

UNIVERSIDAD DE GRANADA

TESIS DOCTORAL

**EL MDF COMO MATERIAL ESCULTÓRICO. ESTUDIO ANALÍTICO,
TÉCNICO, ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DEL CONGLOMERADO DE
MADERA DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA**



PRESENTADA POR D. CÉSAR DAVID HERNÁNDEZ MANZANO

DIRECTOR: DR. D. ANTONIO MARTÍNEZ VILLA
CODIRECTOR: DR. D. RICARDO MARÍN VIADEL

DEPARTAMENTO DE ESCULTURA

AÑO 2012

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: César David Hernández Manzano
D.L.: GR 361-2013
ISBN: 978-84-9028-338-7

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE ESCULTURA



D. Antonio Martínez Villa, doctor y Profesor Titular de la Universidad de Granada y D. Ricardo Marín Viadel, Catedrático de la Universidad de Granada.

HACEN CONSTAR

Que la presente tesis doctoral titulada EL MDF COMO MATERIAL ESCULTÓRICO. ESTUDIO ANALÍTICO, TÉCNICO, ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DEL CONGLOMERADO DE MADERA DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA ha sido realizada bajo nuestra dirección por D. César David Hernández Manzano cumpliendo las suficientes condiciones para que su autor pueda optar al grado de doctor por la Universidad de Granada.

Siendo así, autorizamos su presentación.

AGRADECIMIENTOS

¡Vaya! una vez más vuelve a cumplirse esa graciosa paradoja en la que los agradecimientos, parte con la que se comienza la lectura de cualquier tesis, han de escribirse una vez finalizada. Es en esta parte donde se saborea todo el proceso y el tiempo transcurrido desde el inicio de la investigación hasta la finalización de la misma y es por tanto, que en ella han de estar los agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que de alguna forma u otra han contribuido al desarrollo de esta tesis.

Debo comenzar agradeciendo a mi gran amigo, profesor y cómo no, director de esta tesis D. Antonio Martínez Villa, su apoyo desde el planteamiento inicial, cuando sólo era una idea carente de forma, su implicación durante todo el proceso de investigación, la confianza depositada en mí y en mi autonomía sin ser asfixiante en su dirección. De igual modo, quiero agradecerle este y todos los proyectos en los que nos hemos embarcado y en los que a pesar de las trabas encontradas, siempre hemos conseguido llevarlos a buen puerto, aprendiendo en todo momento de su experiencia, paciencia y buen trato. ¡Nos hemos reído mucho y continuaremos haciéndolo!

Agradecer también al profesor D. Ricardo Marín Viadel, la codirección de esta investigación, su confianza en el proyecto y sus sabios consejos y correcciones, derivadas de una larga y fructuosa experiencia en el campo de la investigación en Bellas Artes y que han servido para enriquecer en lo máximo posible esta tesis doctoral.

Como soy un tipo familiar, quiero dedicarle unas líneas especiales a mi familia, nombrando sólo a unos pocos, pero sabiendo todos ellos que han estado y están presentes. A mis padres, Paco y Manoli, quienes me han dado todo lo que soy, su apoyo, cariño y dedicación completa desde el día que nací, por ser unos referentes claros de amor y constancia. Ejemplo de que partiendo desde lo mínimo, con esfuerzo y confianza, pueden alcanzarse grandes cosas y por no dar nunca la última oportunidad a nadie. A mis hermanos Alba y Fran, a ella por no haber podido dedicarle el tiempo deseado, siendo ya una mujer y a él, por no haber podido estar más presente en esos momentos tan difíciles por los que ha pasado en estos tres últimos años. A Helena y a Lucía, que son dos soles y que siempre me reciben con una sonrisa entusiasta cada vez que consigo escaparme a verlas, aportando vida al hogar y dando todo el cariño que han aprendido en él. A Tatá y a Mai, porque a pesar de estar a sólo 15 minutos de distancia, la ocupación y la falta de tiempo han hecho que nuestras varias citas semanales se reduzcan a unas cuantas mensuales, dejando de lado esas tardes de charla y recuerdos de niñez, que me ponen en situación dentro del árbol genealógico, empapándome del aura de bondad que desprende, de sus risas y sus sonrisas. A Pai, porque siempre has estado presente. Al resto de mi familia, Papi y Mami, tíos y primos, por su interés permanente durante el transcurso de esta investigación y porque de algún modo también habéis aportado vuestro grano de arena o por lo menos habéis sabido comprender mi ausencia. A Paco y Lola, porque siempre han mostrado entusiasmo en cuanto a la dedicación específica a esta tesis y por ser dos grandísimas personas que comprenden y valoran el esfuerzo necesario para que de sus frutos.

Deseo dedicar unas líneas especiales a Elena, por ser la mejor compañera de este viaje que es la vida, por su especial cariño en pensar, decir y hacer las cosas, por ser capaz de amar con bondad lo justo y mantenerse firme ante lo injusto. Su paciencia la hace santa y quisiera disculpar mis momentos de abstracción, falta de atención y poca dedicación a nosotros, elogiando siempre su comprensión y apoyo, que son, antes que nada, junto a los del resto de mi familia, dos grandes pilares en los que se sostiene esta tesis y los demás proyectos de vida. Te quiero.

Agradecer cómo no, al Departamento de Escultura de la Universidad de Granada el interés demostrado en cuanto al tema de investigación propuesto. Al profesor y amigo D. Balbino Montiano Benítez por su apoyo e ilusión y a los demás miembros del departamento que han contribuido. Agradecimientos de igual modo al Departamento de Escultura de la Universidad de Sevilla y en especial al profesor D. Guillermo Martínez Salazar, por la búsqueda inmediata de la información requerida.

