaves con forma de doble tronco de cono, llamadas tacos Kübler, que entran a presión en las cajas previamente realizadas quedando bien apretadas contra las piezas de madera. Estos conectores tienen un hueco central por el que se introduce posteriormente el perno para asegurar la presión entre las piezas.

Llaves macizas de Greim o disco de garras.

Está formado por dos discos dentados en su periferia, en el cual uno de ellos tiene un cilindro que encaja en el disco enfrentado. Para su alojamiento se realizan las cavidades con forma inversa a las llaves y posteriormente se asegura con pernos pasantes.

Conectores anulares

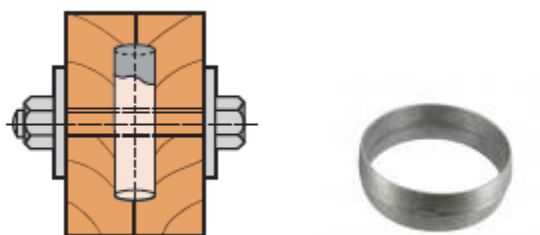
También llamados llaves de anillo, son refuerzos metálicos con forma de anillo que se introducen en una ranura realizada con anterioridad. Tienen la ventaja de que queda asegurada la presión entre el conector y la madera cuando esta presenta variaciones de forma cuando esta solicitada a un esfuerzo. El contacto entre las láminas de madera se asegura con pernos. Suelen ser de acero y se fabrican con diámetros de 10 a 30 cm y 2 a 6 cm de ancho. Entre estos podemos destacar:

Llaves Tuchscherer y las llaves Locher

Con forma de anillo abierto

Llaves Appel (figura 143)

Con forma de anillo cerrado



*Figura 143: Llave appel.
Fuente: catálogo Simpson*

Conectores de presión

Son placas metálicas, con forma generalmente circular, que tienen en su periferia unos dientes que se empotran en la madera bajo presión. Entre estos podemos destacar:

Placas Bulldog (*figura 144*)

Tienen dientes a lo largo de su perímetro y pueden ser con forma cuadrada, redonda u ovalada.

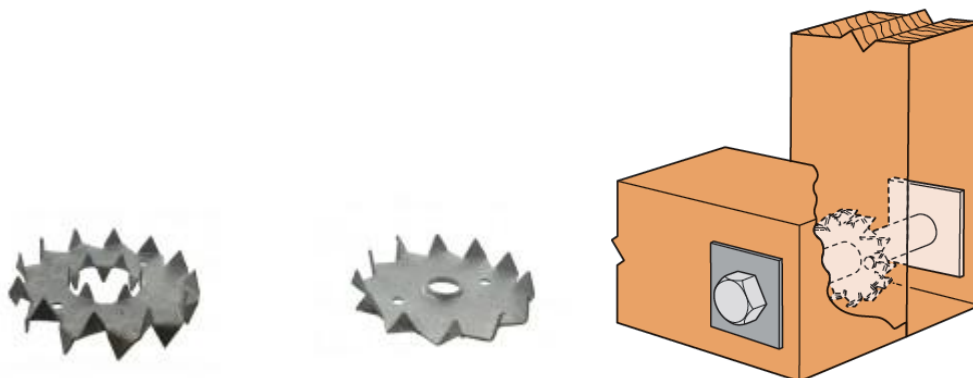


Figura 144: Placas Bulldog con dientes en una y ambas caras.

Fuente: catálogo Simpson

Placas Aligátor (*figura 145*)

Son conectores de aro con dientes redondeados. En el caso de que no sea suficiente el esfuerzo de un conector, se podrán disponer otros de distinto diámetro concéntricamente.

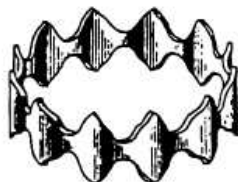


Figura 145: Placas Aligátor.

Fuente: catálogo Simpson

Placas Geka (*figura 146*)

Consta de un disco dispuesto de puntas redondas que actúan a modo de clavos incrustándose en la madera. Es la más utilizada debido a su fácil colocación ya que no requiere grandes esfuerzos para clavarlas, al contrario que las otras placas. En el caso de maderas blandas el disco se incrusta mediante la presión del perno, mientras que al tratarse de maderas duras debe de realizarse un fresado de antemano para su alojamiento.

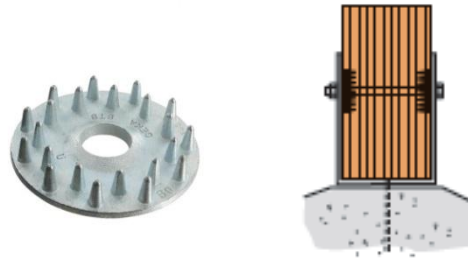


Figura 146: Placas Geka.

Fuente: catálogo Simpson

PLACAS DENTADAS

Son placas de al menos 1 mm de espesor nominal que tiene un sistema de dientes distribuido por toda su superficie que se encuentran perpendicularmente con la plancha, con una misma dirección y sentido. Las placas deben de colocarse a modo de cubrejuntas por ambos lados de la unión, siendo éstas del mismo tamaño y dispuestas simétricamente. El hincado se realiza con una prensa para hacer penetrar simultáneamente los dientes, y la madera ubicada bajo la placa no debe de presentar nudos sueltos ni otros defectos. El espesor de la madera a unir debe de ser mayor del doble de la longitud de los dientes. En la *figura 147* se muestra la colocación de las placas que unen los distintos elementos de una cercha en el que todos los ejes van sobre el mismo plano.

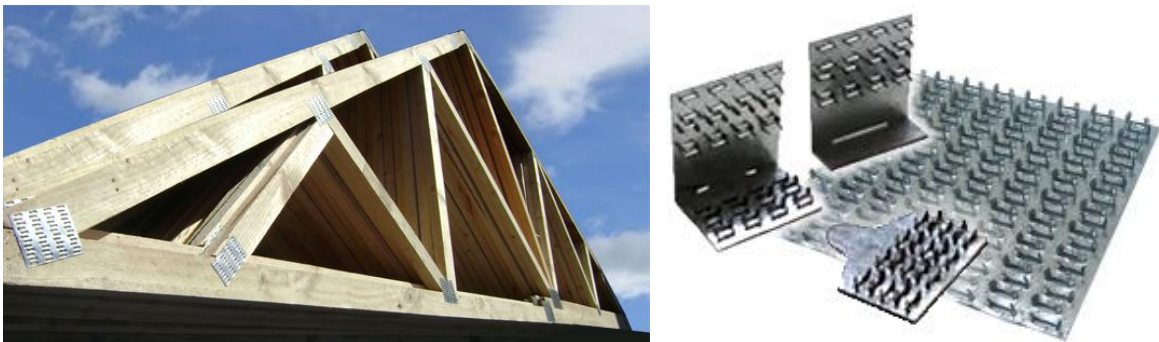


Figura 147: Detalle de unión con placas dentadas.

Fuente: mbschile.com

ESTRIBOS

Son sistemas metálicos, generalmente de acero galvanizado, para la unión de viga-viga, viga-correa o viga-pilar. Los estribos pueden ser vistos u ocultos. Según su fijación puede ser de clavado total, clavado parcial o clavado sobre hormigón o acero. En el caso de clavado total todas las perforaciones de menor diámetro son utilizadas para la sujeción con puntas (*figura 148: imagen de la derecha*), mientras que en el parcial permite disminuir el número de puntas dependiendo del esfuerzo al que este solicitado en nudo (*figura 148: imagen central*). Por otro lado, cuando la unión se realiza sobre hormigón o acero se utilizaran los diámetros mayores por donde se introducirán unos pernos (*figura 148: imagen de la izquierda*).

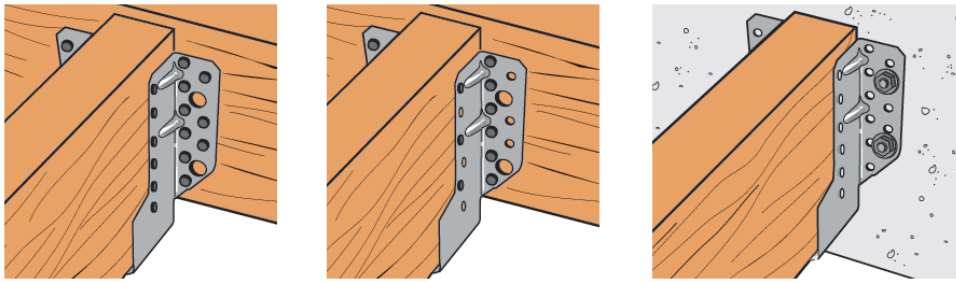


Figura 148: Fijación con estribos sobre soporte.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos con alas exteriores (figura 149)

Las alas se encuentran a la vista. Tienen una placa que pasa por debajo de viga para mayor seguridad y facilidad de colocación. Su utilización permite responder a casos particulares como las ensambladuras en cuña.

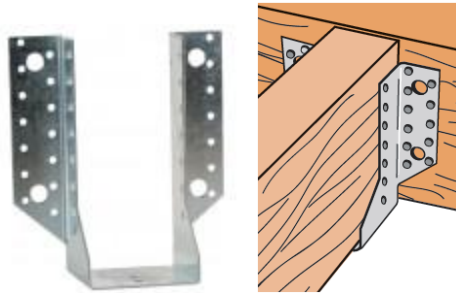


Figura 149: Estribo con alas exteriores.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos con alas interiores (figura 150)

Es una variante de la anterior, pero con la diferencia de que las alas quedan ocultas por la viga que sustenta, proporcionándole mayor discreción a los herrajes. No presenta ninguna ventaja con respecto a las alas externas exceptuando la estética.

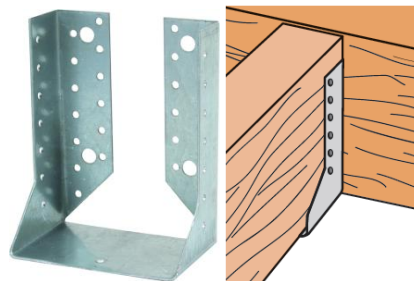


Figura 150: Estribo con alas interiores.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos con ala interior y ala exterior (figura 151)

Es otra variante de las anteriores en la que un ala es vista y la otra permanece oculta. Este diseño es aplicado para el sostén de piezas que se encuentran en los extremos.

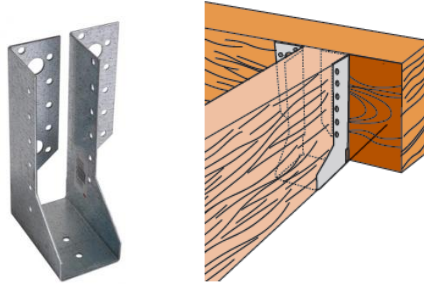


Figura 151: Estribo con ala interior y ala exterior.
Fuente: catálogo Simpson

Estribos con pendiente regulable (figura 152)

Estos estribos permiten adaptarse a la pendiente de las piezas que recibe con respecto a su soporte. Permite el agarre a piezas con inclinación hasta 45° por arriba y por abajo con respecto a la perpendicular del plano soporte. El reglaje se realiza en obra para mayor precisión. Son muy empleadas en cubiertas, donde se necesita darle una cierta pendiente a la estructura para la evacuación de aguas pluviales.

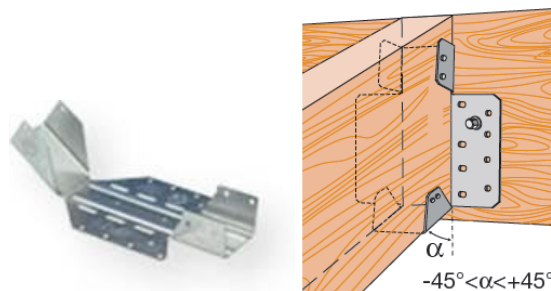


Figura 152: Estribo con pendiente regulable.
Fuente: catálogo Simpson

Estribos Cantilevers (figura 153)

Son empleados para la unión de dos piezas por las testas y se colocan en las zonas donde el momento de flexión es nulo para resistir el máximo esfuerzo cortante. Son utilizados para correas fuertes.

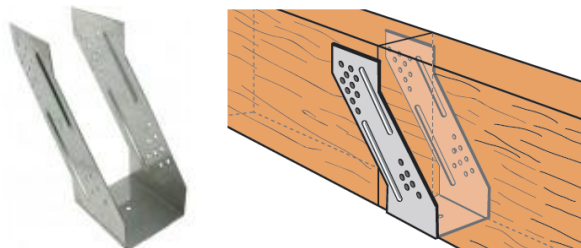


Figura 153: Estribo Cantilevers.
Fuente: catálogo Simpson

Estribos con ángulo (figura 154)

Son desarrollados para resolver uniones en los casos en que las piezas se encuentren formando un cierto ángulo entre ellas. Generalmente se utilizan para aplicaciones horizontales pero pueden ser ajustados a otras utilidades.

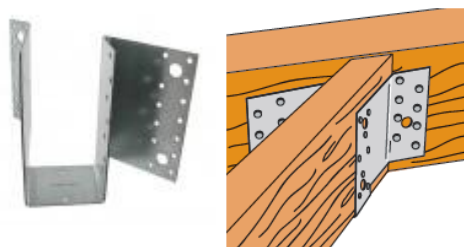


Figura 154: Estribo con ángulo

Fuente: catálogo Simpson

Estribos dos elementos (figura 155)

Estos estribos permiten adaptarse a las secciones de madera cuya anchura exceda de las habituales, debiendo tener como mínimo 60 mm.



Figura 155: Estribo de dos elementos.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos con tirantes (figura 156)

Se utilizan cuando la fijación va a estar expuesta a cargas importantes, por lo que presenta mayor superficie para la fijación. En general son empleadas para el apoyo de cerchas o estructuras trianguladas.

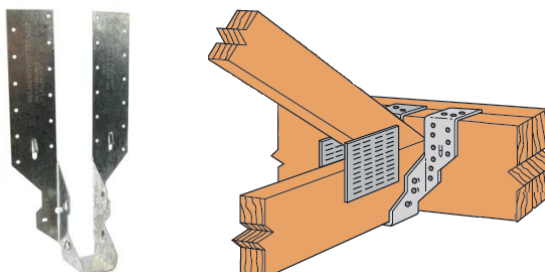


Figura 156: Estribo de tirantes.

Fuente: catálogo Simpson

Conexión viga-pilar (figura 157)

Permiten la unión entre vigas y pilares. Su diseño es diferente dependiendo de si se trata de un pilar central o un pilar extremo.

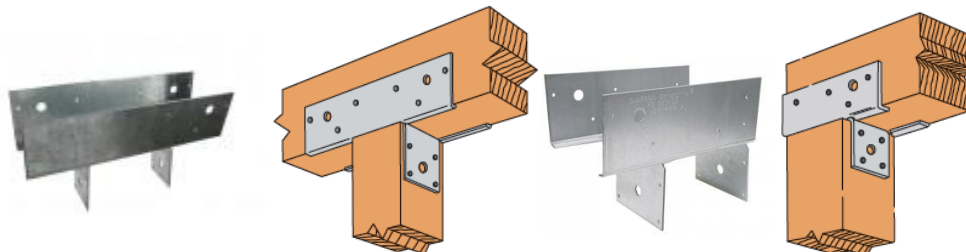


Figura 157: Estribo de conexión viga-pilar.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos con alma interior (figura 158)

Permiten una ensambladura prácticamente discreta. El talón en la parte inferior posiciona el estribo con relación a la madera, facilitando el montaje de las clavijas.

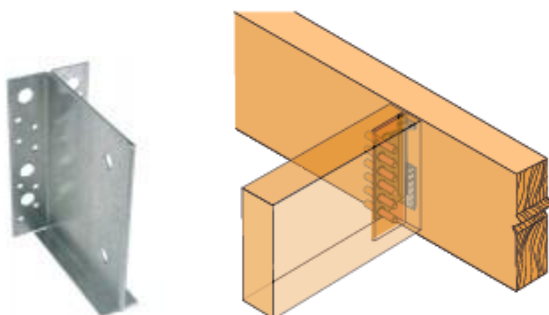


Figura 158: Estribos con alma interior.

Fuente: catálogo Simpson

Estribos tipo cola de milano (figura 159)

Permite una ensambladura totalmente discreta, reproduciendo la ensambladura tradicional de cola de milano pero sin sus inconvenientes. Es aconsejable su precolocación en taller para una colocación rápida en obra.

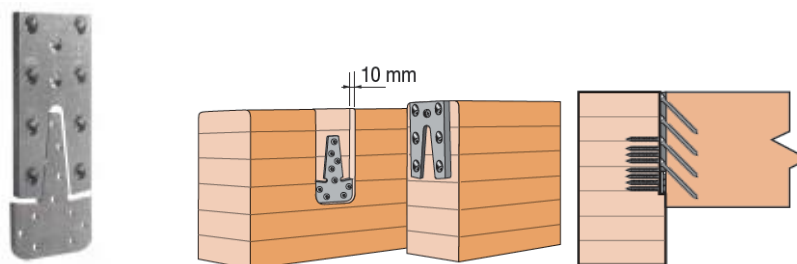


Figura 159: Estribos tipo cola de milano.

Fuente: catálogo Simpson

ESCUADRAS

Las escuadras (*figura 160*) son elementos metálicos, generalmente de acero, que se utilizan para la unión de piezas perpendiculares entre ellas en la que el herraje no está sometido a ningún esfuerzo, es decir, simplemente mantiene la posición del elemento. Consiste en una pletina que forma un ángulo de 90° en la que un ala se fija al soporte y la otra se fija al elemento de unión. Se deben colocar a ambos lados de la unión y dispuestas simétricamente, debiendo utilizarse el mismo tipo de escuadra.

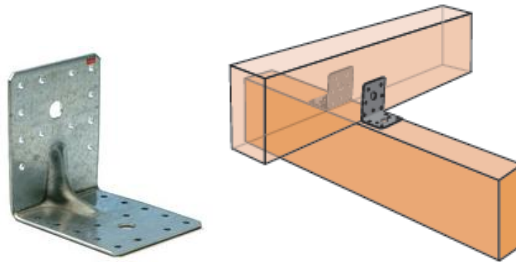


Figura 160: Escuadras.

Fuente: catálogo Simpson

PIES DE PILAR

Los pies de pilar son elementos metálicos, generalmente de acero, que reciben las cargas del pilar y las transmiten al suelo. Elevan a la madera para proporcionarle mayor durabilidad. Los pies metálicos se fijan a la madera mediante tornillos, tirafondos o pasadores, y en el suelo de hormigón se fijan con pernos. Deben de tener las dimensiones apropiadas para que las fijaciones queden a una distancia mínima del borde del pilar, y deberán colocarse de forma concéntrica a base para repartir mejor el esfuerzo y que no se produzca momento.

Pueden clasificarse en fijos o regulables, y dentro de esta clasificación existe una amplia gama de productos con diferentes diseños, en los que destacan los pies en forma de U y los pies con alma interior.

Pies fijos (*figura 161*)

Tienen una altura fija, dependiendo del modelo, para recibir el pilar.

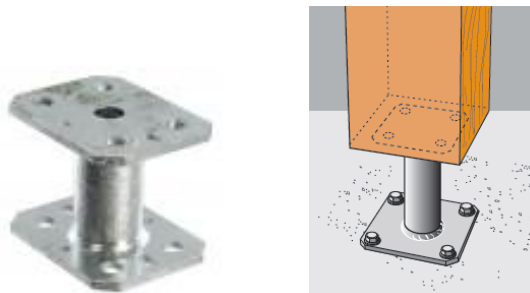
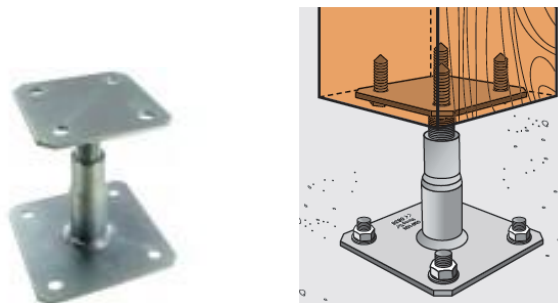


Figura 161: Pie fijo.

Fuente: catálogo Simpson

Pies regulables (figura 162)

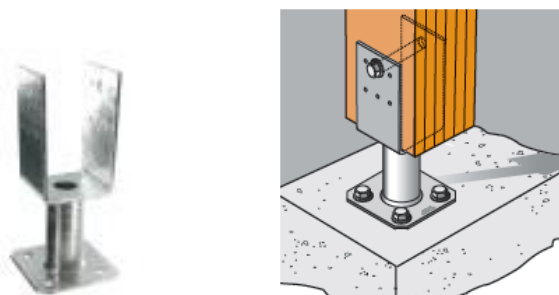
Son regulables en altura y permiten ser regulados en obra, lo que supone una gran ventaja con respecto a los pies fijos.



*Figura 162: Pie regulable.
Fuente: catálogo Simpson*

Pies en U (figura 163)

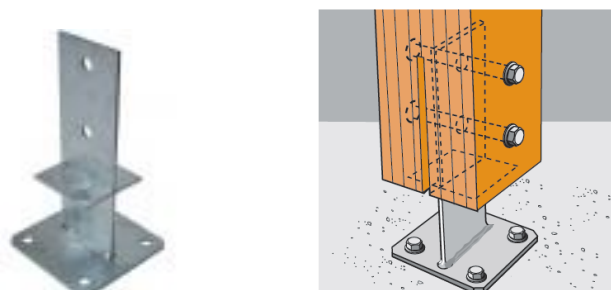
Envuelve el pilar por ambas caras opuestas permitiendo la introducción de pasadores.



*Figura 163: Pie en U.
Fuente: catálogo Simpson*

Pies con alma interior (figura 164)

El alma queda colocada en el interior del pilar en una ranura hecha de antemano. La fijación solo es posible con pasadores que atraviesen el pilar de lado a lado atravesando el alma metálica.



*Figura 164: Pie con alma interior.
Fuente: catálogo Simpson*

8.2.3.2. ELEMENTOS METALICOS NO ESTANDAR

PLETINAS, CHAPAS Y HERRAJES

Son aquellos elementos metálicos que se fabrican dependiendo de las medidas del proyecto en los elementos a unir (*figura 165*). Estos elementos especiales resultan de una concepción específica, son destinados a una obra específica, responden a una necesidad no estandarizada y son objetos de una producción específica, por lo que no pueden tener el marcado CE. La responsabilidad recaerá sobre el fabricante.

Al ser fabricadas de manera especial deberán encargarse a través de planos muy detallados de la pieza, donde se indicará el espesor, diámetro de perforaciones, tipo de acabado, ángulo, pendiente, cantidad de piezas deseadas y el plazo de entrega.



Figura 165: Elementos metálicos no estándar.

Fuente: google.es

VENTAJAS E INCONVENIENTES

Las estructuras de MLE nacieron para conseguir realizar construcciones que con otros materiales de construcción sería muy complicado de ejecutar, llegando a conseguir estructuras de grandes dimensiones y gran belleza. Como es lógico, como todo material de construcción no solo son ventajas, sino que va acompañado de una serie de inconvenientes.

En este apartado vamos a citar las ventajas e inconvenientes que presentan la madera laminada encolada con respecto de otros materiales utilizables en la construcción. Algunas de estas características pueden ser comunes en ambos casos; es decir, una cualidad puede proporcionar tanto una ventaja como un inconveniente.

No obstante, no vamos a describir ampliamente cada uno de los apartados puesto que ya están desarrollados en los temas anteriores; sino que vamos a mencionarlos y situarlos en uno u otra a buen juicio.

9.1. VENTAJAS

Las estructuras de madera laminada encolada presentan mayor número de ventajas que de contras. A continuación se mencionan las más significativas:

- ✓ **Piezas de grandes dimensiones.** Las MLE presenta una alta capacidad portante y un bajo peso propio con respecto al resto de materiales de construcción.
- ✓ **Buen comportamiento a flexión y compresión.** La madera presenta buenos comportamientos mecánicos en función de cómo se apliquen las cargas con respecto a las fibras.
- ✓ **Buen aislamiento térmico.** La madera, debido a su estructura anatómica y composición, presenta un muy bajo grado de conductividad térmica.
- ✓ **Buena resistencia al fuego,** debido a su baja conductividad térmica.
- ✓ **Buen aislamiento eléctrico.** Por las mismas razones que presenta un buen aislamiento térmico; aunque estos varían en función del contenido de humedad.
- ✓ **Estabilidad dimensional.** La madera posee una estabilidad dimensional muy buena en el sentido longitudinal con respecto a otros materiales como el acero y el hormigón.

- ✓ **Libertad de formas.** La MLE puede curvarse mediante procesos de humidificación y secado, lo que permite una amplia libertad de diseño en la estructura, [figura 166](#).



*Figura 166: Ejemplo de libertad de formas de la MLE., Metropol Parasol de Sevilla.
Fuente: minube.com*

- ✓ **Material resistente.** La MLE con un tratamiento de protección adecuado es un material muy resistente a los agentes degradadores, siendo ideal su utilización en almacenes de materiales corrosivos como fertilizantes, sal o ácidos.
- ✓ **Necesita bajo nivel de mantenimiento.** La madera correctamente tratada es un material que no necesita mantenimiento, lo que libera a los propietarios de futuras labores de conservación. Del mismo modo, la MLE es uno de los materiales estructurales más fiables, puesto que envejece sin sufrir alteraciones de sus propiedades y en el caso de deterioros se aprecian a simple vista.
- ✓ **Buenas propiedades acústicas.** La madera es un material que reduce notablemente el tiempo de reverberación de un local.
- ✓ **Alto nivel de control del proceso de fabricación.** Los procesos de fabricación de madera laminada están sometidos a multitud de controles que nos van a garantizar la calidad de las piezas.
- ✓ **Rápida ejecución y montaje en obra,** debido a que las piezas vienen realizadas de fábrica, tan solo hay que colocarlas en obra y el montaje es relativamente sencillo. La rapidez de montaje, sin grandes imprevistos, permite cumplir los plazos de entrega de la obra; mientras que en el caso de estructuras de hormigón armado, el hormigonado va a depender en gran medida de las condiciones atmosféricas.
- ✓ **Calidad estética.**
- ✓ **Producto ecológico.** Contribuye a la protección del medio ambiente.

9.2. INCONVENIENTES

La utilización estructural de la madera laminada encolada presenta pocos inconvenientes, entre los que podemos citar:

- ✓ **Requerimiento de mano de obra especializada.** Para la fabricación de la MLE se requiere de mano de obra especializada así como maquinaria y medios necesarios para lograr la unión y endurecimiento de las vigas, así como un espacio de almacén de grandes dimensiones.
- ✓ **Necesidad de ser tratada.** Debido a su naturaleza orgánica, la madera tienen que ser tratada para evitar su degradación por los agentes externos.
- ✓ **Mayor coste.** Con respecto a la madera maciza es más costoso debido al adhesivo empleado y a los procesos de fabricación.
- ✓ **Estabilidad dimensional.** La madera es inestable dimensionalmente debido a la higroscopicidad, es decir, a la propiedad de absorber o ceder humedad del ambiente en el que esté ubicado.
- ✓ **Transporte complicado.** Estas piezas al ser fabricadas en taller necesitan ser transportadas a la obra. Generalmente, las piezas de MLE se utilizan para cubrir grandes luces, lo conlleva piezas de grandes dimensiones que dificultan y encarecen el transporte.



PARTE 2:
ESTUDIO DE LA CUBIERTA
DEL BALNEARIO DE CUNTIS



PARTE 2:
ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL
BALNEARIO DE CUNTIS

A/01

MEMORIAS

B/01

PLANOS

**PARTE 2:
ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL
BALNEARIO DE CUNTIS**

A/01

MEMORIAS



CAPITULO

1

ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL BALNEARIO DE CUNTIS

OBJETO

Con la presente memoria y los siguientes documentos del proyecto se pretende realizar un ejemplo que nos dé una idea lo más exacta posible de los elementos y características necesarias para la construcción de una estructura de MLE en un balneario. Se realizara una comprobación del correcto dimensionamiento de la estructura ante las sollicitaciones a las que está expuesta.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL SOLAR

El balneario está situado sobre la parcela que se encuentra en la Calle del Balneario, ayuntamiento de Cuntis (Pontevedra). Según datos aportados por la propiedad, la parcela tiene una superficie de 1,27 hectáreas, sobre la que se sitúa el balneario, el aparcamiento y las zonas verdes.

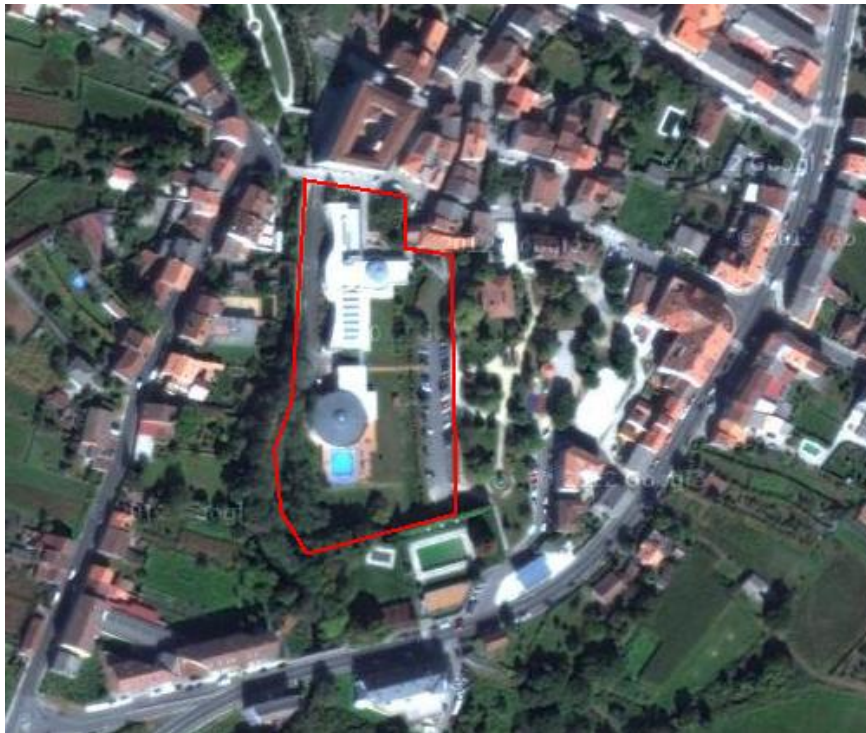


Figura 167: Vista aérea del solar, señalado en color rojo.

Fuente: maps.google.es

2.2. DESCRIPCIÓN DEL BALNEARIO

El edificio del balneario está dividido en dos partes: la zona principal y el Acquaform.

La zona principal está proyectada atendiendo a la zona de recepción y visitas, zonas de tratamiento termal, zonas de programas de estética, etc.

El Acquaform es una zona lúdico-termal que comprende dos piscinas, una piscina cubierta y una piscina exterior.

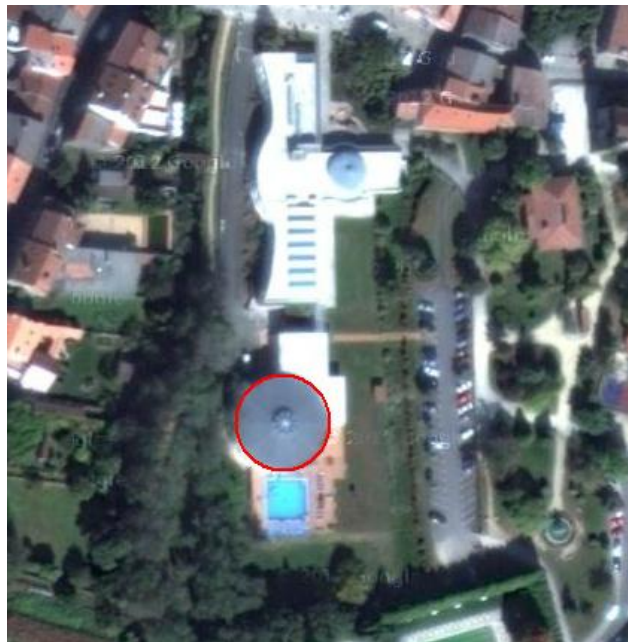


Figura 168: Vista aérea del Acquaform, señalado en color rojo.

Fuente: maps.google.es

Sobre la construcción que resguarda la piscina interior, el Acquaform, realizaremos nuestro estudio. Este modulo presenta una planta circular 28 metros útiles de diámetro, medidos sobre la cara interior del muro. El muro es de hormigón armado y presenta unos salientes a modo de pilastras sobre los que se apoya uno de los extremos de las vigas que sostienen la cubierta. Se trata de una cubierta ligera apoyada sobre una estructura de MLE. Tiene una forma cónica y en la parte alta presenta un lucernario de grandes dimensiones para la entrada de luz natural.



Figura 169: Vistas aéreas en helicóptero del Acquaform.

Fuente: proyectosbroarquitectura.blogspot.com.es

2.3. DATOS DE INTERÉS

Como se trata de un balneario, el agua utilizada para las piscinas es agua termal.

Las aguas termales, también conocidas en Galicia como “agua de las burgas”, provienen de manantiales situados a grandes profundidades donde permanecen en torno a 100 años, a altas temperaturas, disolviéndose entre los minerales de las distintas rocas, para luego emerger a la superficie a través de vetas, adquiriendo así una composición diferente a la del agua normal. Son aguas silicatadas, fluoradas, litínicas e hipertermales, que brotan a la superficie a elevadas temperaturas y son utilizadas en los balnearios por sus propiedades terapéuticas.

Esta agua presenta multitud de beneficios en el cuerpo humano pero suponen un gran problema para la durabilidad de ciertos materiales.

Al tratarse de una piscina interior de agua caliente a 35° C, se generan gran cantidad de vapor de agua. El vapor de las aguas termales acelera la corrosión de los metales con respecto al vapor del agua normal. Por este motivo los elementos metálicos serán de aluminio y de acero galvanizado, que ofrecen mayor resistencia a la corrosión, pero sin embargo, estos elementos al cabo de 4-5 años deberán de sustituirse por unos nuevos.

Algunos metales en contacto directo con el agua termal sufren una variación del color, como es el caso del oro común o amarillo que se vuelve de color plateado.

En las instalaciones y conductos de extracción el material utilizado es el PVC, ya que no sufre deterioro debido al vapor de esta agua.

Por otro lado, en las zonas de acristalamiento se utiliza el metacrilato debido a las variaciones térmicas entre el exterior y el interior, puesto que tiene menor coeficiente de transmisión y de dilatación térmica que el vidrio, pudiendo éste agrietarse debido a los cambios bruscos de temperatura.

3.1. ESTRUCTURA

El **muro perimetral** esta realizado con hormigón armado y tiene un espesor de 30 cm. Las pilastras que emergen del muro, para sostener la estructura de madera, tienen un espesor adicional de 35 cm, dotándole al muro un espesor total de 65 cm.

La estructura de la cubierta es de madera laminada GL28h, formada por láminas de madera aserrada de calidad C30 y de 40 mm de espesor. Presenta laminación horizontal y la orientación de las láminas es tal que las caras interiores miran todas en la misma dirección, ya que se trata de una clase de servicio 2.

El encolado de las láminas está realizado con resorcina-fenol-formaldehído (RPF).

Puesto que la estructura corresponde a la clase de uso 2, con un nivel de penetración de la madera NP1, el tratamiento de la madera está realizado con productos mixtos aplicados por pulverización superficial.