Quisiera agradecer especialmente a las profesoras Dña. Teresa Espejo por la facilitación del instrumental necesario y al Departamento de Química Analítica de la Universidad de Granada y todos sus investigadores, haciendo especial mención a la profesora Dña. Ana López por su amabilidad, dedicación y supervisión y a la investigadora Dña. Esther Castillo por asumir como suyos los correctos procedimientos de análisis y obtención de resultados, restándole por tanto un valioso tiempo.

Agradecer a D. Francisco Herranz la inmediata facilitación de documentación y normativa en el momento en que se solicitó.

Para finalizar, me gustaría agradecer a mis amigos Javi, Miguel, Aitor, y Pablo su cercanía aún estando, unos a miles de kilómetros y otros, tan cerca. Siempre han estado presentes e interesados, manteniendo la camaradería que nos une desde hace años. Mis agradecimientos también a Miguelón, Eugenio y María.

ÍNDICE

DELIMITACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN Y	
METODOLOGÍA.....	17
I. Antecedentes.....	19
II. Justificación del tema.....	23
III. Hipótesis y objetivos.....	26
IV. Metodología.....	29
CAPÍTULO PRIMERO. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.....	31
1 LA NATURALEZA DE LA MADERA COMO MATERIA PRIMA. 	33
1.1 Estructura macroscópica.....	34
1.2 Estructura microscópica.....	37
1.3 Estructura ultramicroscópica.....	38
1.4 Composición.....	39
2 PROPIEDADES DE LA MADERA.....	41
2.1 Propiedades físicas.....	42
2.2 Propiedades mecánicas.....	50
2.3 Propiedades químicas.....	55
3 CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA LA	
 CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS.....	57
3.1 Coníferas.....	57
3.2 Frondosas.....	58
3.3 Maderas africanas.....	60
3.4 Maderas exóticas.....	60

4	PARTICULARIDADES DE LA MADERA: “DEFECTOS”, “ANOMALÍAS” Y “ALTERACIONES”	61
4.1	Defectos por curvatura del tronco.....	61
4.2	Conicidad.....	61
4.3	Aportación cambial irregular.....	62
4.4	Defectos provocados por la disposición de las fibras.....	63
4.5	Defectos causados por agentes ambientales.....	63
4.6	Causas bióticas y abióticas de deterioro en la madera.....	64
4.7	Otros defectos constitutivos: nudos.....	66
4.8	Fibras entrelazadas y fibras reviradas.....	67
	CAPÍTULO SEGUNDO. MADERA E INDUSTRIA	69
5	COMPUESTOS DERIVADOS DE LA MADERA	71
5.1	Los orígenes de los tableros conglomerados de madera: breve reseña histórica.....	71
5.2	Tableros derivados de la madera: de partículas y de fibras. Características generales e impacto medioambiental.....	74
5.3	Tablero de fibras.....	80
5.4	Clasificación según el proceso de fabricación.....	81
5.5	Clasificación según las condiciones de utilización.....	82
5.6	Clasificación según los tipos de utilización.....	83
5.7	Codificación de color para la clasificación de los tableros según sus características.....	84
	CAPÍTULO TERCERO. EL PAPEL DE LA MADERA EN ESCULTURA	85
6	USOS Y APLICACIONES DE LA MADERA	87
6.1	El papel de la madera en escultura.....	87
6.2	Maderas más usadas en escultura y escultura policromada.....	93

6.3	La preparación de la madera para su trabajo en escultura: el embón.....	96
6.3.1	Tipos de unión y elementos de ensamblaje de la madera en escultura.....	101

CAPÍTULO CUARTO. INVESTIGACIÓN SOBRE EL MATERIAL TABLERO DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA (MDF): PROPIEDADES FÍSICAS, ESTRUCTURALES, MECÁNICAS Y APLICATIVAS.....	107
---	------------

7	NORMATIVA Y ESPECIFICACIONES COMUNES A TODOS LOS TIPOS DE TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA.....	109
7.1	Normas de ensayos.....	109
7.2	Normas relacionadas con el contenido de formaldehído de los tableros.....	110
7.3	Normas específicas para los tableros de fibras.....	111
7.4	Normas y especificaciones para los tableros de fibras MDF.....	113

8	REGLAMENTO DEL SELLO DE CALIDAD DE LA ASOCIACION DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA (AITIM) Y DE LOS TABLEROS DE FIBRAS MDF PARA CARPINTERÍA Y MOBILIARIO.....	119
8.1	Objetivo.....	120
8.2	Procedimiento de concesión.....	121
8.3	Seguimiento de los productos a los que se les ha concedido el sello.....	125
8.4	Marcado.....	126

9	TABLEROS DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA MDF.....	127
9.1	Fabricación del tablero de fibras MDF: materia prima y su procesado.....	128
9.2	Propiedades físicas de los tableros de fibras MDF.....	142

9.3	Contenido en formaldehído.....	151
9.4	Características mecánicas de los tableros derivados de la madera.....	156
9.4.1	Otras características de los tableros de fibras MDF frente a la madera natural.....	158
9.5	Dimensiones comerciales de los tableros de fibras MDF..	159
10	ADHESIVOS INDUSTRIALES PARA LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA MDF Y PARA LA UNIÓN DE PIEZAS.....	160
10.1	Los polímeros.....	162
10.2	Adhesivos orgánicos sintéticos.....	171
10.2.1	Adhesivos termoestables.....	172
10.2.2	Adhesivos termoplásticos.....	183
11	FORMACIÓN DE LA UNIÓN.....	188
11.1	Adhesión-adherencia; cohesión-coherencia.....	188
11.2	Energía superficial: humectación.....	189
11.3	Estado superficial.....	191
11.4	Espesor del adhesivo.....	192
11.5	Características de la unión.....	192
11.6	Procesos de curado del adhesivo.....	193
11.7	Preparación de la superficie de madera.....	194
CAPÍTULO QUINTO. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL CON EL MATERIAL (MDF) SOMETIDO A PRUEBAS DE LABORATORIO.....		197
12	COMPARACIÓN DEL TABLERO DE FIBRAS MDF CON TREINTA Y CUATRO DE LAS ESPECIES DE MADERAS MÁS EMPLEADAS EN ESCULTURA.....	199
12.1	Abeto rojo.....	201
12.2	Cedro del pacífico.....	204
12.3	Pino amarillo del sur.....	207