La estructura está formada por cinco vigas principales y otras cinco secundarias. Las **vigas principales** apoyan uno de sus extremos en el muro y el opuesto en un pilar situado en el centro del círculo circunscrito de la planta. Estas vigas tienen unas dimensiones de 15 cm de ancho, 70 cm de canto y 14 metros de longitud.

Las **vigas secundarias** apoyan uno de sus extremos en el muro y el otro apoya sobre una viga transversal que transmite las cargas a las vigas principales. Estas vigas tienen unas dimensiones de 15 cm de ancho, 54 cm de canto y 11 metros de longitud.

Las vigas principales y secundarias se disponen alternadas de forma radial.

Las **vigas transversales** tienen un ancho de 15 cm, un canto de 63 cm y una longitud de 4,54 metros.

Las **correas** son las encargadas de transmitir las cargas de la cubierta a las vigas. Todas ellas tienen un ancho de 13 cm y el canto y la longitud varía según su posición con respecto al centro, ya que debido a la disposición radial de las vigas, la luz de las correas aumenta con su distancia al centro. El canto de las tres correas más alejadas es de 30 cm, y tienen una longitud de 8,32 m, 7,50 m y 6,68 m respectivamente. Las siguientes tres correas tienen un canto de 23 cm y longitud 5,86 m, 5,04 m y 4,22 m. Dos correas más tienen de canto 15 cm y de longitud 3,40 m y 2,59 m. La última correa, la cual recibe las cargas del lucernario y a diferencia del resto de las correas, tiene un ancho de 15 cm, un canto de 25 cm y una longitud de 1,96 metros.

3.2. PILAR CENTRAL

Se trata de un pilar de hormigón armado, de sección circular de diámetro 45 cm y 6 metros de altura, situado en el centro de la circunferencia circunscrita por el recinto y que, como se ha indicado, sirve de apoyo a las vigas principales.

3.3. CUBIERTA

Sobre la estructura de madera descansan unos paneles tipo “thermochip”, que es un sistema de panel sándwich de madera para cubierta ligera. Estos paneles están formados por una cara exterior formada por un tablero de aglomerado hidrófugo de 20 mm, un núcleo aislante de espuma de poliestireno extruido de 80 mm, y una cara interior formada por tablas de friso de abeto de 13 mm, dispuestas en el sentido de la pendiente de la cubierta.

Para el ensamblado entre los paneles se coloca una lengüeta de tablero de fibra en el interior del núcleo aislante, fijados con clavos de acero inoxidable.

Estos paneles se fijan a las correas mediante tornillos autoroscantes de cabeza avellanada y van colocados a tresbolillo, alternando las juntas transversales entre paneles.

Cada panel tiene un ancho de 65 cm y una longitud de 2,52 metros para que descansa así sobre tres puntos de apoyo, que es lo que exigen los fabricantes, tal y como se muestra en la [figura 170](#).



Figura 170: Colocación de los paneles tipo “thermochip”.

Fuente: thermochip.com

Sobre los paneles tipo “thermochip” van colocados unas bandas impermeables autoadhesivas que aseguran la estanqueidad de la cubierta.

Como material de cobertura se utilizan láminas aluminio de 0,7 mm.

3.4. LUCERNARIO

El lucernario (*figura 171*) está formado por perfiles de aluminio lacado en color blanco de espesor 2 mm. Estos perfiles tienen una base de 40 mm y un canto de 80 mm, suficientes para resistir el peso del acristalamiento y la fuerza de las acciones meteorológicas.

El acristalamiento es de metacrilato de 15 mm de espesor.

Tiene ventanas proyectantes hacia el exterior para dar salida al vapor de agua producido por la piscina.

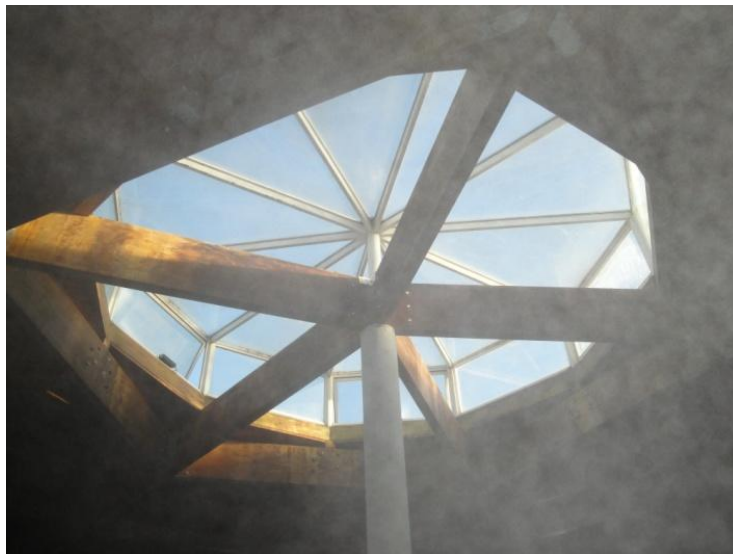


Figura 171: Lucernario visto desde el interior.

Fuente: propia

3.5. SISTEMAS DE UNIÓN

Las uniones de la estructura de MLE se realizan con herrajes metálicos de de acero galvanizado S250GD + Z275 según UNE EN 10326, en el que las dimensiones de las piezas vienen definidas en el *PLANO DE DETALLES DE UNIONES*.

Tanto las vigas principales como las vigas secundarias estarán sujetas a las pilastras mediante estribos que tienen una cara oculta que lo sujeta al muro. Estos estribos (*figura 172*) son herrajes estandarizados y solo tienen la función de mantener a la estructura en la posición en la que fue diseñada. En las alas laterales presenta unos orificios por donde se introducirán unos pernos metálicos con arandelas y tuercas dispuestas por ambos lados del perfil. La unión del estribo al muro se realiza con tirafondos introducidos por los orificios correspondientes.

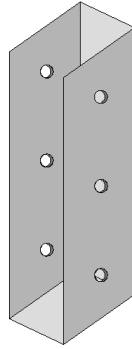


Figura 172: Estribo de unión viga-muro.

Fuente: propia

Las vigas principales se unen al pilar central mediante un elemento metálico no estandarizado, hecho a medida para resolver el detalle de la unión con disposición de las vigas en estrella. Este herraje (*figura 173*) está formado por una base circular con forma troncocónica de la que sale un soporte vertical cilíndrico sobre el que van soldadas cinco pletinas. Las pletinas se colocan en el interior de la viga a modo de alma interna, sobre la que se introducen tres pernos que atraviesan la pieza de lado a lado. Las vigas encajan arriba por unas chapas que aseguran su posición y van fijadas con cuatro clavos por ambos lados.

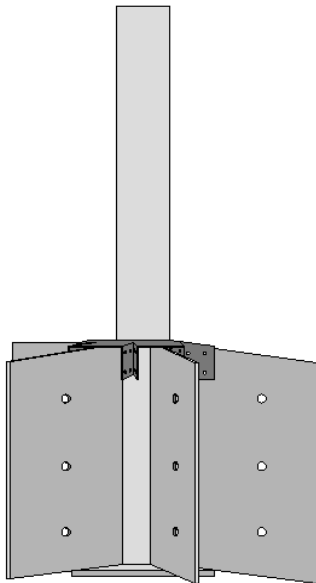


Figura 173: Estribo de unión viga-pilar.

Fuente: propia

El apoyo de las vigas secundarias a la viga transversal se realiza con un estribo con alma interna que tiene un ángulo sobre la vertical de 8° para absorber la pendiente de la cubierta (*figura 174*). Tiene una base que sirve para el asentamiento de la viga y facilitar su colocación. La fijación del estribo a las vigas se realiza con perno que atraviesan de lado a lado las piezas.

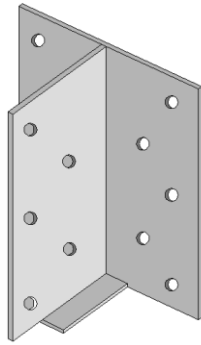


Figura 174: Estribo de unión viga secundaria-viga transversal.

Fuente: propia

La viga transversal se fija a las vigas principales mediante estribos con alma interna desviada a 54° en la horizontal. Al igual que el estribo anterior, tiene una base para facilitar el asentamiento de la pieza y su colocación, y presenta unos orificios por donde se introducirán los pernos.

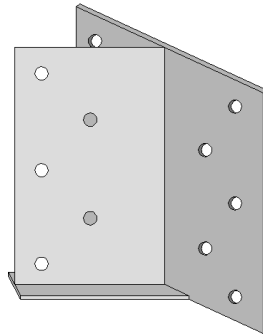


Figura 175: Estribo de unión viga transversal-viga principal.

Fuente: propia

A diferencia de las fijaciones anteriores, las correas se unen a las vigas principales y secundarias de manera tradicional en cola de milano, sin ningún tipo de herraje. Este tipo de unión da lugar a la disminución de la sección de las vigas. Esta disminución es pequeña en proporción con la sección de las vigas, que, junto a la separación entre ellas, hace que no se tenga en consideración para el cálculo estructural.



Figura 176: Correas con sistema de unión de cola de milano en la testa.

Fuente: Uniones, un reto para construir con madera. Libro de Ramón Argüelles

3.6. ACABADOS

El muro por el interior, incluidas las pilastras, presenta dos tipos de acabados de azulejos. Hasta la altura de 2,85 metros está realizado con azulejos de 40x50 cm, y a partir de los 2,85 m está realizado con azulejos de 6x6 cm. El alicatado se realiza con un adhesivo hidrófugo. La parte exterior del muro presenta un aplacado de piedra caliza con espesor de 3 cm, sin cámara de aire, recibido con mortero de cemento y ayudándose en la fijación con elementos de agarre metálicos.

El pilar central tiene un acabado de mortero hidrófugo en color blanco.

La estructura de MLE tiene el acabado natural de la propia madera, siendo el tratamiento de protección de color transparente.

Finalmente, como ya hemos mencionado en el apartado anterior, la cubierta tiene un acabado en tablas de madera de pino por la parte interior de la piscina, y por la parte exterior muestra un acabado en aluminio.

3.7. INSTALACIONES

Tanto los sistemas de iluminación como los sistemas de ventilación están realizados con materiales que aseguren la durabilidad de los mismos, eligiendo aquellos que no se vean deteriorados por la excesiva humedad y vapor de las aguas termales.

El sistema de iluminación que hay en el interior del recinto está formado por tres tipos de luminarias: luminarias directas, luminarias indirectas y luminarias de emergencia. Las luminarias directas tienen la carcasa de aluminio y van colgadas de las correas. Las luminarias indirectas son de PVC y se fijan a las pilastras del muro con elementos de sujeción de acero inoxidable. Por último, las luminarias de emergencia están realizadas en material plástico autoextinguible y van sujetas al muro con tornillos de acero inoxidable.

Los sistemas de ventilación y de extracción de vapor están realizados totalmente en PVC.

MEMORIA DE CÁLCULO

En este capítulo se establecen las premisas necesarias para ejecutar el cálculo de piezas de MLE en la estructura de la cubierta del balneario, utilizando como base los siguientes Documento Básicos: **DB SE**, **DB SE-AE** y el **DB SE-M**. Para la realización vamos a utilizar un programa de cálculo de estructuras tridimensionales, el **CYPE-METAL 3D**.

Esta memoria tratará requisitos relativos a la resistencia mecánica, condiciones de servicio y durabilidad; no considerando aspectos relativos al aislamiento térmico y acústico.

La estructura de MLE deberá proyectarse y construirse de tal forma que:

- ✓ Se mantenga en buenas condiciones para el uso al que se destina.
- ✓ Resista todas las acciones.

4.1. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

Se determinaran las acciones sobre la estructura de madera laminada para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB SE.

Las acciones se han determinado de acuerdo con lo establecido en el DB SE-AE, completando con los datos técnicos de los fabricantes y suministradores de las soluciones constructivas proyectadas.

4.1.1. ACCIONES PERMANENTES

Las acciones permanentes (G) son aquellas acciones o cargas propias de la construcción que no pueden ser obviadas o suprimidas, dentro de los que se sitúa el peso propio, el pretensado y las acciones del terreno.

En nuestro caso, solo procede la consideración del peso propio.

4.1.1.1. PESO PROPIO

El valor característico del peso propio será el obtenido por el peso de la estructura y por el de peso de los elementos de cubrición. El peso propio de la estructura varía en función de las dimensiones del elemento, a partir de la densidad media de la madera utilizada es aproximadamente 460 kN/m^3 ; por lo tanto, solo se tendrá que realizar el cálculo de los materiales de cubrición.

En el dimensionado de los elementos lineales, el peso propio se ha considerado como una carga lineal actuando en el eje de la pieza. La cubierta esta dividida en dos zonas, una formada por un material de cubrición opaco y la otra un lucernario.

ZONA DE COBERTURA OPACA

El material de cobertura está realizado con un panel tipo "thermochip" y una lámina de aluminio de 0,7 mm de espesor.

El panel tipo "thermochip", según datos proporcionados por el fabricante, tiene un peso específico de $0,23 \text{ kN/m}^2$.

Por otro lado está la lámina de aluminio cuyo peso específico viene definido en la tabla del Anejo C del DB-AE, donde nos dice que el peso específico del aluminio es 27 kN/m^3 . Consideramos que la lámina tiene un espesor de 0,7 mm, por obtenemos:

$$27 \text{ kN/m}^3 \times 0,0007 \text{ m} = 0,0189 \text{ kN/m}^2 \approx 0,02 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 20.- Peso propio de la cubierta. Fuente: propia

Peso propio (kN/m ²)			
Material	Peso específico	Espesor	Carga distribuida
Panel tipo "thermochip"	-	-	0,23 kN/m ²
Lamina de aluminio	27 kN/m ³	0,0007 m	0,02 kN/m ²
Total=			0,25 kN/m²

LUCERNARIO

El lucernario está formado por unos perfiles de aluminio que sostienen un acristalamiento de metacrilato, tal y como se muestra en la siguiente *figura 177*.

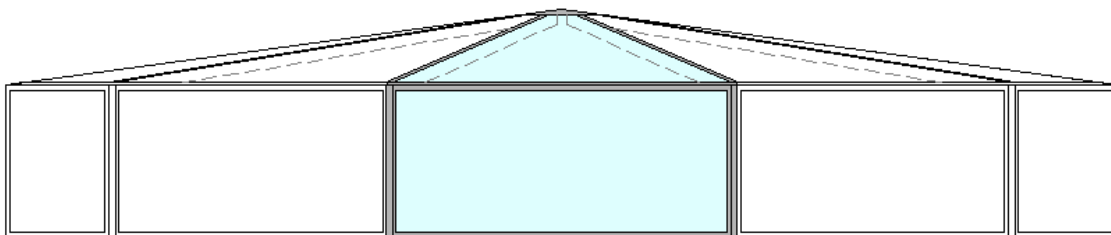


Figura 177: Alzado del lucernario.

Fuente: propia

Las cargas propias del lucernario se transmitirán a la correa más próxima al pilar (**Correa número 9 según indican los planos**) de manera lineal. Estas correas tienen una longitud de 1,96 metros.

A la hora de realizar la faja de cargas del lucernario se considera de forma aproximada que la mitad lo recibe el pilar central y la otra mitad las correas.

En la siguiente imagen (**figura 178**) se representa la faja de carga que recibe cada correa de las anteriores citadas. Esta figura está abatida en el plano horizontal, para resolver la inclinación de los 8° de la cubierta, con sus referentes cotas en metros.

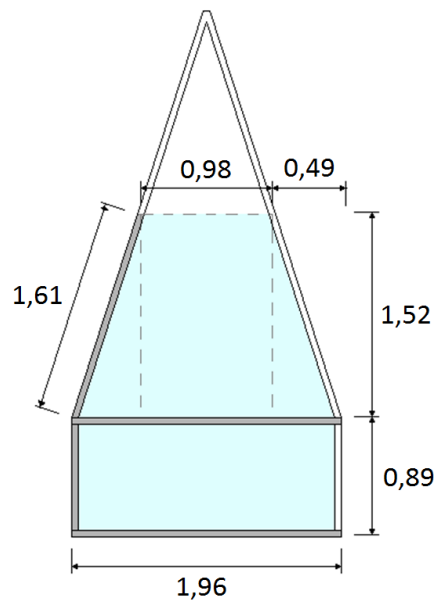


Figura 178: Abatimiento de la parte del lucernario que recibe la correa.

Fuente: propia

Acristalamiento

Según los datos proporcionados por los fabricantes, el metacrilato tiene un peso específico de 11,8 kN/m³, y el espesor de nuestro acristalamiento es de 15 mm, por lo tanto:

$$\text{Peso específico acristalamiento (kN/m}^2\text{): } 11,8 \text{ kN/m}^3 \times 0,015 \text{ m} = 0,177 \text{ kN/m}^2$$

El área de metacrilato correspondiente a la faja de carga es:

$$\text{Área (m}^2\text{): } 0,98 \times 1,52 + 0,49 \times 1,52 + 1,96 \times 0,89 = 3,98 \text{ m}^2$$

Por tanto, la carga total transmitida a la correa por el lucernario es:

$$\text{Carga total en cada correa del acristalamiento (kN): } 0,177 \text{ kN/m}^2 \times 3,98 \text{ m}^2 = 0,705 \text{ kN}$$

Por último, si la carga puntual la dividimos por la longitud de la correa obtenemos la carga lineal:

$$\text{Peso propio del acristalamiento (kN/m):} \quad 0,705 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = \mathbf{0,36 \text{ kN/m}}$$

Perfiles de aluminio

Los perfiles de aluminio tienen las siguientes medidas en centímetros, *figura 178*:

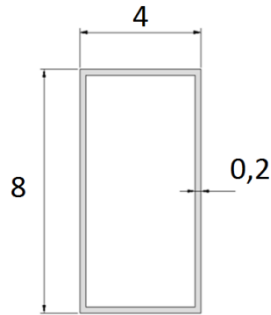


Figura 179: Detalle del perfil seccionado y acotado.

Fuente: propia

Por tanto, el área de la sección del perfil y su longitud dentro de la faja de carga (*obtenida de las figuras 178 y 179*), es:

$$\text{Área (m}^2\text{):} \quad 2 \times (0,08 \text{ m} + 0,04 \text{ m}) \times 0,002 \text{ m} = 0,00048 \text{ m}^2$$

$$\text{Longitud del perfil (m):} \quad 2 \times (1,96 \text{ m}) + 0,89 \text{ m} + 1,61 \text{ m} = 6,42 \text{ m}$$

Conocida el área de la sección del perfil y su longitud dentro de la faja de carga, hallamos la carga puntual de los perfiles sobre la correa, teniendo en cuenta el peso específico del aluminio:

$$\text{Carga total perfiles (kN):} \quad (0,00048 \text{ m}^2 \times 6,42 \text{ m}) \times 27 \text{ kN/m}^3 = 0,083 \text{ kN}$$

Si esta carga a su vez la dividimos por la longitud de la correa, obtenemos la carga lineal repartida sobre las mismas:

$$\text{Peso propio de los perfiles (kN/m):} \quad 0,083 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = \mathbf{0,04 \text{ kN/m}}$$

Las correas que reciben las cargas del lucernario reciben el siguiente peso propio del mismo:

$$\text{Peso propio del lucernario (kN/m):} \quad 0,36 \text{ kN/m} + 0,04 \text{ kN/m} = \mathbf{0,40 \text{ kN/m}}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores del peso propio transmitidas a las correas:

Tabla 21.- Valores de peso propio transmitidos a las correas. Fuente: propia

Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	0,25	1,02	0,255	-	0,255 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	0,25	1,27	0,318	-	0,318 kN/m
8	0,25	1,21	0,303	-	0,303 kN/m
9	0,25	0,58	0,145	0,400	0,545 kN/m

4.1.2. ACCIONES VARIABLES

Las acciones variables (Q) son aquellas acciones que pueden actuar o no dentro de la estructura, entre ellas se sitúa la sobrecarga de uso, las acciones sobre barandillas y elementos divisorios, el viento, las acciones térmicas y la nieve.

En nuestro caso son de aplicar la sobrecarga de uso, la nieve y el viento.

4.1.2.1. SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Los efectos de la sobrecarga de uso se aplican como una carga uniformemente repartida, cuyo valor viene reflejado en la tabla 3.1 del SE-AE (tabla de valores característicos de las sobrecargas de uso) en función de las categorías de uso.

En el caso de nuestra cubierta, al tratarse de una cubierta ligera accesible únicamente para labores de conservación, la sobrecarga de uso que debe considerarse es **0,4 kN/m²**.

Este valor se aplica en proyección horizontal y solamente es aplicable a la zona formada por el material de cubrición opaco. Consideramos que el valor de sobrecarga de uso en el lucernario es nulo, puesto que se trata de una zona acristalada.

En la siguiente tabla se muestran los valores de sobrecarga de uso transmitidas a las correas:

Tabla 22.- Valores de sobrecargas de uso transmitidos a las correas. Fuente: propia

Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	0,4	1,01	0,404	-	0,404 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	0,4	1,26	0,504	-	0,504 kN/m
8	0,4	1,20	0,48	-	0,48 kN/m
9	0,4	0,57	0,228	-	0,228 kN/m

4.1.2.2. VIENTO

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

La acción del viento actúa de manera perpendicular a la superficie de la cubierta, y se obtiene de la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

donde:

q_b es la presión dinámica del viento

c_e es el coeficiente de exposición

c_p es el coeficiente eólico o de presión

Presión dinámica del viento: q_b

En nuestro caso, según la siguiente *figura 180*, nuestra construcción se encuentra en la provincia de Pontevedra, correspondiente a la Zona B $\rightarrow 0,45 \text{ kN/m}^2$

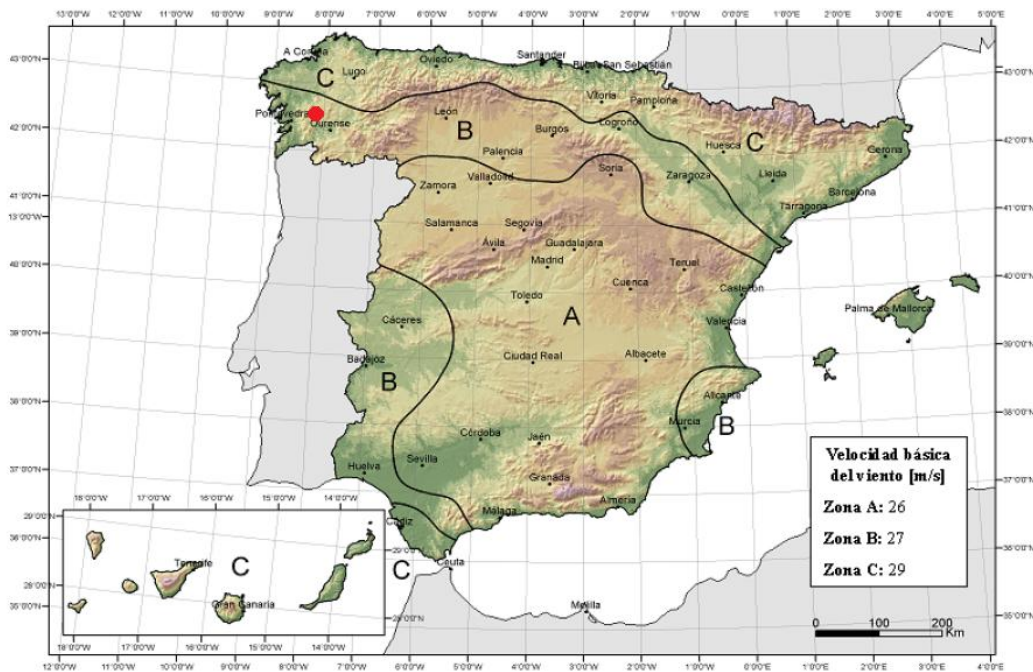


Figura 180: Valores de la presión dinámica del viento para las zonas A, B y C.
Fuente: DB SE-AE. Anejo D. Acción del viento.

Coefficiente de exposición: C_e

Varía en función del grado de aspereza del entorno y de la altura del punto considerado, obtenido de la siguiente *tabla 23*:

Tabla 23.- Valores del coeficiente de exposición. Fuente: DB SE-AE.

Grado de aspereza del entorno		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Zona III → Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas.
 Altura del punto considerado: 7,86 m → 9 m } **$C_e = 2,3$**

Coefficiente eólico o de presión: C_p

Va a depender de la forma y orientación de la superficie de la cubierta respecto al viento. Su valor se establece en el Anejo D del SE-AE, donde tomaremos como modelo, para nuestro caso, la cubierta a dos aguas con dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, ya que el Documento Básico no establece un modelo para cubiertas cónicas.

El modelo de cálculo de la acción del viento que presenta la norma se muestra en la siguiente *figura 181*:

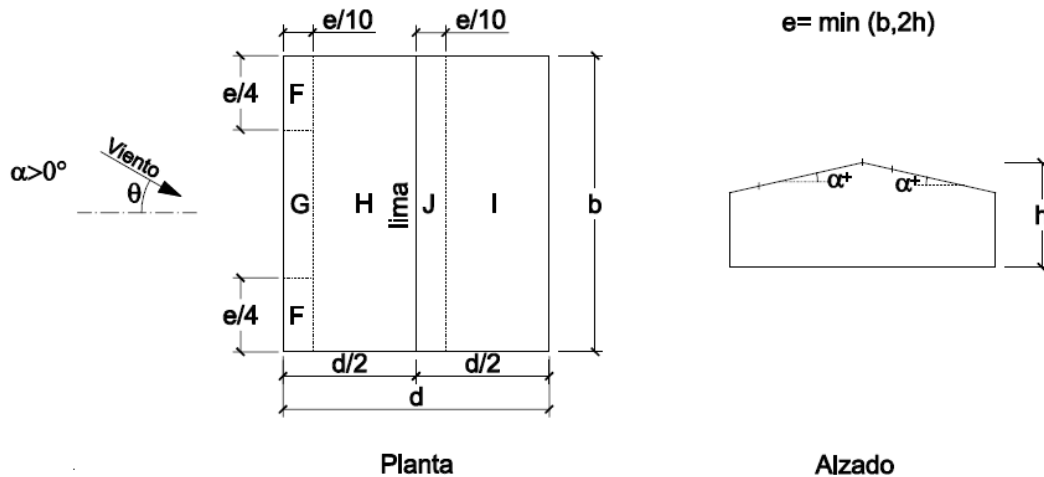


Figura 181: Modelo de cálculo de la acción del viento para cubierta a dos aguas. Fuente: DB SE-AE. Anejo D.6.

Como la forma de nuestra cubierta es cónica, realizaremos un supuesto modelo tomando como base el modelo anterior de la norma en el que suponemos que al tratarse de una cubierta con planta circular no presenta esquinas, por lo que descartamos la zona F.

Para realizar el estudio tomaremos una franja de 1 metro de ancho, tal y como se muestra en la siguiente *figura 182*:

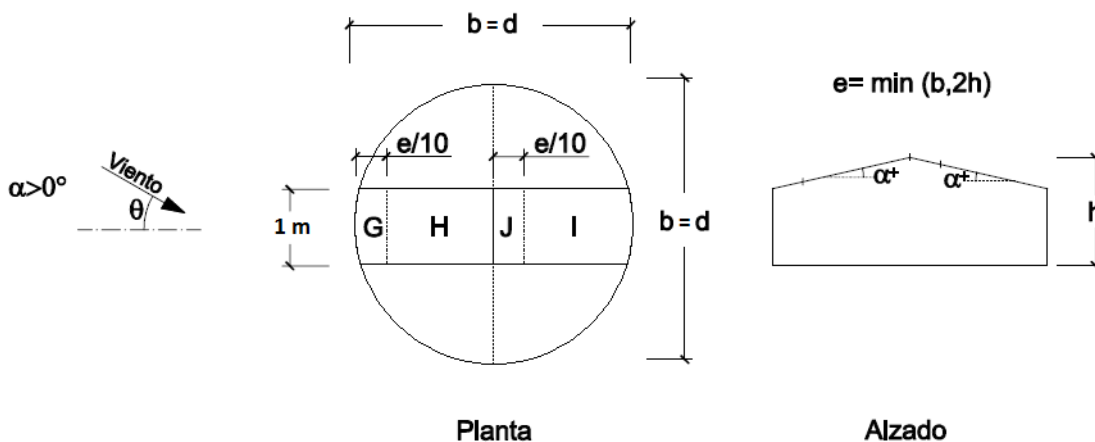


Figura 182: Supuesto modelo de cálculo de la acción del viento para una cubierta cónica. Fuente: propia

De la anterior figura obtenemos las siguientes medidas de las distintas zonas, donde:

- b es el diámetro de la cubierta → 28 metros
- h es la altura del punto más alto de la cubierta → 7,86 metros
- e es el valor más pequeño entre el radio de la cubierta o dos veces la altura del punto más alto:
 $e = \min(b, 2h) = \min(28, 15,72) \rightarrow 15,72$ metros

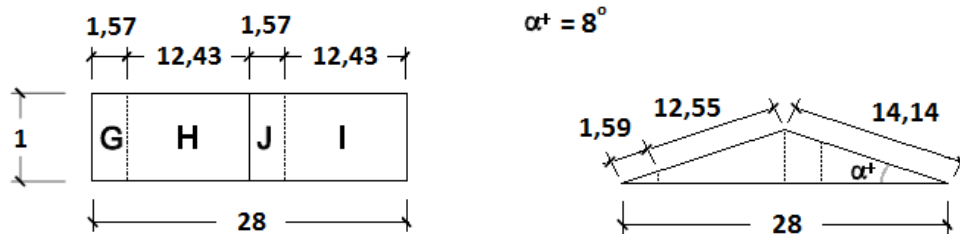


Figura 183: Medidas de las zonas de la cubierta para el cálculo de la acción del viento.

Fuente: propia

Los valores del coeficiente de presión (c_p) se obtienen de la tabla D.6 del Anejo D dando lugar a dos posibles hipótesis en función de la acción del viento, reflejados en la siguiente tabla, al igual que la carga del viento (q_e). En la tabla también aparece el cálculo de las resultantes de las cargas para las distintas zonas; considerando de este modo un único valor de carga media para cada faldón. Las resultantes se obtienen de la multiplicación de la carga del viento de cada zona por el área a la que corresponde.

Los valores positivos corresponden a cargas de presión, y los valores negativos a cargas de succión.

Tabla 24.- Cálculo de los coeficientes de presión del viento y sus resultantes.

Fuente: propia

Zona	Hipotesis	Área (m ²)	q_b (kN/m ²)	c_e	c_p	q_e (kN/m ²)	Resultante (kN)
G	H1	1,59	0,45	2,3	-1,2	-1,242	-1,975
	H2				0	0	0
H	H1	12,55	0,45	2,3	-0,6	-0,621	-7,79
	H2				0	0	0
J	H1	1,59	0,45	2,3	-0,6	-0,621	-0,987
	H2				-0,6	-0,621	-0,987
I	H1	12,55	0,45	2,3	0,2	0,207	2,598
	H2				-0,6	-0,621	-7,79

Hipótesis 1:

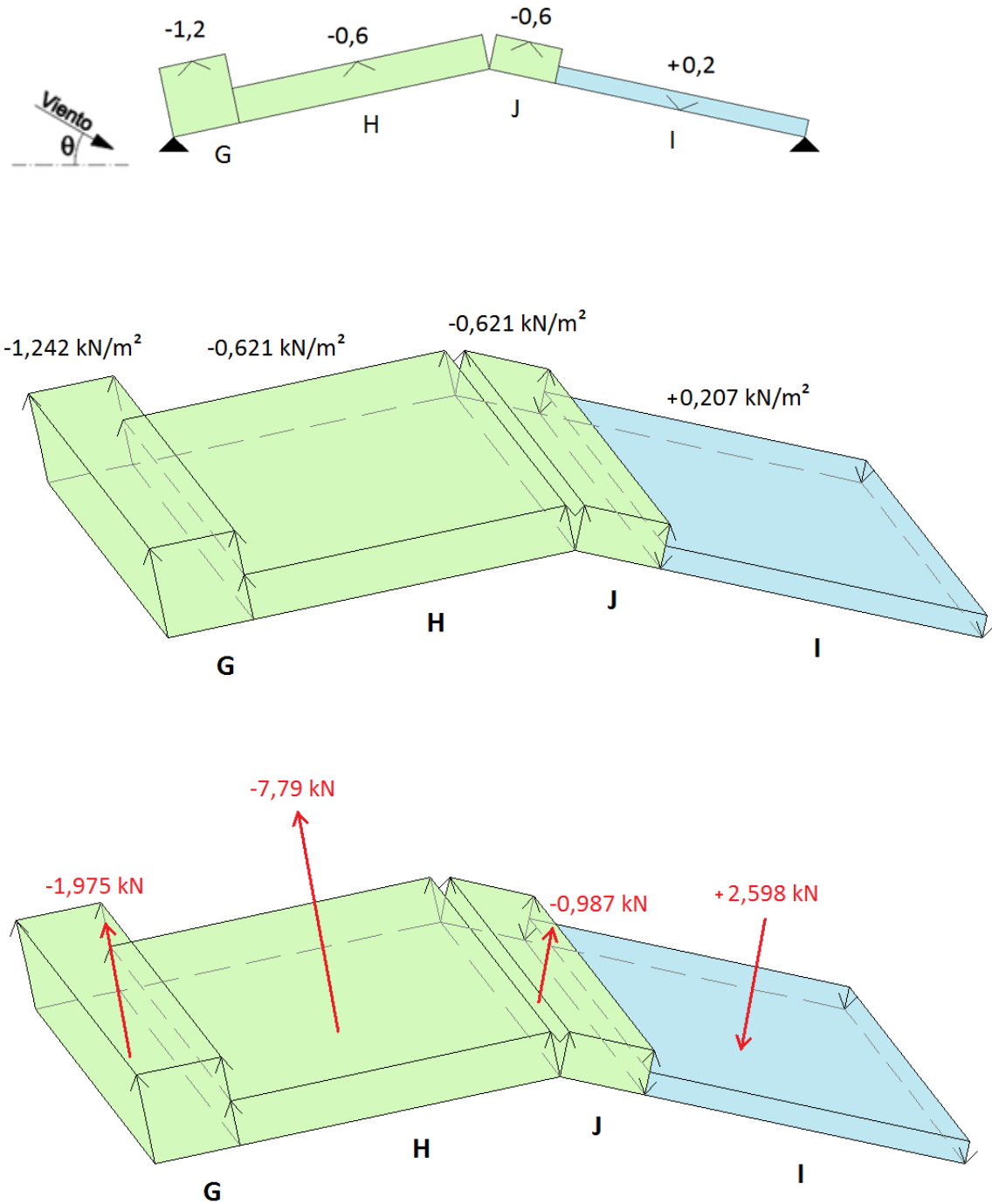


Figura 184: Coeficientes de presión del viento para las distintas zonas. Hipótesis 1.
Fuente: propia

Sumando las resultantes de cada faldón por separado, es decir, la suma de las resultantes de G y H por un lado y las de J y I por el otro, conseguimos una única resultante, que ésta al dividirla entre la superficie del faldón nos permite obtener una carga uniformemente distribuida (figura 185):

$$\text{Faldón GH: } (-1,975 \text{ kN} - 7,79 \text{ kN}) / (14,14 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = -0,691 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Faldón JI: } (-0,987 \text{ kN} + 2,598 \text{ kN}) / (14,14 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = +0,114 \text{ kN/m}^2$$

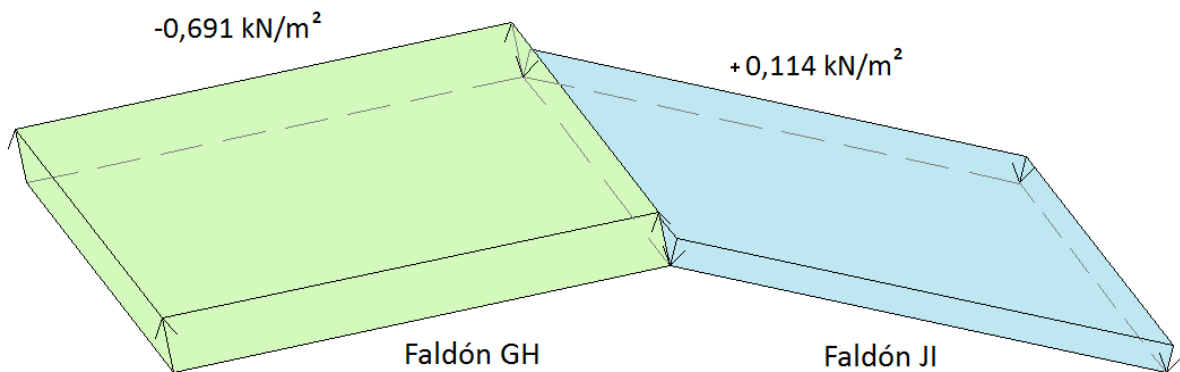


Figura 185: Carga del viento sobre la cubierta. Hipótesis 1.