12.4	Pino de Oregón.....	210
12.5	Pino insignis.....	213
12.6	Pino laricio.....	216
12.7	Pino marítimo.....	219
12.8	Pino silvestre/flandes.....	222
12.9	Tilo.....	225
12.10	Abedul.....	228
12.11	Aliso rojo.....	231
12.12	Arce europeo.....	234
12.13	Castaño.....	237
12.14	Cerezo americano.....	240
12.15	Cerezo europeo.....	243
12.16	Haya.....	246
12.17	Langa.....	249
12.18	Maple blando.....	252
12.19	Maple duro.....	255
12.20	Nogal europeo.....	258
12.21	Nogal negro americano.....	261
12.22	Embero/nogal africano.....	264
12.23	Ukola.....	267
12.24	Roble blanco americano.....	270
12.25	Roble europeo.....	273
12.26	Roble rojo americano.....	276
12.27	Olmo.....	279
12.28	Bossé.....	282
12.29	Bubinga.....	285
12.30	Caoba.....	288
12.31	Cedro americano.....	291
12.32	Iroko.....	294
12.33	Palo rojo/rosa.....	297
12.34	Sipo.....	300
12.35	Teca.....	303

13	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL SOMETIDO A PRUEBAS: PROBETAS.....	307
13.1	Test acelerado de absorción de humedad.....	307
13.2	Test de secado al aire.....	340
13.3	Test acelerado de secado al horno.....	366
13.4	Test acelerado de reacción ante temperaturas extremas: altas temperaturas.....	382
13.5	Test acelerado de reacción ante temperaturas extremas: congelación.....	384
14	CONSTRUCCIÓN DE EMBÓN CON TABLERO DE FIBRAS MDF.....	386
14.1	Embón de MDF por medio de acetato de polivinilo.....	387
14.2	Embón de MDF por medio de adhesivo de poliuretano en base de isocianato.....	389
14.3	Embón de MDF por medio de adhesivo vinílico en base de neopreno.....	390
15	ANÁLISIS DEL EMBÓN SOMETIDO A PRUEBAS.....	391
15.1	Test acelerado de absorción de humedad.....	392
15.2	Test de secado al aire.....	409
15.3	Test acelerado de secado al horno.....	425
15.4	Test acelerado de reacción ante temperaturas extremas: altas temperaturas.....	434
15.5	Test acelerado de reacción ante temperaturas extremas: congelación.....	436
16	TEST DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO.....	438
16.1	Descripción del método de análisis.....	438
16.2	Descripción de las probetas antes de ser sometidas al test.....	442
16.3	Resultados tras el periodo de 144 horas de exposición al test.....	451
16.4	Resultados generales de las pruebas anteriores.....	486

CAPÍTULO SEXTO. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADO SUPERFICIAL PARA LA ESCULTURA EN MADERA.....	489
17 INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES Y ACTUALES DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADOS SUPERFICIALES PARA LA ESCULTURA EN MADERA.....	491
17.1 Escultura: materia, forma y color.....	491
17.2 Dorado, estofado y encarnado: aspectos técnicos.....	495
17.3 Problemas de conservación.....	509
18 ENSAYOS DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADO SUPERFICIAL SOBRE MUESTRAS DE TABLERO MDF.....	510
18.1 Preparación del soporte mediante aparejo tradicional.....	510
18.2 Preparación del soporte mediante imprimación acrílica industrial.....	513
18.3 Dorado al agua.....	514
18.4 Dorado y plateado mediante mixtión al agua sobre imprimación acrílica industrial.....	517
18.5 Estofado sobre dorado al agua.....	520
18.6 Estofado sobre dorado y plateado mediante mixtión acrílica.....	522
18.7 Estofado mediante veladuras sobre dorado y plateado....	524
18.8 Carnaciones sobre aparejo tradicional.....	526
18.9 Carnaciones sobre imprimación acrílica industrial.....	530
19 OTROS PRODUCTOS EMPLEADOS PARA LA PROTECCIÓN Y ACABADO SUPERFICIAL DE LA MADERA Y LA ESCULTURA.....	532

20	APLICACIÓN DE BARNICES, TINTES Y CERAS SOBRE MUESTRAS DE TABLERO MDF.....	535
20.1	Barniz sintético coloreado.....	535
20.2	Barniz al agua coloreado.....	537
20.3	Ceras protectoras.....	539
20.4	Tinte al agua.....	541
20.5	Betún de judea.....	543
	CAPÍTULO SÉPTIMO. EL TABLERO DE FIBRAS MDF COMO MATERIAL ESCULTÓRICO.....	545
21	EL TABLERO DE FIBRAS MDF Y SU TRABAJO EN ESCULTURA.....	547
21.1	Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: busto femenino mediante embón macizo.....	547
21.2	Preparación del soporte y técnicas de acabado superficial sobre escultura en MDF: busto femenino.....	565
21.3	Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: figura masculina mediante embón hueco, unión y ensambles de partes exentas al bloque principal.....	580
21.4	Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: Talla directa.....	606
	CONCLUSIONES.....	611
	BIBLIOGRAFÍA.....	623
	ANEXO.....	635

DELIMITACIÓN DE LA HIÓTESIS DE INVESTIGACIÓN Y METODOLOGÍA

I. ANTECEDENTES.

En la concepción de Arte y de creación artística y escultórica, los modelos, las técnicas y los materiales empleados para ello, no deberían seguir actualmente un modelo fijo por el cual canalizar las inquietudes creativas en cuanto a forma y concepto. Son la continua transformación, el movimiento incesante y el constante reciclaje de pensamiento, los que influyen en la construcción de los nuevos lenguajes que aportan su grano de arena al mundo del arte, donde los medios tecnológicos e innovadores en el ámbito de la investigación en materiales, incorporan recursos válidos para dicha construcción.