Fuente: propia

Tabla 25.- Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón GH .Hipótesis 1. Fuente: propia

Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	-0,691	1,02	-0,705	-	-0,705 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	-0,691	1,27	-0,877	-	-0,877 kN/m
8	-0,691	1,21	-0,836	-	-0,836 kN/m
9	-0,691	0,58	-0,401	-0,79	-1,191 kN/m

La carga de viento en el lucernario es:

$$-0,691 \text{ kN/m}^2 \times 2,24 \text{ m}^2 = -1,548 \text{ Kn}$$

$$-1,548 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = -0,79 \text{ kN/m}$$

Tabla 26.- Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón JI .Hipótesis 1. Fuente: propia

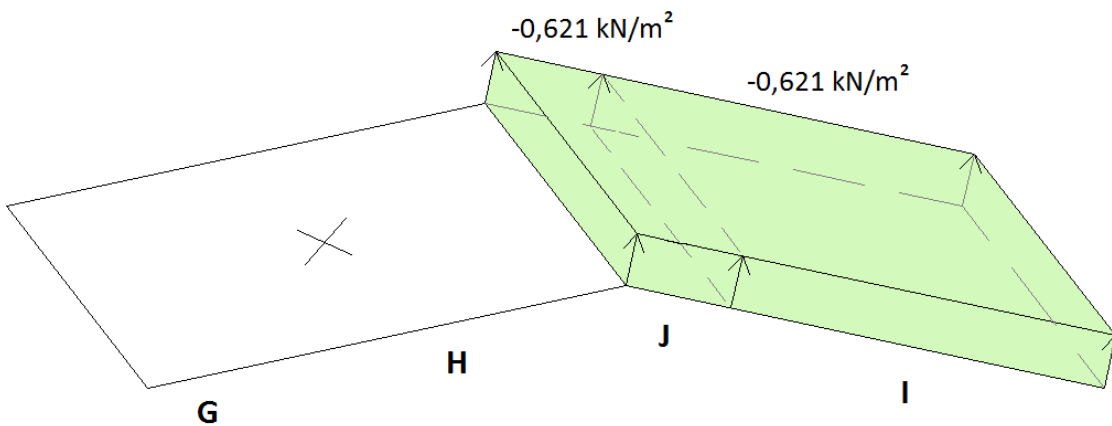
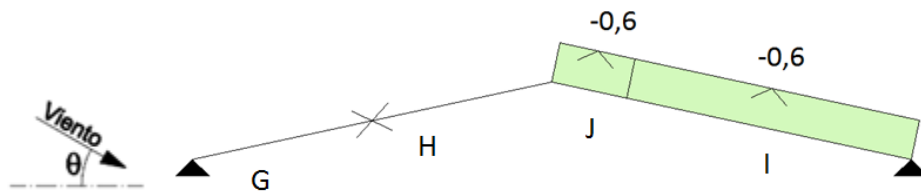
Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	0,114	1,01	0,116	-	0,116 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	0,114	1,26	0,145	-	0,145 kN/m
8	0,114	1,20	0,138	-	0,138 kN/m
9	0,114	0,57	0,066	0,13	0,196 kN/m

La carga de viento en el lucernario es:

$$0,114 \text{ kN/m}^2 \times 2,24 \text{ m}^2 = 0,255 \text{ kN}$$

$$0,255 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = 0,13 \text{ kN/m}$$

Hipótesis 2:



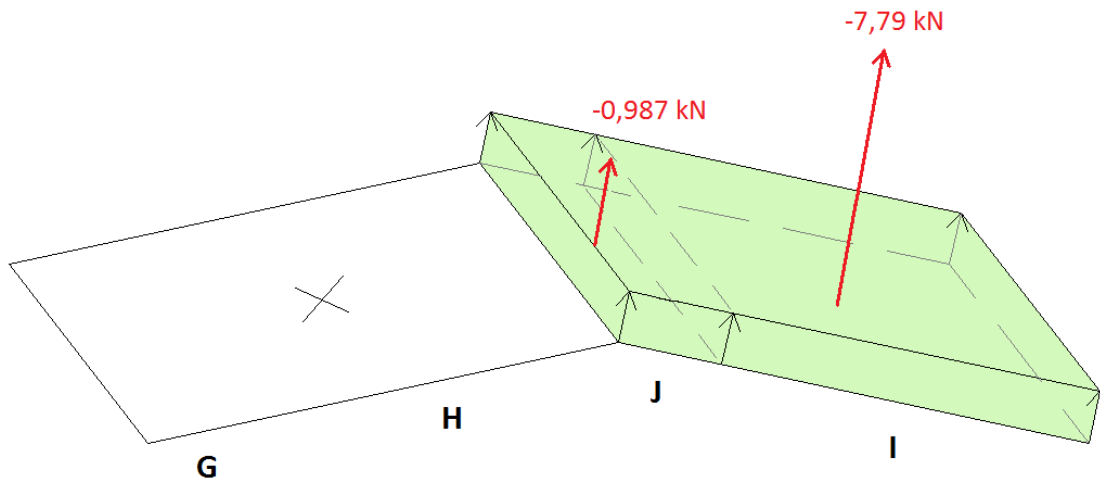


Figura 186: Coeficientes de presión del viento para las distintas zonas. Hipótesis 2.
Fuente: propia

Sumando las resultantes de cada faldón por separado y dividiéndolas entre la superficie del faldón obtenemos una carga uniformemente distribuida (figura 187):

Faldón GH: –

Faldón JI: $(-0,987 \text{ kN} - 7,79 \text{ kN}) / (14,14 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = -0,621 \text{ kN/m}^2$

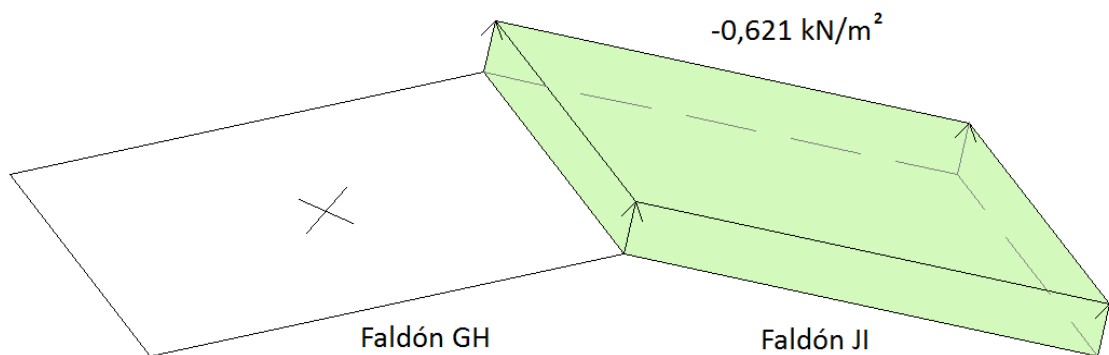


Figura 187: Carga del viento sobre la cubierta. Hipótesis 2.
Fuente: propia

Tabla 27.- Valores de viento transmitidos a las correas para el faldón JI .Hipótesis 2. Fuente: propia

Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	-0,621	1,01	-0,633	-	-0,633 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	-0,621	1,26	-0,789	-	-0,789 kN/m
8	-0,621	1,20	-0,751	-	-0,751 kN/m
9	-0,621	0,57	-0,36	-0,71	-1,07 kN/m

La superficie del lucernario que transmite a la correa la acción del viento es:

$$1,52 \times (0,98 + 0,49) = 2,24 \text{ m}^2$$

La carga de viento en el lucernario es:

$$-0,621 \text{ kN/m}^2 \times 2,24 \text{ m}^2 = -1,391 \text{ kN}$$

$$-1,391 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = -0,71 \text{ kN/m}$$

4.1.2.3. NIEVE

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, en particular sobre la cubierta, va a depender del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

Los efectos de la nieve se aplican como una carga uniformemente distribuida, cuyo valor se aplica en proyección horizontal y se obtiene de la siguiente expresión definida en el SE-AE:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

donde:

μ es el coeficiente de forma de la cubierta, donde el valor para nuestro caso es **1**.

s_k es el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, que para el caso de nuestro edificio es 0,3 kN/m² por estar situado en la provincia de Pontevedra.

Por tanto, el valor de carga de nieve será:

$$q_n = 1 \cdot 0,3 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,3 \text{ kN/m}^2}$$

En el caso del lucernario, la superficie afectada por la carga de la nieve transmitida a la correa viene reflejada en la siguiente *figura 188*, representada en proyección horizontal.

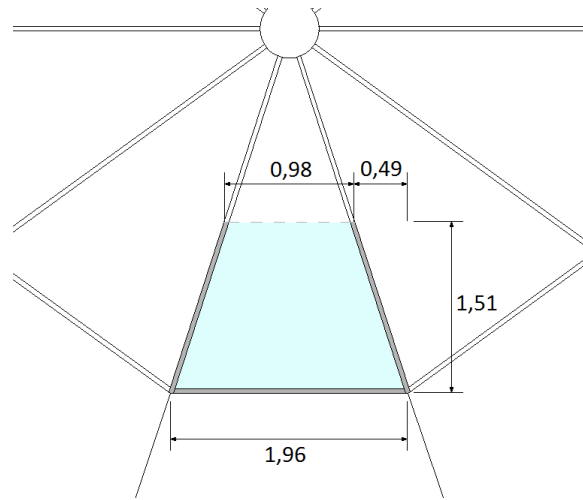


Figura 188: Superficie expuesta a la carga de nieve en el lucernario.

Fuente: propia

Área (m²): $(0,98 + 0,49) \times 1,51 = 2,22 \text{ m}^2$

Carga de la nieve que se acumula sobre la superficie: $2,22 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ kN/m}^2 = 0,666 \text{ kN}$

Por tanto, la carga de nieve que se transmite a las correas es una carga lineal:

Carga de nieve en el lucernario (kN/m): $0,666 \text{ kN} / 1,96 \text{ m} = \mathbf{0,34 \text{ kN/m}}$

En la siguiente tabla se muestran los valores de nieve transmitidas a las correas:

Tabla 28.- Valores de nieve transmitidos a las correas. Fuente: propia

Correas	Zona de cobertura opaca			Lucernario	Total peso propio sobre correas
	Carga distribuida (kN/m ²)	Faja de carga (m)	Carga sobre correas (kN/m)	Carga sobre correa (kN/m)	
1	0,3	1,01	0,303	-	0,303 kN/m
2, 3, 4, 5, 6, 7	0,3	1,26	0,378	-	0,378 kN/m
8	0,3	1,20	0,36	-	0,36 kN/m
9	0,3	0,57	0,171	0,34	0,511 kN/m

4.1.2.4. TÉRMICAS

No procede su consideración por las dimensiones de la cubierta, de acuerdo con el DB SE-AE 3.4.

4.1.2.5. SÍSMICAS

Se ha aplicado la Norma de Construcción Sismorresistente, Parte General y Edificación, NCSE-02, adoptando un valor de aceleración sísmica básica de 0,04 g de acuerdo con lo establecido en el anejo 1 de la citada norma y considerando que el edificio pertenece a la categoría de importancia normal. En todo caso las acciones sísmicas carecen de especial significancia dado que el caso presente nos encontramos con una edificación de poca altura, una aceleración sísmica básica muy baja y una tipología estructural con muros arriostrantes en todas direcciones.

4.2. COMBINACIÓN DE ACCIONES

A los efectos de determinar la capacidad portante, el valor de cálculo del efecto de las acciones se ha obtenido por aplicación del artículo 4.2 y 4.3 y las tablas 4.1 y 4.2 del DB SE. A tales efectos y dado que no es obligatoria la consideración de la acción sísmica, el apartado tercero del artículo 4.2 no es de aplicación. El programa de cálculo CYPE METAL 3D tendrá en cuenta las siguientes combinaciones de acciones, por lo que no será necesario calcularlo manualmente.

Situación persistente o transitoria

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Situación extraordinaria

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En cuanto a la aptitud al servicio, se han considerado las siguientes combinaciones:

Efectos de acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Efectos de acciones de corta duración que pueden resultar reversibles

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Efectos de acciones de larga duración

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tabla 29.- Coeficientes de simultaneidad para combinación de acciones. Fuente: DB SE

Acciones		Coeficientes de simultaneidad (Ψ)		
		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga de uso	Cubierta no transitable	0	0	0
Nieve	Altitud ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento		0,6	0,5	0

4.3. COMPROBACIÓN DE FLECHA

A través del programa de cálculo CYPE METAL 3D se obtienen los diagramas de flecha para las distintas cargas, que utilizamos para la comprobación de la flecha máxima. Las cargas se introducen a las correas y estas las transmiten a la viga principal y viga secundaria.

PESO PROPIO:

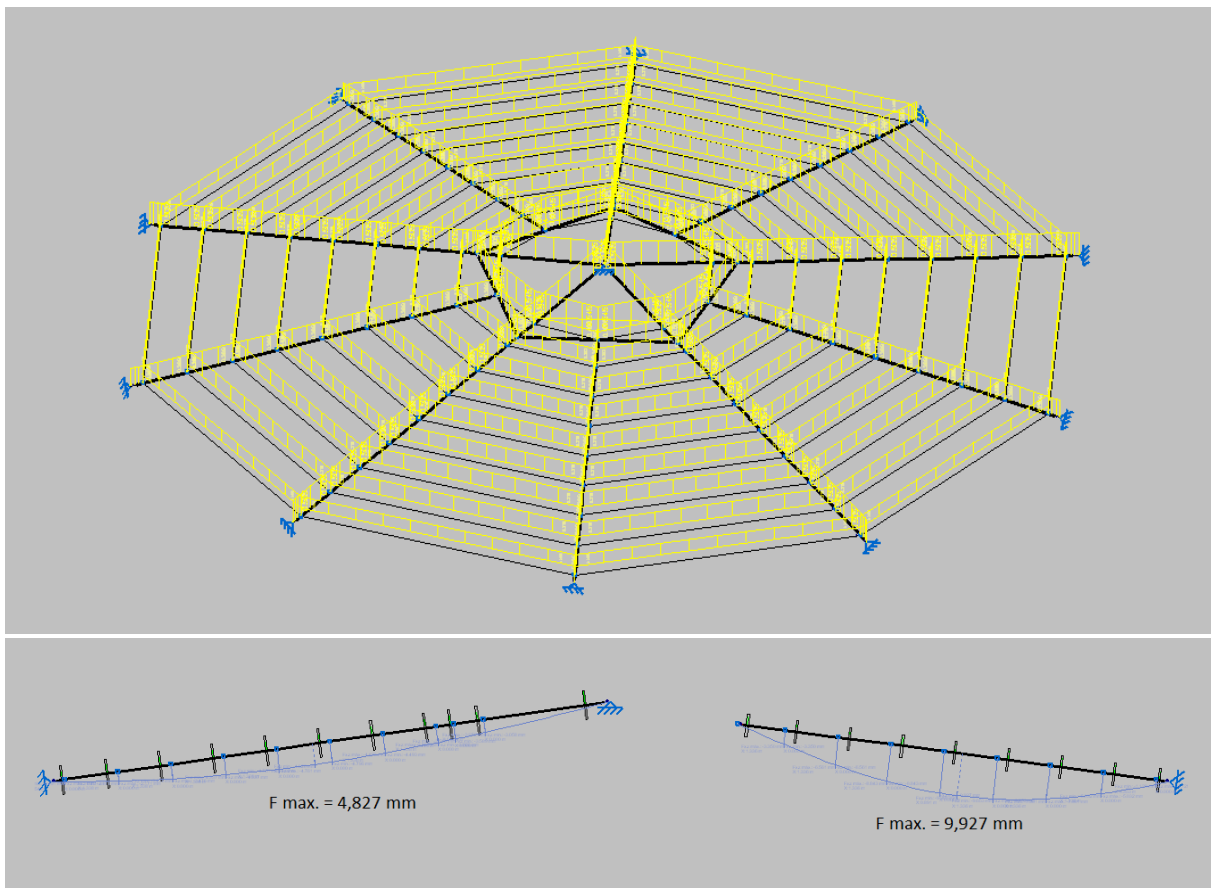


Figura 189: Cargas de peso propio aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.