Si consideramos la propia creación **artística como modo de investigación, tanto conceptual como procedimental**, atender a la figura de los artistas como investigadores en permanente trabajo o referirnos a nuestra propia labor, nos daría claves para el estado en cuestión. Como afirma Juan Fernando de Laiglesia, Catedrático de la Universidad de Vigo, en su escrito *El rizo metódico* (2007) sobre la investigación en Bellas Artes, “[...] *dificultad de exponer el acto creador como forma rigurosa de conocimiento en un terreno universitario [...]*”¹ ha de tenerse en cuenta que el carácter experimental de la obra de arte da como resultado el conocimiento simultáneo de las reglas que rigen esta actividad, ampliando el horizonte de posibilidades en una extensión sin límites que conduciría al encuentro de soluciones viables a problemas específicos de la creación artística mediante un método de ensayo y error. En este caso, podemos hacer referencia a un sin fin de autores que con un discurso artístico diferente entre sí, se sirven del empleo alternativo de materiales para el desarrollo de su obra escultórica como el donostiarra Eduardo Chillida, el estadounidense Richard Serra o el granadino Miguel Moreno (este último citado por la proximidad a nuestro ámbito de investigación universitario) que a primera instancia pueden distar entre ellos, pero a medida que la lectura fluya caeremos en la cuenta de que hay más puntos en común que disimilitudes.

¹ Juan Fernando de Laiglesia, elabora el texto *El rizo metódico. Cómo investigar saludablemente en Bellas Artes* con el fin de ofrecer una guía con parámetros para la investigación en esta rama del conocimiento y proporcionársela a aquellos alumnos de programas de doctorado que comienzan sus primeras investigaciones, como es el caso.

La personal construcción de los lenguajes artísticos de cada autor crea una trayectoria profesional marcada por obras relevantes dentro de la historia de la escultura desde el último siglo hasta la actualidad.

Si atendemos a Chillida, nos referiremos a una de sus obras con las que culminó su carrera: *Elogio del horizonte*, una escultura de gigantescas dimensiones construida en hormigón armado. Diez metros de altura y 200 metros cúbicos de hormigón armado hacen que sobre la linde con el mar del Cerro de Santa Catalina, en Gijón, se erijan más de 500 toneladas de peso contenidas en una pieza única. Como hemos dicho, son 10 metros de altura que Chillida y sus colaboradores instalaron en 1990 a partir de dos pilares que actúan como soportes. Está considerada como la obra cumbre de este autor en cuanto a obra pública realizada en materiales de construcción aplicados a la creación artística, donde el artista, en su temática personalísima y registrada en obras de este tipo, encuentra la apertura de espacios. Una visión panorámica que permite rasgar las fronteras para encontrarse destinados al diálogo y la convivencia.

Una de las formas para aunar escultura, arquitectura y espacios naturales abiertos al público es emplear materiales propios de la construcción para resaltar sus cualidades estéticas y plásticas. En el caso de *Elogio del horizonte*, Chillida hace un gran trabajo y el resultado visto en el registro de sus obras es muy significativo. Constituye un diálogo constante que deriva de las cualidades formales de la misma: una solidez casi ingravida se abre hacia el infinito, con dos brazos en forma de elipse interrumpidos en su continuidad y que sólo consiguen unirse por medio de la prolongación de la línea visual que recorre el espacio vacío. Esta es una de las características fundamentales de la obra de Chillida, Serra y Moreno, el juego entre espacio material y espacio vacío, donde los recorridos visuales de la forma se corresponden con los espacios vacíos en una relación estrecha con los principios que bien podría defender la Teoría de la Gestalt.

Hablar de las propiedades del material y la técnica empleada (encofrados y hormigón armado, curvado y doblado de planchas de acero o repujado y

soldadura), es aproximarnos al terreno de la construcción e ingeniería para hablar de una nueva forma de concebir la escultura y de abrir sus límites hasta rozar los de otras disciplinas. Establecer parámetros entre los que clasificar escultura y arquitectura sería una tarea dificultosa, atendiendo a la apariencia visual, la calidad del diseño, el material, recursos y procedimientos para su construcción y lugar de emplazamiento...más que si nos centramos en la funcionalidad de ambas. Aquí tendríamos la respuesta, prácticamente toda la arquitectura se concibe para ser habitada, mientras que la escultura no ha de ser así. Pero en el caso de estos autores, la escultura proyectada para el espacio público también es habitada, es transitada e interactiva con el espectador. Escultura y arquitectura se aúnan en una forma de construirse y de significarse.

Miguel Moreno conduce su proyecto investigativo escultórico a abarcar diferentes visiones de la imagen representada, inclinándose hacia la figuración en su madurez y desarrollando un estilo propio condicionado por el material empleado y enriquecido por las técnicas de repujado y soldadura y como dijimos, el diálogo constante entre espacio físico y espacio vacío. La *Venus de Armilla*, construida en chapa de hierro forjado y soldado que se erige alcanzando una altura de 9 metros por 2 de base, ubicada en la Plaza de la Constitución de la localidad de Armilla (Granada), es una escultura en la que se visualiza un estudio exhaustivo de la figura humana y la composición anatómica femenina con un técnica depurada que roza el virtuosismo.

Richard Serra, tiene sin embargo, una tendencia clara a la simplificación de formas partiendo de referentes figurativos, llegando a convertirse en uno de los máximos exponentes dentro de la escultura minimalista. *Snake* (1994-1997) instalada en el Museo Guggenheim de Bilbao, es una obra formada por tres planchas de acero corten casi en paralelo que describen el movimiento sinuoso de una serpiente. Sus estudios de arte en Estados Unidos y su profesionalización dentro del ámbito del acero, hicieron que materiales propios de la ingeniería y edificación se convirtiesen en adecuados para la escultura.