Fuente: propia

SOBRECARGA DE USO:

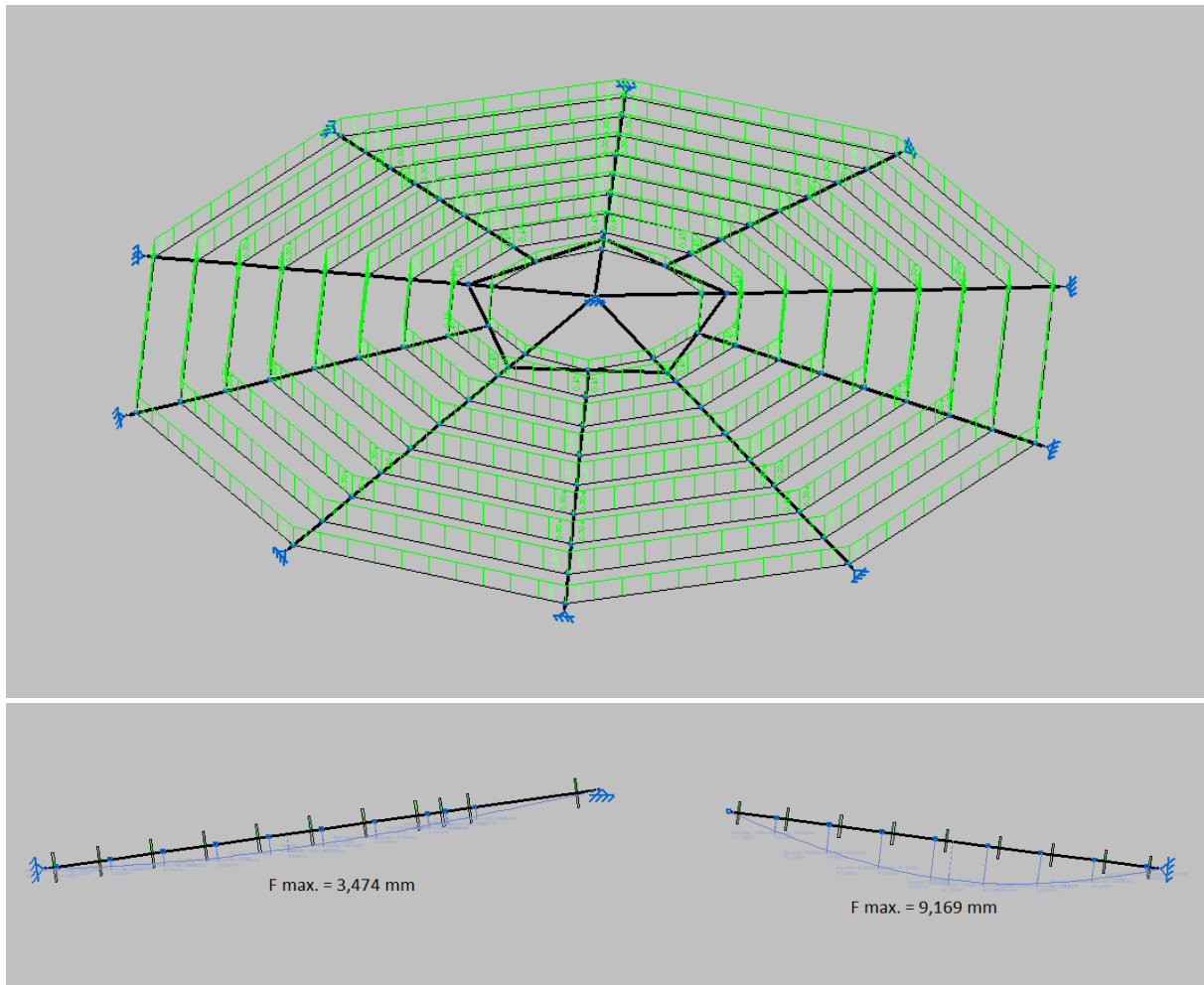


Figura 190: Sobrecargas de uso aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.

Fuente: propia

NIEVE:

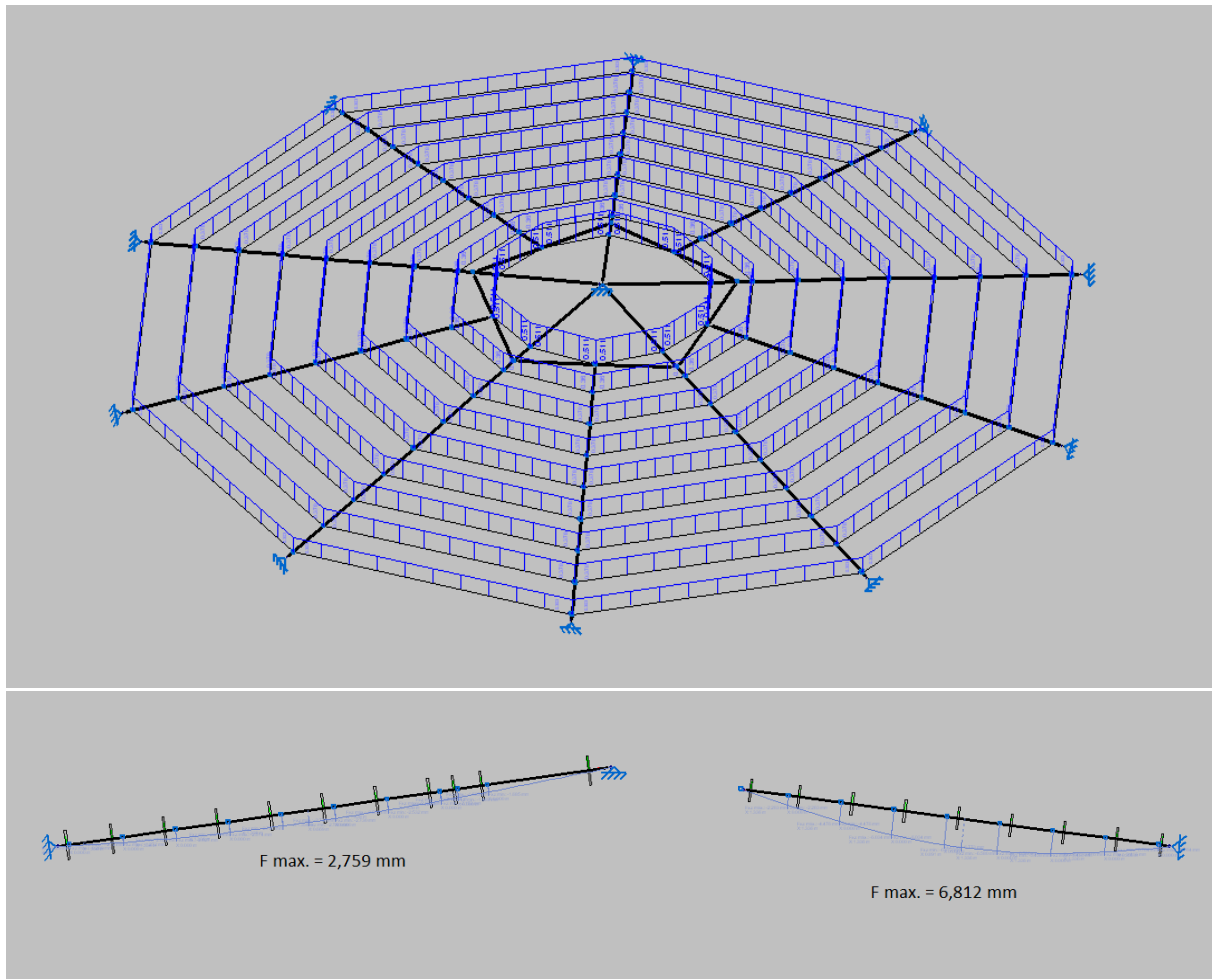


Figura 191: Cargas de nieve aplicadas a la estructura y flechas derivadas en las vigas principales y secundarias.

Fuente: propia

VIENTO 1:

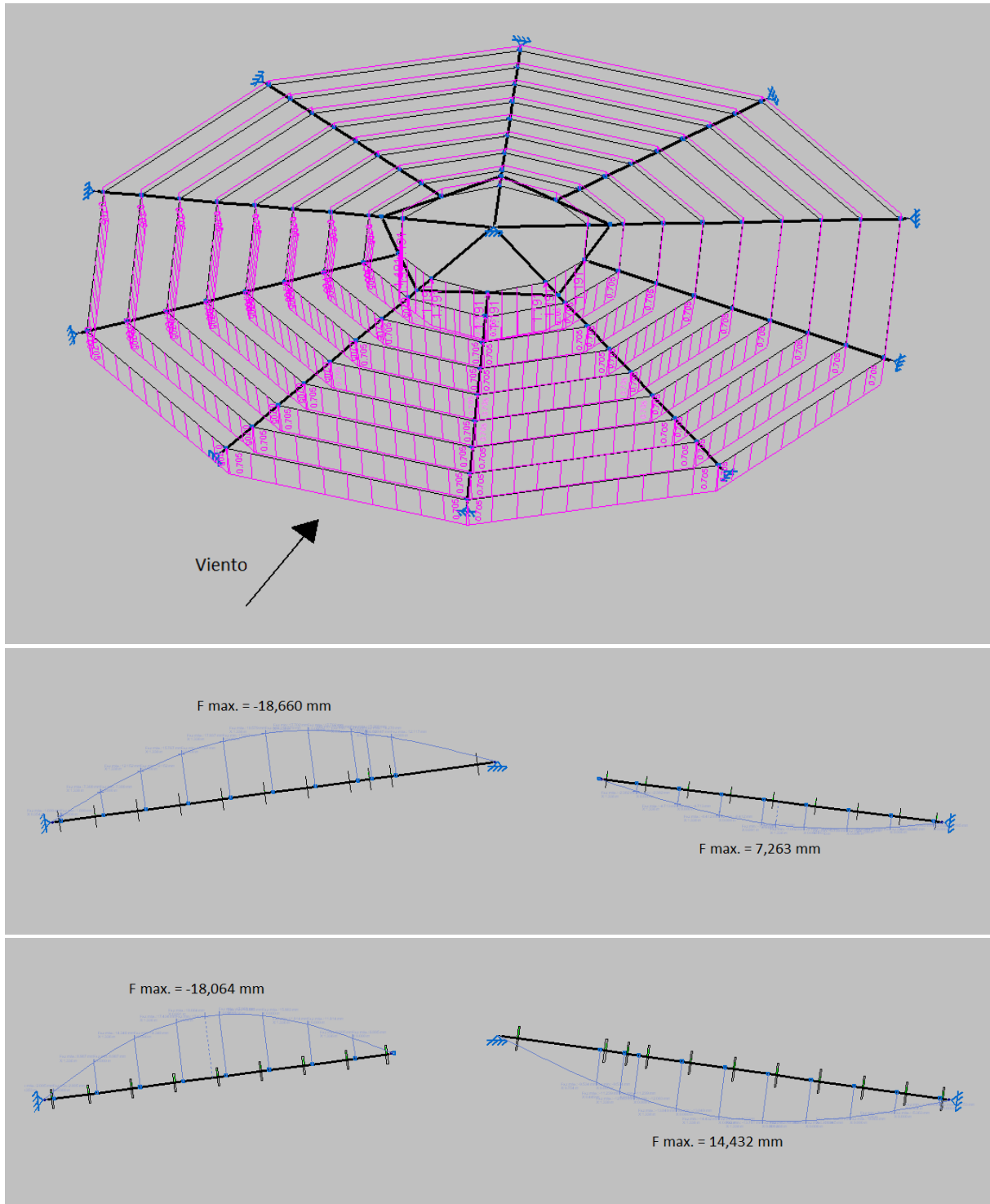


Figura 192: Cargas del viento 1 aplicadas a la estructura y fechas derivadas para orientaciones de presión y succión respectivamente.

Fuente: propia

VIENTO 2:

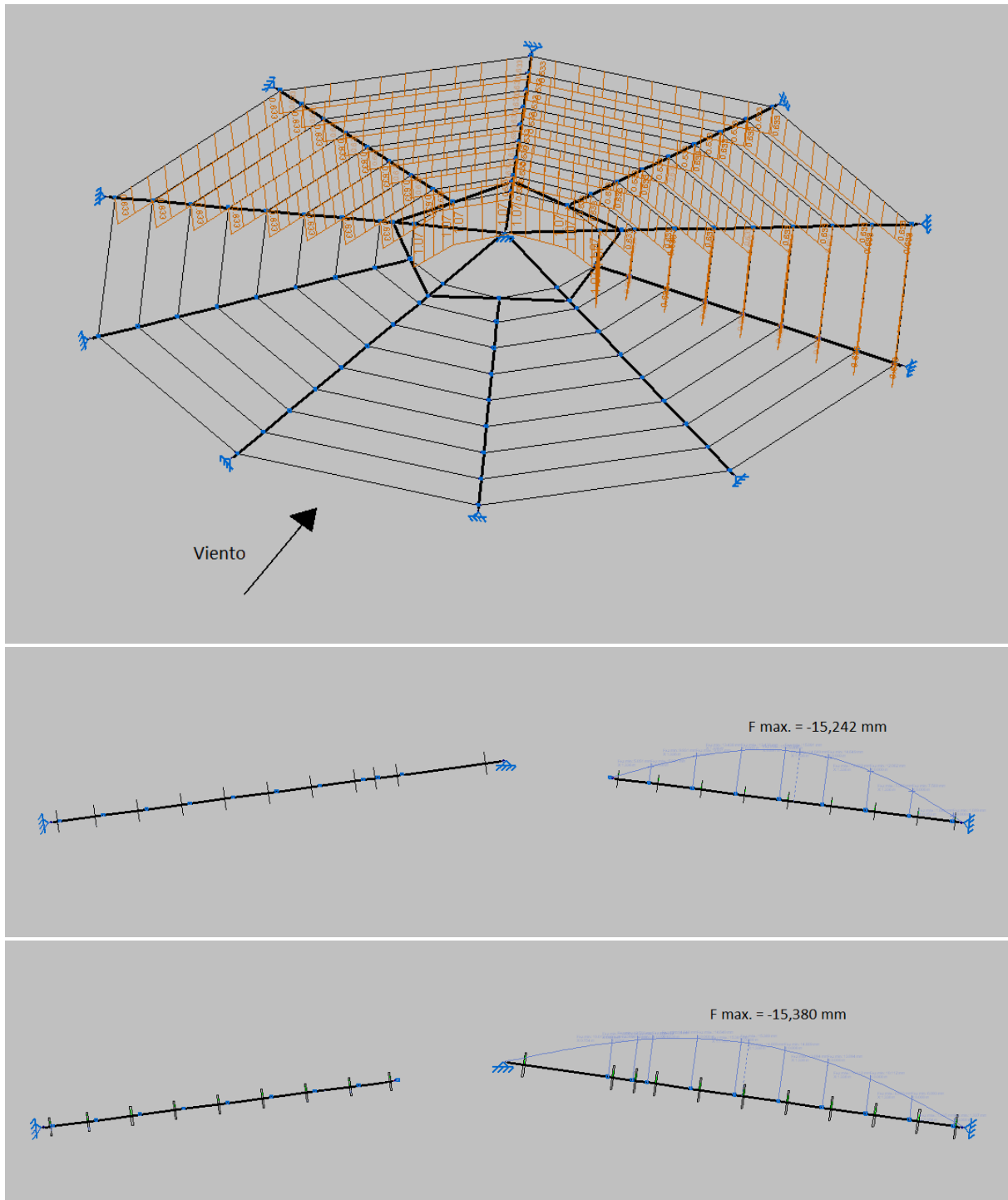


Figura 193: Cargas del viento 2 aplicadas a la estructura y fechas derivadas para orientaciones de presión y succión respectivamente.

Fuente: propia

VIGA 1

Para realizar la comprobación de la flecha debemos de calcular la flecha total que es el sumatorio de la flecha instantánea y la flecha diferida, obtenida de la siguiente expresión:

$$f_{diferida} = f_{instantánea} \cdot \Psi_2 \cdot K_{def}$$

Siendo,

- $f_{instant.}$ Flecha instantánea obtenida a través del programa CYPE METAL 3D mostrado anteriormente;
- Ψ_2 coeficiente de simultaneidad que se obtiene de la tabla 4.2 del DB SE. Para las cargas permanentes su valor es 1;
- K_{def} factor de fluencia en función de la clase de servicio que se obtiene de la tabla 7.1 DB SE-M. El valor para la clase de servicio 2 es 0,8

Tabla 30.- Flechas producidas por las distintas cargas sobre la viga 1. Fuente: propia

Carga	$f_{instantanea}$ (mm)	Ψ_2	$f_{diferida}$ (mm)	f_{total}
G	4,827	1	3,861	8,688
Q_{uso}	3,474	-	-	3,474
Q_{nieve}	2,759	-	-	2,759
Q_{v1}	-18,660	-	-	-18,660
	14,432	-	-	14,432
Q_{v2}	-	-	-	-
	-15,380	-	-	-15,380

Combinación de acciones:

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen en el artículo 4.3 del DB SE.

Combinación característica:

Hace referencia a la integridad de los elementos constructivos, determinando así los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Donde,

Ψ_0 coeficiente de simultaneidad para valor de combinación, tabla 4.2 del DB SE.