Podemos ver, por las características descritas, que se establece un principio de relación entre estos autores y sus respectivas obras en cuanto a la elección y aplicación del material, para que determine favorablemente en factores destacables como la monumentalidad y la perdurabilidad. Parten de la investigación por medio de la creación artística, siendo antes que nada, materiales y procedimientos propios de la industria y la ingeniería aplicados, ahora sí, a la creación artística y escultórica.

No podemos olvidar a la hora de remitirnos a los antecedentes de esta investigación, los trabajos realizados durante años en la propia Universidad de Granada. Los investigadores del departamento de escultura de esta Universidad, han creado desde años atrás, una línea marcada por la **interdisciplinariedad del arte en cuanto al empleo de nuevos materiales y nuevos procedimientos dentro del campo de la escultura**. Tal es el caso del Profesor A. Sorroche Cruz en el empleo del poliestireno expandido como modelo gasificante en la fundición artística o el Profesor A. Martínez Villa (director de esta tesis) mediante la aplicación del poliéster en la realización de imaginería popular tradicional, así como el profesor R. Peralbo Cano, en su investigación sobre hormigones y morteros poliméricos, entre otros.

A la hora de investigar sobre el tablero MDF como material escultórico, es el contacto prolongado con este material en trabajos propios de la carpintería el que nos induce en la búsqueda de la aplicación artística. No encontramos, en este caso, referentes claros de autores que empleen dicho material en sus obras a excepción del Catedrático de escultura de la Universidad de Sevilla Sebastián Santos, quien introdujo el MDF en las aulas. Tenemos constancia, pero no acceso, de alguna obra realizada por S. Santos durante su trayectoria artística personal, pero la falta de referencias bibliográficas nos impide remitirnos a antecedentes más claros que el de este caso. No obstante, el tablero MDF sí es empleado en otras disciplinas artísticas tales como la xilografía, siendo un material propicio y alternativo a la madera natural. De igual modo, encontramos referencias de elementos y objetos de fabricación seriada, reproducciones y obras limitadas al recorte en plano de tableros MDF

destinadas a la decoración de espacios interiores que distan, en todo caso, de la creación escultórica y sus procedimientos.

II. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

Según se estructura nuestra vida y en cuanto a la naturaleza del ser humano se refiere, **la creatividad es una pieza fundamental en el puzzle que compone el desarrollo psíquico y social**. Como sabemos, nos regimos en torno a construcciones sociales y prácticas convencionales. Éstas y otras prácticas son el fruto del “vivir creador” que por naturaleza tiene el hombre. Es decir, surgen o se crean una serie de problemas a los que hay que darles solución, y esa solución parte desde una idea que se extiende a todos los campos posibles: ciencia, filosofía, literatura, religión, arte, etc.

El hecho de crear es de naturaleza humana en cuanto a estructuración social y psíquica y responde a los planteamientos a resolver en un mundo que se constituye en la movilidad potencial de todos los sistemas de relaciones, en el que el concepto vital de lo posible (en nuestro caso es un aliciente en el desarrollo de nuestra investigación), como proyecto de creación, es un horizonte a perseguir. En el caso de artistas plásticos, escritores, poetas, músicos, actores, etc., ese proyecto de existir se extiende al proyecto de reelaborar la existencia, es decir, de intentar dar esa vuelta de tuerca a cuestiones que pueden darse por zanjadas; dedicando un tiempo precioso a la práctica artística, descubriendo sensaciones en su proceso de creación: transformando lo imposible en posible y esto último en lo actual.

En el proceso de creación hay que pensar el qué hacer y el cómo hacerlo. A finales del siglo XIX, los escultores comenzaron a romper con la idea académica tradicional de escultura como mimesis canónica, para desembocar en ideas algo más abstractas e interpretativas. Así pues, el proceso creativo surge desde el pensamiento hasta la forma, que por medio de los métodos tradicionales del trabajo de la escultura como adición (modelado, vaciado) y sustracción (todos los procesos de talla) se desarrolla un tercero a tenor de

toda la revolución que acontecía en este siglo: el método constructivo. El surgimiento de esta nueva forma de entender el arte y comprender la escultura, trae consigo nuevos procesos creativos que desligan al artista de ser el único artífice participante en la obra, sino que incluye a otros profesionales que junto él, dan forma y solución a cuestiones técnicas planteadas en la proyección de la idea. Tal es esta colaboración **interdisciplinar en el proceso de creación**, que no sólo participan artista y personal ejecutivo y técnico, sino que los procesos industriales, sistemas informáticos y recursos audiovisuales cobran una importancia determinante en lo que se refiere al arte más actual.

Unos ejemplos ilustrativos para hablar de **la importancia de lo procedimental en arte** y en especial en escultura, son los casos de Eduardo Chillida en *El Peine del Viento*, San Sebastián (1976) y de Richard Serra, que para realizar la escultura *Equal-paralele/Guernica-Bengasi* (1986), en planchas de acero corten tuvo que contar con los servicios de de la fundición alemana Funch y únicamente proporcionales las características técnicas y medidas precisas de las planchas.

Los **procesos y sistemas de reproducción escultórica** para transformar en otro material una obra, como fundición en bronce o reproducciones en polímeros (poliésteres), como en cualquier otro material, las llevan a cabo cada vez más **equipos profesionales** especializados en la materia, alejándose estos procesos del propio oficio de escultor y las limitaciones infraestructurales y logísticas que puedan acarrear.