$G + Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n + \Psi_0 \cdot Q_{v1}:$	$8,688 + 3,474 + 0,5 \cdot 2,759 + 0,6 \cdot 14,432$	\rightarrow	22,20 mm
$G + Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n + \Psi_0 \cdot Q_{v1}:$	$8,688 + 3,474 + 0,5 \cdot 2,759 + 0,6 \cdot (-18,66)$	\rightarrow	2,35 mm
$G + Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n + \Psi_0 \cdot Q_{v2}:$	$8,688 + 3,474 + 0,5 \cdot 2,759 + 0,6 \cdot 0$	\rightarrow	13,54 mm
$G + Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n + \Psi_0 \cdot Q_{v2}:$	$8,688 + 3,474 + 0,5 \cdot 2,759 + 0,6 \cdot (-15,380)$	\rightarrow	4,31 mm

Los valores de flecha debidos a la succión del viento no los tendremos en cuenta de ahora en adelante, puesto que, tal y como se muestra en la combinación anterior, es favorable ya que reduce

la flecha. Por tanto, tomaremos como valor de flecha del viento aquel que resulte el más desfavorable: 14,432 mm.

$$\begin{aligned} G + Q_n + \Psi_0 \cdot Q_u + \Psi_0 \cdot Q_{v1}: & \quad 8,688 + 2,759 + 0 \cdot 3,474 + 0,6 \cdot 14,432 & \rightarrow & \quad 20,10 \text{ mm} \\ G + Q_{v1} + \Psi_0 \cdot Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n: & \quad 8,688 + 14,432 + 0 \cdot 3,474 + 0,5 \cdot 2,759 & \rightarrow & \quad 24,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Combinación frecuente:

Hace referencia al confort de los usuarios, determinando así los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Donde,

Ψ_1 coeficiente de simultaneidad para valor frecuente, tabla 4.2 del DB SE;

Ψ_2 coeficiente de simultaneidad para valor cuasi permanente, tabla 4.2 del DB SE.

$$\begin{aligned} G + \Psi_1 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_{v1}: & \quad 8,688 + 0 \cdot 3,474 + 0 \cdot 2,759 + 0 \cdot 14,432 & \rightarrow & \quad 8,69 \text{ mm} \\ G + \Psi_1 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_{v1}: & \quad 8,688 + 0,2 \cdot 2,759 + 0 \cdot 3,474 + 0 \cdot 14,432 & \rightarrow & \quad 9,24 \text{ mm} \\ G + \Psi_1 \cdot Q_{v1} + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n: & \quad 8,688 + 0,5 \cdot 14,432 + 0 \cdot 3,474 + 0 \cdot 2,759 & \rightarrow & \quad 15,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

En este caso podríamos no considerar la acción G por no ser de corta duración.

Combinación cuasi-permanente:

Hace referencia a la apariencia de la obra. Sirve para determinar los efectos debidos a las acciones de larga duración, y se determina mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$G + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_{v1}: \quad 8,688 + 0 \cdot 3,474 + 0 \cdot 2,759 + 0 \cdot 14,432 \quad \rightarrow \quad 8,69 \text{ mm}$$

El DB SE establece una flecha relativa máxima para cada una de las combinaciones, que viene determinada en función de la luz de la viga:

$$\text{Combinación característica:} \quad \frac{L}{300} = \frac{14000 \text{ mm}}{300} = 46,66 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

$$\text{Combinación frecuente:} \quad \frac{L}{350} = \frac{14000 \text{ mm}}{350} = 40 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

$$\text{Combinación cuasi-permanente:} \quad \frac{L}{300} = \frac{14000 \text{ mm}}{300} = 46,66 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

VIGA 2

Para realizar la comprobación de flecha de la viga 2 se realizará el mismo procedimiento utilizado para la viga 1, pero adoptando los siguientes valores de flecha para las distintas cargas (tabla 31):

Tabla 31.- Flechas producidas por las distintas cargas sobre la viga 2. Fuente: propia

Carga	f instantanea (mm)	Ψ ₂	f diferida (mm)	f total
G	9,927	1	7,941	17,868
Q _{uso}	9,169	-	-	9,169
Q _{nieve}	6,812	-	-	6,812
Q _{v1}	-18,064	-	-	-18,064
	7,263	-	-	7,263
Q _{v2}	-	-	-	-
	-15,242	-	-	-15,242

Combinación de acciones:

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen a continuación.

Combinación característica:

Hace referencia a la integridad de los elementos constructivos, determinando así los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G + Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n + \Psi_0 \cdot Q_{v1}$:	$17,868 + 9,169 + 0,5 \cdot 6,812 + 0,6 \cdot 7,263$	→	34,80 mm
$G + Q_n + \Psi_0 \cdot Q_u + \Psi_0 \cdot Q_{v1}$:	$17,868 + 6,812 + 0 \cdot 9,169 + 0,6 \cdot 7,263$	→	29,04 mm
$G + Q_{v1} + \Psi_0 \cdot Q_u + \Psi_0 \cdot Q_n$:	$17,868 + 7,263 + 0 \cdot 9,169 + 0,5 \cdot 6,812$	→	29,22 mm

Combinación frecuente:

Hace referencia al confort de los usuarios, determinando así los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G + \Psi_1 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_{v1}$:	$17,868 + 0 \cdot 9,169 + 0 \cdot 6,812 + 0 \cdot 7,263$	→	17,87 mm
$G + \Psi_1 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_{v1}$:	$17,868 + 0,2 \cdot 6,812 + 0 \cdot 9,169 + 0 \cdot 7,263$	→	19,23 mm
$G + \Psi_1 \cdot Q_{v1} + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n$:	$17,868 + 0,5 \cdot 7,263 + 0 \cdot 9,169 + 0 \cdot 6,812$	→	21,50 mm

Combinación cuasi-permanente:

Hace referencia a la apariencia de la obra. Sirve para determinar los efectos debidos a las acciones de larga duración, y se determina mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$G + \Psi_2 \cdot Q_u + \Psi_2 \cdot Q_n + \Psi_2 \cdot Q_{v1}: 17,868 + 0 \cdot 9,169 + 0 \cdot 6,812 + 0 \cdot 7,263 \quad \rightarrow \quad 17,868 \text{ mm}$$

El DB SE establece una flecha relativa máxima para cada una de las combinaciones, que viene determinada en función de la luz de la viga:

$$\text{Combinación característica: } \frac{L}{300} = \frac{11000 \text{ mm}}{300} = 36,66 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

$$\text{Combinación frecuente: } \frac{L}{350} = \frac{11000 \text{ mm}}{350} = 31,43 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

$$\text{Combinación cuasi-permanente: } \frac{L}{300} = \frac{11000 \text{ mm}}{300} = 36,66 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{¡CUMPLEN!}$$

4.4. COMPROBACIÓN DE LAS UNIONES

Se comprobarán las uniones de acero con madera a cortadura simple y doble, de acuerdo con el DB SE-M.

El espesor de las uniones es de 2 mm, y se realizan sobre las vigas que tienen un espesor de 150 mm. El diámetro de los pernos es 16 mm.

CORTADURA SIMPLE

La cortadura simple está presente en la unión de la viga secundaria a la viga transversal, situada en los pernos que atraviesan la viga transversal (*figura 194*).



Figura 194: Situación de las uniones metálicas sometidas a cortadura simple.

Fuente: propia

Puede suceder uno de los dos posibles casos (figura 195): aplastamiento de la madera o aplastamiento de la madera junto a la flexión del perno.

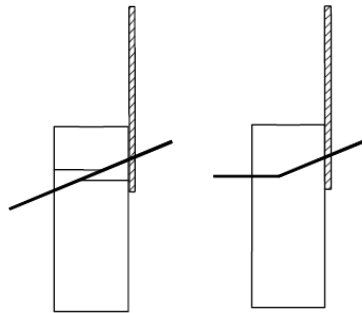


Figura 195: Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones de cortadura simple.

Fuente: DB SE-M

El espesor de la chapa es de 2 mm, y como la mitad del diámetro del perno es mayor que el espesor de la placa, estamos ante una placa delgada, por lo que la comprobación se realizara mediante las siguientes expresiones:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{cases}$$

siendo:

$F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de corte y elemento de fijación;

d diámetro del elemento de fijación, en nuestro caso es 16 mm;

t_1 espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, en nuestro caso es 150 mm;

$f_{h,1,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza 1, calculada mediante la siguiente expresión:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3 = 28,24 \text{ N/mm}^2$$

ρ_k densidad característica madera

$M_{y,Rk}$ momento plástico característico.

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{vk} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 275 \cdot 16^{2,6} = 111.472 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Los valores a cortante obtenidos de la expresión anterior son característicos, por tanto habrá que calcular los valores ponderados mediante la siguiente ecuación:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

donde:

k_{mod} factor de modificación, cuyo valor viene definido en la tabla 2.2 del DB SE-M en función de la clase de duración y de clase de servicio. Para nuestro caso, clase de duración media y clase de servicio 2, el valor es 0,8;

$F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de corte y elemento de fijación;

γ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material definido en la tabla 2.3 del DB SE-M. Nuestro material es madera laminada encolada, por tanto, el valor es 1,30.

Comprobación

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 0,4 \cdot 28,24 \cdot 150 \cdot 16 = 27.110 \text{ N} \approx 27,11 \text{ kN} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 11.542 \text{ N} \\ \approx 11,54 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{27,11}{1,30} = 16,68 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{11,54}{1,30} = 7,10 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y un plano de cortante. Esta unión está formada por un total de cuatro pernos, dos de cada lado, y al tratarse de cortadura simple los planos de corte equivalen a uno por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 16,68 \cdot 4 \cdot 1 = 66,72 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 7,10 \cdot 4 \cdot 1 = 28,40 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

CORTADURA DOBLE

Puede ser por uniones con alma interna de acero o uniones con alma interna de madera.

Uniones con alma interna de acero

Estas uniones presentan tres situaciones distintas en la estructura sometidas a diferente cortante; situadas en la unión de las vigas principales al pilar central, en la unión de la viga transversal a la viga principal, y en la unión de la viga secundaria a la viga a la viga transversal (figura 194, 197 y 198). En cada situación puede suceder uno de los tres posibles casos (figura 196): aplastamiento de la madera y la chapa, flexión del perno, o aplastamiento de la madera y el perno.

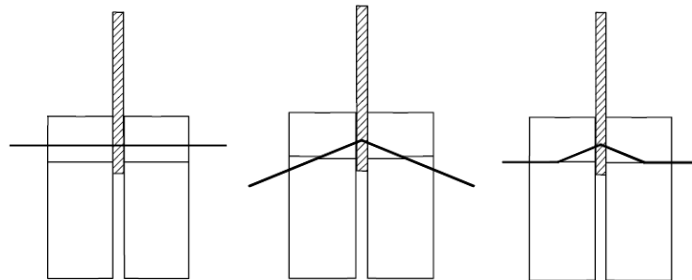


Figura 196: Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones con alma interna de acero.

Fuente: DB SE-M

La comprobación, para estos casos, se realiza mediante las siguientes expresiones:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right.$$

Siendo:

- $F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de corte y elemento de fijación;
 d diámetro del elemento de fijación, en nuestro caso es 16 mm;
 t_1 espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, en nuestro caso es 74 mm;
 $f_{h,1,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza 1, calculada mediante la siguiente expresión:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3 = 28,24 \text{ N/mm}^2$$

- ρ_k densidad característica madera
 $M_{y,Rk}$ momento plástico característico.

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{vk} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 275 \cdot 16^{2,6} = 111.472 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Los valores a cortante obtenidos de la expresión anterior son característicos, por tanto habrá que calcular los valores ponderados como se ha realizado anteriormente.

Comprobación

- Situación 1 (unión de la viga principal al pilar central):



Figura 197: Situación de la unión metálica de las vigas al pilar central.

Fuente: propia

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 = 33.436,16 \text{ N} \approx 33,44 \text{ kN} \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 111.472}{28,24 \cdot 16 \cdot 256}} - 1 \right] = \\ = 47.468,25 \text{ N} \approx 47,47 \text{ kN} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 16.323 \text{ N} \approx 16,32 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{33,44}{1,30} = 20,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{47,47}{1,30} = 29,21 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{16,32}{1,30} = 10,04 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y un plano de cortante. Esta unión está formada por tres pernos, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 3 \cdot 2 = 123,48 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 3 \cdot 2 = 175,26 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 10,04 \cdot 3 \cdot 2 = 60,24 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

- Situación 2 (unión de la viga transversal a la viga principal):



Figura 198: Situación de las uniones metálicas de la viga transversal a la viga principal.

Fuente: propia

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 14,42 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 = 33.436,16 \text{ N} \approx 33,44 \text{ kN} \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 111.472}{28,24 \cdot 16 \cdot 256}} - 1 \right] = \\ = 47.468,25 \text{ N} \approx 47,47 \text{ kN} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 16.323 \text{ N} \approx 16,32 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{33,44}{1,30} = 20,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{47,47}{1,30} = 29,21 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{16,32}{1,30} = 10,04 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y a un plano de cortante. Esta unión está formada por cinco pernos colocados a tresbolillo, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 5 \cdot 2 = 205,80 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 5 \cdot 2 = 292,10 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 10,04 \cdot 5 \cdot 2 = 100,40 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 21,72 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

- Situación 3 (unión de la viga secundaria a la viga transversal):

Se muestra en la [figura 194](#), donde el esfuerzo actúa sobre la viga secundaria.

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 = 33.436,16 \text{ N} \approx 33,44 \text{ kN} \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 28,24 \cdot 74 \cdot 16 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 111.472}{28,24 \cdot 16 \cdot 256}} - 1 \right] = \\ = 47.468,25 \text{ N} \approx 47,47 \text{ kN} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 16.323 \text{ N} \approx 16,32 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{33,44}{1,30} = 20,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{47,47}{1,30} = 29,21 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{16,32}{1,30} = 10,04 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y a un plano de cortante. Esta unión está formada por cinco pernos colocados a tresbolillo, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 5 \cdot 2 = 205,80 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 5 \cdot 2 = 292,10 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 10,04 \cdot 5 \cdot 2 = 100,40 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 20,56 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

Uniones con alma interna de madera

Estas uniones presentan tres situaciones distintas en la estructura sometidas a diferente cortante; situadas en la unión de la viga principal al muro, en la unión de la viga secundaria al muro, y en la unión de la viga transversal a la viga principal (figura 198, 200 y 201). En cada situación puede suceder uno de los dos posibles casos (figura 199): aplastamiento de la madera y la chapa; o aplastamiento de la madera, la chapa y flexión del perno.

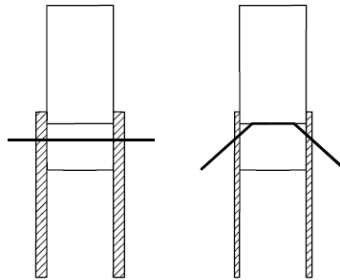


Figura 199: Posibles casos de comportamiento del perno y la madera para uniones con alma interna de madera.

Fuente: DB SE-M

El espesor de la chapa es de 2 mm, y como la mitad del diámetro del perno es mayor que el espesor de la placa, estamos ante una placa delgada, por lo que la comprobación se realizara mediante las siguientes expresiones:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{cases}$$

Siendo:

t_2 espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, en nuestro caso es 150 mm;
 $f_{h,2,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza 2, calculada mediante la siguiente expresión:

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16 \text{ mm}) \cdot 410 \text{ kg/m}^3 = 28,24 \text{ N/mm}^2$$

Comprobación

- Situación 1 (unión de la viga principal al muro):



Figura 200: Situación de la unión de la viga principal al muro.

Fuente: propia

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 17,98 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 28,24 \cdot 150 \cdot 16 = 67.776 \text{ N} \approx 67,78 \text{ kN} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 11.542,19 \text{ N} \\ \approx 11,54 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{67,78}{1,30} = 41,71 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{11,54}{1,30} = 7,10 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y a un plano de cortante. Esta unión está formada por tres pernos, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 3 \cdot 2 = 123,48 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 17,98 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 3 \cdot 2 = 175,26 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 17,98 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

- Situación 2 (unión de la viga secundaria al muro):



Figura 201: Situación de la unión de la viga secundaria al muro.

Fuente: propia

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 12,32 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 28,24 \cdot 150 \cdot 16 = 67.776 \text{ N} \approx 67,78 \text{ kN} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 111.472 \cdot 28,24 \cdot 16 = 11.542,19 \text{ N} \\ \approx 11,54 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{67,78}{1,30} = 41,71 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{11,54}{1,30} = 7,10 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y a un plano de cortante. Esta unión está formada por dos pernos, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 2 \cdot 2 = 82,32 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 12,32 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 2 \cdot 2 = 116,84 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 12,32 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

- Situación 3 (unión de la viga transversal a la viga principal):

Se muestra en la **figura 198** donde el esfuerzo actúa sobre la viga principal.

El valor, ya ponderado, obtenido de cortante en el CYPE es: $F_{v,Rd} = 13,45 \text{ kN}$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 28,24 \cdot 150 \cdot 16 = 67.776 \text{ N} \approx 67,78 \text{ kN} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 111.472 \cdot 28,24 \cdot 16} = 11.542,19 \text{ N} \\ \approx 11,54 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{67,78}{1,30} = 41,71 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{11,54}{1,30} = 7,10 \text{ kN}$$

Esta resistencia es la referida a un perno y a un plano de cortante. Esta unión está formada por diez pernos colocados a tresbolillo, cinco a cada lado, y al tratarse de cortadura doble, los planos de corte son dos por cada perno.

Por tanto, los valores de resistencia a cortante de la unión serán:

$$F_{v,Rd} = 20,58 \cdot 10 \cdot 2 = 411,60 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 13,45 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

$$F_{v,Rd} = 29,21 \cdot 10 \cdot 2 = 584,20 \text{ kN} \geq F_{v,Rd} = 13,45 \text{ kN} \rightarrow \text{¡CUMPLE!}$$

4.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales empleados en la estructura son la madera laminada encolada y el acero galvanizado para las uniones. Las características de la MLE se muestran en la siguiente tabla (**tabla 32**) que viene definida en el Documento Básico SE-M.

Las uniones metálicas están realizadas con estribos de acero galvanizado S250GD + Z275 según UNE EN 10326 y según datos aportados por los suministradores.

Tabla 32.- Valores de las propiedades de la madera laminada utilizada en la estructura del balneario.

Fuente: DB SE-M

Propiedades	Clase resistente
	GL28h
Resistencia (N/mm²)	
Flexión	28
Tracción paralela	19,5
Tracción perpendicular	0,45
Compresión paralela	26,5
Compresión perpendicular	3
Cortante	3,2
Rigidez (kN/mm²)	
Módulo de elasticidad paralelo medio	12,6
Módulo de elasticidad paralelo 5°-percentil	10,2
Módulo de elasticidad perpendicular medio	0,42
Módulo transversal medio	0,78
Densidad (kg/m³)	
Densidad característica	410

4.6. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Los coeficientes parciales de seguridad para las acciones se han determinado de acuerdo con la tabla 4.1 del DB SE, que se viene a mostrar en la siguiente *tabla 33*.