Por lo tanto, estamos en condiciones de **afirmar que el proceso de creación en escultura es ahora más que nunca investigación e innovación**, siendo conscientes de que la creatividad, es el punto de arranque del proceso para un desarrollo completo de la obra, acompañado de las propiedades de descubrimiento, análisis y concreción de las formas, los materiales y los procedimientos a seguir. Por ello, **el artista y el investigador deben mantener una mente abierta y demostrar la flexibilidad necesaria para desarrollar plásticamente cualquier nueva posibilidad que surja sin que signifique un alejamiento de los objetivos de creación originales.**

Hasta ahora, hemos comentado el proceso de creación escultórica y la importancia del análisis de los materiales utilizados en el mismo. De esta premisa parte el tema a tratar en esta investigación, que no es ni más ni menos que analizar el tablero de fibras MDF y ver sus posibilidades plásticas y estructurales para, a partir del mismo, realizar escultura. Este material es en esencia un **conglomerado de fibras de madera natural**. Esta relación entre un material de origen natural y un producto derivado de su transformación en la industria con carácter de reciclado, (de nuevo como unión entre tradición e innovación) es motivo del cambio que se debe a una visión distinta sobre ese material y esa aplicación.

Pero esta nueva visión e interiorización del material reciclado y el objeto elaborado a partir de él (escultura) puede desembocar en otra percepción que lo catalogue de innoble, no artístico o pobre. La innovación asusta a priori, pero si se persiste en la investigación y obtención de resultados, puede convertirse en un tema apasionante. No obstante, esta jerarquización de los materiales no deja de ser una cuestión sujeta a percepciones y condiciones sociales, económicas y políticas que rodean al campo de las artes. Quizás ahora, sean los medios tecnológicos de transformación los que otorguen el rango de nobleza a los productos que sacan al mercado. La mejora de cualidades y la especificidad del producto para determinadas funciones hacen que éste obtenga la categoría de nobleza o la adecuación preferente por sus características y resultados a la labor que han de desempeñar y a su estado mientras se manipulan. En el caso de la escultura sería así: los materiales nobles como las maderas nobles, son aquellos de alto valor económico y estético frente a otros, que en principio no los tienen. Además, la nobleza quedaría denotada por las características propias de la madera a la hora de su comportamiento frente al tallado (por ejemplo), su estado de conservación y la propia exclusividad derivada del difícil acceso a según qué tipo de madera. Así pues, **todo material adquiere un nuevo valor si se le aplica una nueva mirada, un nuevo enfoque que abra un nuevo campo de posibilidades.**

Haciendo un inciso para citar al prestigioso historiador del arte Henri Focillon, incluimos:

“Las materias no son intercambiables, pero las técnicas se penetran y en sus fronteras la interferencia tiende a crear materias nuevas”²

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

En este contexto encontramos fuertes vínculos entre escultura, materiales y técnicas tradicionales, así como en el referente de representación figurativa y las alternativas materiales que aúnan tradición e innovación. No sólo para facilitar los procesos, sino como hemos dicho, para ofrecer alternativas que sean útiles a las nuevas construcciones de los lenguajes plásticos bajo la cobertura ecléctica de los productos industriales. Por ello, la hipótesis de esta investigación gira en torno a la idea del **empleo del tablero de fibras de densidad media (MDF) como material escultórico, procurando realizar su estudio desde un enfoque químico, físico, estructural, técnico y procedimental, manteniendo un paralelismo entre escultura, nuevos materiales y técnicas tradicionales.**

No se pretende, en ningún caso, hacer una catalogación comercial del producto a modo empresarial, ya que seguramente caeríamos en la trampa de la suposición y nuestro trabajo quedaría falto de exactitud e incompleto. Sin embargo y como objetivos de esta investigación, creemos necesaria la introducción a fondo en los entresijos de este material, sus antecedentes y productos resultantes tras nuevas aportaciones desde la investigación en ingeniería e industria, además de las funciones a las que se destina para fundamentar y constatar nuestra hipótesis y su aplicación al campo de la escultura. Los objetivos de esta investigación son:

² FOLLICEN, H. (1983) *La vida de las formas y elogio de la mano*. Xarait Ediciones. Madrid. Pág. 43.

1. Investigar la formación física y química, además de las características mecánicas y el comportamiento ante condiciones adversas, antecedentes y productos resultantes, sometiendo el tablero MDF a diferentes **pruebas de laboratorio y test de envejecimiento**:
 - a. Test acelerado de absorción de humedad.
 - b. Test acelerado de secado al aire y al horno.
 - c. Test acelerado de reacción ante temperaturas extremas: congelación y altas temperaturas.
 - d. Test acelerado de comportamiento ante la acción de rayos UVA.
 - e. Otras pruebas de envejecimiento.

2. Descubrir las nuevas aportaciones a este material desde **la investigación en ingeniería e industria** y las funciones a las que se destina.

3. **Construir bloques macizos o embones** de madera MDF emulando los modos de preparación usados con la madera natural en escultura atendiendo a:
 - a. Tipos de unión y ensamble de piezas.
 - b. Adhesivos comunes empleados.
 - c. Otros tipos de adhesivos alternativos.
 - d. Otros modos de formación de embones de mayor tamaño y ensamble de piezas exentas del bloque principal.
 - e. Analizar el comportamiento de los embones ante diferentes pruebas de laboratorio y test de envejecimiento tal como se realizará en las probetas del apartado 1.

4. Comprobar el comportamiento de este material en la aplicación al campo de la escultura empleando **técnicas y procedimientos propios de la talla** en madera como:
 - a. Talla y desbaste manual empleando herramientas de corte como gubias y formones.
 - b. Desbaste mecánico empleando herramientas eléctricas.
 - c. Procesos de homogeneización de la superficie tales como

escofinado y lijado manual, así como mediante el empleo de herramientas eléctricas.

5. **Explorar las posibilidades plásticas** de acabado superficial de las obras atendiendo a:
 - a. Admisión de productos tradicionales y alternativos para la preparación del soporte.
 - b. Técnicas y procedimientos tradicionales y actuales de aplicación de acabados y policromías.
 - c. Aplicación de productos de acabado y protección ante agentes de deterioro bióticos y abióticos.

Fue la convicción de que la **obra de arte se compone esencialmente de concepto y materia** la que nos impulsó a la realización de esta investigación sobre los compuestos derivados de la madera. Quizás el trabajo con estos materiales, atendiendo únicamente al aspecto funcional y formal para el que fueron pensados (mobiliario, carpintería y elementos estructurales) era un factor que reclamaba una vuelta de tuerca para enfocar sus aplicaciones al terreno creativo de la escultura, aunando así dos ámbitos: tradición e innovación. Fue necesario entonces, deshacernos de prejuicios y arquetipos ante la idea, extraña y algo discutible a priori, de emplear este material en escultura sirviéndonos de medios y procedimientos tradicionales propios de la talla en madera natural e imagería.

Ante todo esto nos surge una cuestión que servirá de hilo conductor mientras se desarrolle esta investigación: **la relación de concepto y materia en la obra de arte**. La capacidad y el proceso creativo recorren un sendero que va desde la idea al concepto, pasando por la materialización, que servirá de mediador entre ambos y entre el espectador. Es aquí, en la materialización, donde la capacidad creativa ha de encontrar soluciones inusuales por medio de la incorporación de **materiales nuevos o la aplicación, distinta a la habitual, de otros ya existentes** con el fin de elaborar una riqueza plástica en el lenguaje artístico. Dentro del periodo en que nos hallamos, las investigaciones dentro del campo de los materiales y procedimientos o técnicas pueden llegar a

ser consideradas de irrelevantes, pero recordando las palabras de A. Martínez Villa, director de esta tesis, *la técnica per sé es inerte, pero ligada íntimamente al concepto, cobra de nuevo sentido hablar de técnica*, reforzamos el empeño en desarrollar nuestra investigación.

IV. METODOLOGÍA.

A la hora de abordar los objetivos de esta investigación y la hipótesis que funciona como eje vertebrador entre todos los apartados de la misma, la elección de un plan de trabajo o una metodología específica es de crucial importancia. En este caso, **la metodología de investigación está basada y dirigida a la práctica en Creación Artística siguiendo los parámetros específicos de Practice based Research; Practice led Research in Visual Arts o Art Practice as Research (Leavy, 2009; Sullivan, 2010; Barret and Bolt, 2010; Biggs and Karlsson, 2011)**

De un modo general la metodología seguida será deductiva, partiendo de presupuestos comparativos y progresivos, e inductiva a partir de la consecución de la hipótesis inicial. En este caso, era necesario, irrevocablemente, hacer una batida bibliográfica y documental sobre temas generales y específicos del ámbito de las Bellas Artes, específicamente en la rama de Escultura, Ingeniería Industrial, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Ingeniería de Montes, Arquitectura, Física, Química y Tecnología de la Madera; además de aquellas investigaciones que como antecedentes, se han realizado en otras universidades españolas y las publicaciones resultantes de tales trabajos. Como es lógico, aquellas instituciones que se dedican a la investigación sobre las Industrias Madereras y fabricación de tableros, expedición de certificados de calidad y centros de investigación que poseen portales web de acceso público mediante los cuales obtener un sin fin de información, han sido de vital importancia en este trabajo, por la calidad de la información y por la inmediatez en el acceso.

Al darle un carácter experimental añadido a nuestra investigación en el que manipular y someter a pruebas y ensayos el material estudiado, el papel del taller como laboratorio de ideas y ensayos de nuevas fórmulas ha jugado un papel fundamental como escenario de la investigación donde lo ocurrido será registrado y anotado; ofreciendo poco a poco respuestas al problema que se plantea en inicio y como no, marcando nuevas incógnitas que puedan ser llevadas a su resolución en investigaciones futuras.

No obstante, los procesos de investigación experimental en el taller, necesariamente se han visto nutridos de los avances que paralelamente brindaba la documentación bibliográfica. Así pues, todos los datos técnicos que se exponen en este trabajo provienen de fuentes diferentes y contrastadas, que están debidamente señaladas y consignadas en notas a pie de página y en el apartado de bibliografía.

CAPÍTULO PRIMERO

ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

1. LA NATURALEZA DE LA MADERA COMO MATERIA PRIMA.

La madera es un material orgánico de composición fibrosa y organizada procedente de un organismo vivo vegetal: el árbol. En el mundo existen alrededor de unas 16.000 especies de árboles de ciertas dimensiones de los cuales sólo adquieren carácter comercial unas 2.000 de las maderas que producen; 500 de las denominadas coníferas y 1.500 provenientes de las frondosas. Pero únicamente se denomina madera al conjunto de elementos leñosos que conforman el tronco, las ramas y raíces, del árbol, excluyendo en todo caso a la corteza, cuyas finalidades son otras diferentes a las de este material³

A través de la historia, la madera ha sido el material más utilizado como elemento estructural para carpintería de ribera, carpintería de armar, de taller y ebanistería⁴; sin embargo sus propiedades la convierten en un material propicio para la creación estatuaría y escultórica. Su considerable resistencia a las fuerzas de tracción y compresión, además de su capacidad para resistir las “solicitaciones de flexión”, junto con su ligereza (en comparación con otros materiales de origen natural como los pétreos) y trabajabilidad, han permitido que sea un material indispensable en numerosas actividades tanto constructivas y de creación artística como para elementos auxiliares en los procesos de ambas disciplinas. Como material orgánico, la madera se compone de una estructura celular y en este primer apartado distinguiremos tres niveles mediante los que revelar las características principales de su comportamiento físico-mecánico, según destacan investigadores de la Universidad de Valencia como R. Capuz Lladró:

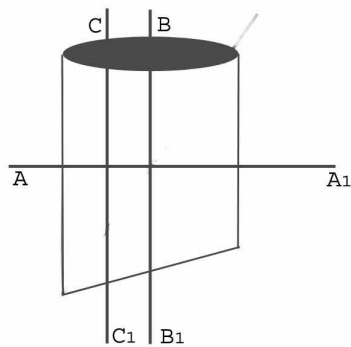
- Estructura macroscópica.
- Estructura microscópica.
- Estructura ultramicroscópica.