Tabla 33.- Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. Fuente: DB SE

Coeficientes parciales de seguridad (γ)			
Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		Desfavorable	Favorable
Resistencia	Permanente (peso propio)	1,35	0,80
	Variable	1,50	0

4.7. MÉTODOS DE CÁLCULO

Dada la singularidad y especificidad del sistema estructural empleado, para el análisis de solicitaciones y dimensionado se han utilizado como herramienta de apoyo el programa CYPE METAL 3D, versión 2009.1, concebido y distribuido por la empresa CYPE Ingenieros, con razón social en la Avda. Eusebio Sempere, 5, de Alicante.

BASES DE CÁLCULO DEL PROGRAMA CYPE METAL 3D

El objetivo de la aplicación es el diseño y cálculo de estructuras tridimensionales de nudos y barras de MLE, con dimensionado y optimización de la estructura.

El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez, formando las barras los elementos que definen la estructura. Se establece la compatibilidad de deformaciones en todo los nudos, considerando 6 grados de libertad.

Para todos los estados de carga se ha realizado un cálculo estático suponiendo un comportamiento elástico y lineal de los materiales y, por tanto, un cálculo de primer orden, de cara a la obtención de desplazamientos y esfuerzos.

La estructura se discretiza en elementos tipo barra que se conectan a través de nudos. Las uniones pueden ser articuladas, rígidas o con empotramiento elástico.

Establecidas las condiciones de compatibilidad de deformaciones, se resuelve la matriz de rigidez general y se obtienen los desplazamientos y los esfuerzos en todos los elementos del sistema.

METODO DE CÁLCULO

De acuerdo con el CTE DB SE, el proceso general de cálculo es el llamado de los Estados Límites, en el que se trata de reducir a un valor suficientemente bajo la probabilidad de que se alcancen aquellos estados límites que ponen la estructura fuera de servicio.

Las comprobaciones de los estados límites se realizan para cada hipótesis combinatoria, con acciones ponderadas y propiedades resistentes de los materiales minoradas, mediante la introducción de los coeficientes de seguridad recogidos anteriormente.

Las comprobaciones de los estados límites de utilización (deformación, vibraciones y fisuración) se realizan para las distintas hipótesis de carga de acuerdo con los criterios del DB-SE, artículo 4.3. Dadas las características del edificio se han comprobado de forma rigurosa las exigencias de deformación relativas a la consideración de la integridad de elementos constructivos, confort de usuarios y apariencia de la obra, adoptando las limitaciones del artículo 4.3.3.1.

Para el dimensionado de los elementos estructurales de madera se han tenido en cuenta las determinaciones del DB SE-M de forma específica. Como criterio general, salvo los casos específicamente recogidos en la documentación gráfica, las uniones se han proyectado como rígidas.. En todo caso, a los efectos tanto de la determinación de solicitaciones como de evaluación de la resistencia de las secciones, se ha recurrido a un análisis elástico.

CAPITULO

5

ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL BALNEARIO DE CUNTIS

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Figura 202: Vista exterior del balneario. Fotografía sacada desde el aparcamiento.



Figuras 203 y 204: Vista exterior del balneario. Fotografía sacada desde el aparcamiento.



Figuras 205 y 206: Vista general del interior del Acuaform.



Figuras 207 y 208: Vistas generales del interior del Acuaform tomada hacia los laterales.



Figuras 209 y 210: Vistas de la estructura de MLE y de las uniones metálicas.



Figuras 211 y 212: Vista de las correas y del material de cubrición con los paneles tipo “thermochip”.



Figuras 213 y 214: Unión de la viga principal al muro perimetral, que se apoya a la pilastra.



Figuras 215 y 216: Unión de la viga secundaria al muro perimetral, que se apoya a la pilastra.



Figura 217: Lucernario visto desde el interior.

PARTE 2:
ESTUDIO DE LA CUBIERTA DEL
BALNEARIO DE CUNTIS

B/01
PLANOS



S PLANO DE SITUACIÓN

S1 BALNEARIO

A PLANOS DE ARQUITECTURA

A1 CUBIERTA

A2 SECCIÓN A-A'

A3 SECCIÓN B-B'

A4 SECCIÓN C-C'

A5 SECCIÓN D-D'

A6 ALZADOS

A7 SECCIÓN A-A' - COTAS

A8 SECCIÓN B-B' - COTAS

A9 SECCIÓN C-C' - COTAS

A10 SECCIÓN D-D' - COTAS

E PLANOS DE ESTRUCTURA

E1 ESTRUCTURA

E2 ESTRUCTURA - COTAS

E3 DETALLE PÓRTICO

E4 DETALLE UNIONES

E5 FAJAS DE CARGA



PARTE 3: NORMATIVA



NORMATIVA

LEGISLACIÓN. Carácter obligatorio. Sale del poder legislativo. Salen publicadas en el BOE. Es pública. Las autonomías pueden dictar leyes también.

REGLAMENTO. Es una norma jurídica dictada por el poder ejecutivo, bien sea del gobierno estatal o autonómico y que desarrolla el contenido de una ley.

NORMA. Una norma es una especificación técnica detallada que elabora y aprueba un organismo reconocido (a escala nacional o internacional) por su actividad normalizadora.

Las normas no son obligatorias si no las obliga una ley. La Ley es pública, mientras que la norma no lo es.

AENOR. Asociación española de normalización y certificación.

CEN. Comité europeo de normalización.

ISO. Organización internacional para la estandarización.

ENAC. Entidad nacional de acreditación.

DIT. Documento de idoneidad técnica.

DAU. Documento de adecuación al uso.

DITE. Documento de idoneidad técnica europeo.

Las siglas utilizadas actualmente en la normativa de aplicación corresponden a:

UNE

Es una especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada cuya observancia no es obligatoria, establecida por consenso y aprobada por AENOR.

UNE EX (UNE Experimental)

Una UNE Experimental es una Norma que se establece para su aplicación profesional en campos técnicos donde el grado de innovación es elevado o existe una urgente necesidad de orientación en relación al tema que abarca la Norma.

UNE INSTRUCCIÓN

Documento elaborado con anterioridad a 1989 que da recomendaciones sobre la ejecución de un trabajo específico en un área dada.

UNE INFORME

Es un documento técnico elaborado para informar sobre los progresos técnicos, dar recomendaciones sobre la ejecución sobre un trabajo específico y facilitar información y datos distintos a los que generalmente están contenidos en una NORMA UNE.

Las normas UNE al principio tienen un apartado que es campo de aplicación y así saber si me interesa.

Y tengo que saber si existe una norma más específica, ejemplo: si estoy viendo una norma de cubiertas puede haber una de tejas que sea más específica.

UNE MODIFICACIÓN

Documento técnico que modifica el contenido de cualquier otro documento normativo UNE ya editado.

La fecha de publicación es importantísima.

UNE ERRATUM

Es la fe de erratas de un documento normativo UNE.

Norma Europea EN

Documento europeo elaborado con el objeto de eliminar los obstáculos técnicos al comercio, sobre la base del consenso.

UNE EN ISO

Norma UNE que adopta una norma europea idéntica a una ISO manteniendo el mismo número de serie que la norma ISO.

ISO

Es la Organización Internacional para la Estandarización. Tiene su sede en Ginebra, es un organismo no gubernamental. Carecen de voluntad para imponer. Son voluntarias. Están protegidas por copyright. Están hechas para facilitar el comercio, el intercambio de información...

NORMATIVA ESPAÑOLA

Normativa de Fabricación

UNE EN 385:2002	Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.
UNE EN 386:2002	Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.
UNE EN 387:2002	Madera laminada encolada. Empalmes mediante uniones dentadas de grandes dimensiones. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.

Normativa de ensayos

UNE EN 383:2007	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.
UNE EN 391:2002	Madera laminada encolada. Ensayo de determinación de líneas de adhesivo.
UNE EN 392:1995	Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo.
UNE EN 408:2011	Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
UNE EN 409:2009	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija.

Normativa de protección

UNE EN 335:2007	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso.
UNE EN 350:1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza.
UNE EN 460:1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza.
UNE EN 599:2010	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Eficacia de los protectores de la madera determinada mediante ensayos biológicos.
UNE EN 56541:1977	Determinación de la estabilidad dimensional de la madera tratada con productos protectores e hidrófugos.

Normativa de clasificación

UNE EN 338:2011. ERRATUM	Madera estructural. Clases resistentes.
UNE EN 518:1996. ERRATUM	Madera estructural. Clasificación. Requisitos de las normas de clasificación visual resistente.
UNE EN 519:1998	Madera estructural. Clasificación. Requisitos para la madera clasificada mecánicamente y para las máquinas de clasificación.
UNE 65544:1997	Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.

Normativa de apoyo

UNE EN 390:1995	Madera laminada encolada. Dimensiones y tolerancias.
UNE EN 23093	Ensayos de resistencia al fuego.
UNE 56530:1977	Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia.
UNE 56540:1978	Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de los ensayos.

Normativa de cálculo

UNE EN 1995:2011	Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
CTE DB SE	Documento básico de seguridad estructural.
CTE DB SE AE	Documento básico de acciones de la edificación.
CTE DB M	Documento básico de seguridad estructural. Madera.

Normativa de adhesivos

UNE EN 301:2007	Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento.
UNE 302:2005	Adhesivos para madera de uso estructural. Métodos de ensayo.

NORMATIVA EUROPEA

Esta Norma Europea ha sido redactada por el Comité Técnico CEN/TC 124, en lo referente a estructuras de madera y por el Comité Técnico CEN/TC 103, en lo referente a adhesivos para madera y productos derivados de la madera; y es de aplicación obligatoria en todos los países del CEN. Sus siglas distintivas son EN y en España son adoptadas bajo las siglas UNE EN.

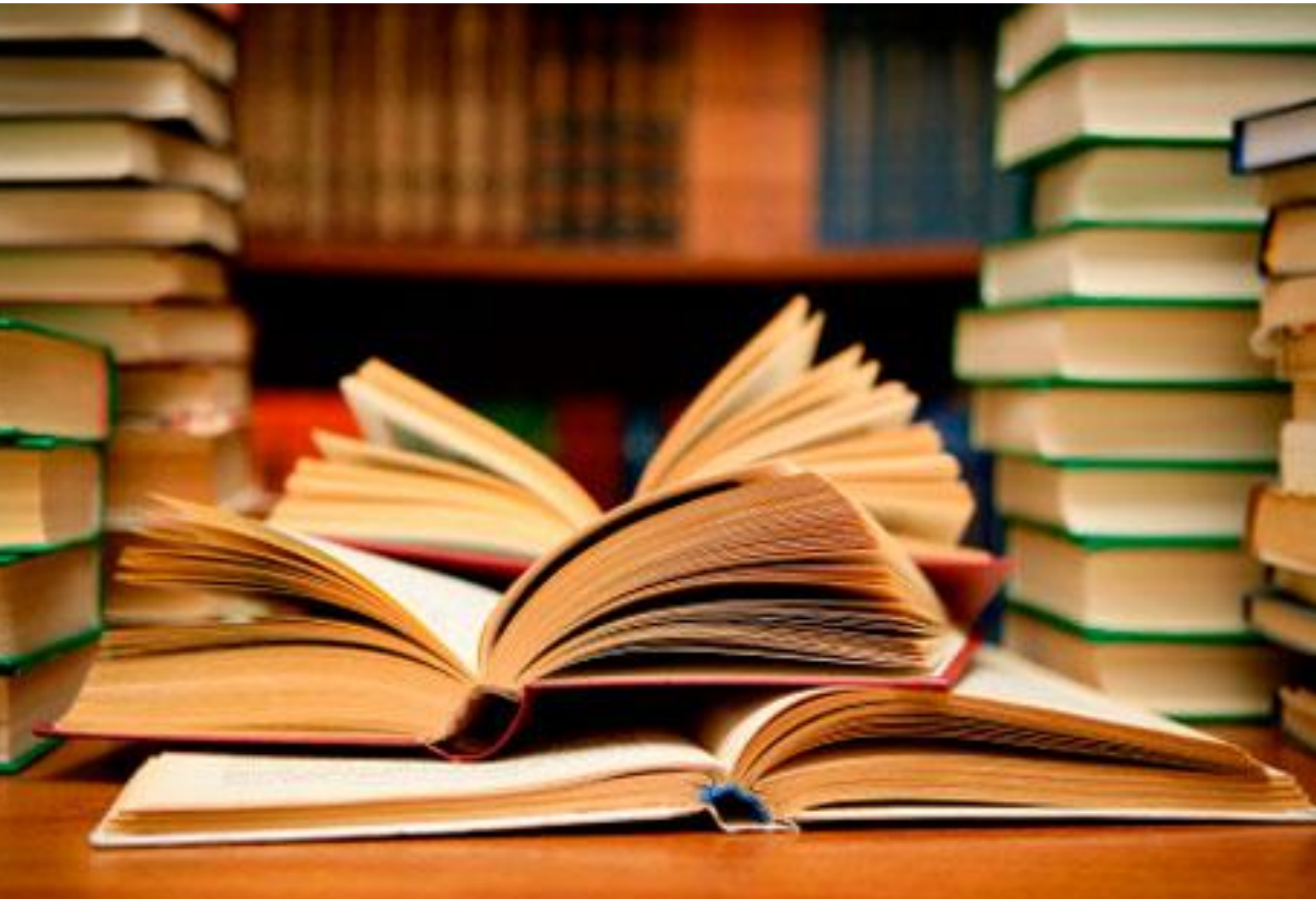
NORMAS D.I.N. ALEMANAS

D.I.N. 126	Arandelas.
D.I.N. 931/933	Tornillería.
D.I.N. 934	Tuercas.
D.I.N. 1052	Construcción en madera.
D.I.N. 1080	Signos para cálculos estáticos en ingeniería.
D.I.N. 4074	Condiciones de calidad para maderas aserradas de construcción.

D.I.N. 4102	Comportamiento al incendio de materiales de construcción y partes de la misma.
D.I.N. 4112	Bases de cálculo para construcciones transportables.
D.I.N. 52183	Determinación del grado de humedad de la madera.
D.I.N. 68800	Protección de la madera en la construcción.
D.I.N. 68140	Uniones de madera mediante entalladura múltiple.
D.I.N. 68141	Ensayos de colas y uniones encoladas.



PARTE 4: BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFÍA

Luis García Esteban, Antonio Guindeo Casasús, Cesar Peraza Oramas y Paloma de Palacios.
LA MADERA Y SU ANATOMÍA: ANOMALÍAS Y DEFECTOS, ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE CONÍFERAS Y FRONDOSAS, IDENTIFICACIÓN DE MADERAS, DESCRIPCIÓN DE ESPECIES Y PARED CELULAR.
Fundación Conde del Valle de Salazar

Santiago Vignote Peña e Isaac Martínez Rojas
TECNOLOGÍA DE LA MADERA – 3ª ed.
Editorial Aedos, s. a. Mundi-Prensa, 2006

Enrique Zanni
PATOLOGÍA DE LA MADERA. DEGRADACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA - 1ª ed.
Editorial brujas, 2004. Universidad de Arquitectura de Córdoba.

Francisco Javier Viña Rodríguez
LA MADERA COMO MATERIAL DE EXPRESIÓN PLÁSTICA. ANALISIS ESTRUCTURAL Y TRATAMIENTO.
Tesis doctoral. Universidad de la Laguna.

R. Argüelles y F. Arriaga
ESTRUCTURAS DE MADERA. DISEÑO Y CÁLCULO – 2ª ed.
Publicación Aitim, 2000.

Buenaventura Bassegoda Musté
TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN / II
Editores técnicos asociados, S. A.

Paul Gauthier
LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA LAMINADA - MANUAL TÉCNICO.
Pulicación Aitim, 2003.

Francisco Javier Jimenez Peris, Isabel Cuevas Espinosa y Enrique Morales Méndez
MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL. RESISTENCIA AL FUEGO Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.
Editorial Abecedario

NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE, citada anteriormente.

REVISTAS DIGITALES Y PÁGINAS WEB

APUNTES EN CONSTRUCCIÓN DE MADERA [web en línea] <>
<http://casa-eficient.webs.com/documents/D-Tecnics/Apuntes%20Calculos%20Madera.pdf>

LA MADERA: ESTRUCTURA, FUNCIÓN, FORMACIÓN Y MANTENIMIENTO [Web en línea] <>
http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia/PublicacionesPDF/La_madera.pdf

LA MADERA [Web en línea] <> <http://www.construmatica.com/construpedia/Madera>

DEGRADACIONES DE LA MADERA [Web en línea] <>
<http://es.scribd.com/doc/52910649/07-Cap-6-Degradacion-de-Maderas>

MADERA ASERRADA [Web en línea] <>
<http://www.andamasa.com/index.php?contenido=madera-aserrada>

DEGRADACION Y DESTRUCCIÓN DE LA MADERA [Web en línea] <>
<http://mueblesdomoticos.blogspot.com.es/2010/11/degradacion-y-destruccion-de-la.html>

TRATAMIENTOS Y CONSERVACIÓN DE LA MADERA [Web en línea] <>
<http://www.lignumfacile.es/procesos>

ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA [Web en línea] <>
<http://www.promateriales.com/pdf/pm0104.pdf>

LA MADERA LAMINADA ENCOLADA: CARACTERISTICAS TECNICAS Y PROPIEDADES (revista digital madera) [Web en línea] <> [http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-\(MLE\).html](http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-(MLE).html)

ADHESIVOS ESTRUCTURALES [Web en línea] <>
http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2616_13938.pdf

UNIONES DE LA MADERA [Web en línea] <>
http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_7-fijaciones_y_uniones.pdf