³ Información extraída de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 15.

⁴ *Ibíd.* Pág. 9.

1.1 Estructura macroscópica.

Podemos estudiar la naturaleza estructural de la madera a simple vista, empleando incluso cualquier instrumento que nos proporcione 10 aumentos o registrando mediante cámara fotográfica y digitalizando la imagen con similares características de aumento.



Para observar la naturaleza estructural a nivel macroscópico definiremos diferentes tipos de corte (Figura 1) a realizar sobre un tronco para apreciar:

Figura 1. Esquema de direcciones de corte en relación al tronco del árbol. Elaboración propia (2011).

- A-A1. Corte normal o de testa perpendicular al eje del tronco.
- B-B1. Corte por su eje o corazón. Plano radial por el eje del tronco.
- C-C1. Corte longitudinal al hilo paralelo al corte por su eje.



Figura 2. Elaboración propia (2011). Corte a testa y señalización de las diferentes partes del tronco.

La albura (Figura 2) es la capa exterior que alberga mayor cantidad de agua. Es de gran porosidad, poco espesor y consistencia debido a que el proceso de lignificación (aumento de rigidez por las sustancias poliméricas que segrega el tronco) está incompleto. El duramen se suele denominar también como “madera buena” o “madera perfecta” y aparece a continuación de la albura. El proceso de lignificación en esta capa está completo, por lo que sus características atribuyen en este caso durabilidad y resistencia máximas en cada tipo de madera. En cuanto a su apariencia visual, suele ser más oscura que la anterior.

Las diferentes y sucesivas capas de madera se forman anualmente a partir de la médula central describiendo la forma de anillos (percibiéndose al realizar un corte perpendicular al tronco). Así, de acuerdo a la formación de estos anillos medulares *“cada año, al inicio de la vegetación, los tejidos así formados son flojos, constituyendo la madera inicial o de primavera. En el curso del verano, los tejidos formados son más densos y más resistentes, y constituyen la llamada madera final o madera de verano”*.⁵ En estas dos capas se pueden distinguir los anillos de crecimiento en la mayoría de las especies arbóreas, gracias a las diferencias de coloración según el período vegetativo que haya sufrido el árbol o la época estacional en la que se originó el cámbium (capa embrionaria original del árbol) En la zona boreal, el período vegetativo es anual y provoca que el número de anillos coincida con el número de años transcurridos desde la germinación del árbol: anillos anuales de crecimiento. Por el contrario, en las zonas tropicales con estaciones climáticas marcadas, el número de anillos depende de la época de lluvia y de sequía, denominándose así anillos estacionales. Pero en las zonas del bosque tropical en las que las estaciones no están diferenciadas y existe gran aporte de humedad al árbol, los anillos de crecimiento apenas se diferencian y la madera tiende a ser más compacta.

⁵ PRIETO, M. (1988) *Los antiguos soportes de madera fuentes de conocimiento para el restaurador*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 3.

Se denomina madera primeriza⁶ a aquella cuyo crecimiento requiere gran cantidad de vasos para una circulación intensiva de savia (líquido interior que circula por los vasos del árbol que influye en la alimentación y crecimiento de éste) y se caracteriza por la escasez de fibras. Suelen ser las maderas de anillos estacionales o maderas de primavera en el caso de las de anillos anuales. Una característica de este tipo de madera es que su formación es rápida, adquiriendo una coloración más clara. La madera tardía o madera final, de anillos estacionales surge cuando se aproxima el fin del periodo vegetativo (verano en anillos anuales) lo que hace que aumente la cantidad de fibras y su espesor, reduciéndose así la cantidad de vasos conductores de savia. Al contrario que en el primer caso, la formación de este tipo de madera es más lenta, lo que hace que su coloración adquiera tonalidades más oscuras y que se diferencien los sucesivos anillos de crecimiento. Otro aspecto a tener en cuenta y que provoca una distinción en los tipos de madera de modo macroscópico es el grosor de los anillos. Varía según la dureza de ésta, para así clasificar en maderas blandas aquellas que crecen en las laderas de los ríos como el sauce, el chopo, álamo...los cuales tienen anillos de una anchura de hasta 2 cm. debido al crecimiento rápido derivado del aporte de agua continuo. Las maderas duras tienen los anillos de pocos mm. de grosor y son, por ejemplo, la encina o el haya, donde los lugares de crecimiento no suelen ser lugares donde exista circulación continua de agua como en el caso anterior y las células se compactan aún más.

Atendiendo a las partes del árbol, destacamos los radios medulares como elemento diferenciador de tipos de maderas. Están constituidos por células dispuestas en dirección radial y perpendiculares al eje del tronco, además de dar rigidez a la estructura de éste. Tienen relevancia en las propiedades de la madera por ser elementos con propiedades de contracción que influyen en la resistencia a la hienda y en la resistencia al agrietamiento y rajadura.

⁶ Término equivalente al de madera inicial. Información obtenida de CAPUZ LLADRÓ, R (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 17.

1.2. Estructura microscópica.

Esta estructura es visible con unos 2.000 aumentos a través de instrumentos de microscopía. Por limitaciones de acceso a este tipo de recursos, expondremos este modelo de análisis sirviéndonos de los resultados consultados en bibliografía específica.

Existen dos grandes grupos donde clasificar los tipos de madera atendiendo a su estructura microscópica y son:

- Coníferas.
- Frondosas.

Las coníferas muestran una estructura (Figura 3) que puede parecerse sencilla por el número elevado de células traqueidas en un 90 ó 95% de su composición. Su forma es alargada con una longitud de 2 a 5 mm. y un diámetro de 10 a 50 mm. Estas fibras crecen por capas anulares que se suceden unas a otras y se disponen paralelas al eje del árbol. Las fibras producidas al final del ciclo (anual o estacional) tienen las paredes más gruesas y por tanto un diámetro interior de dimensiones menores a las fibras de maderas primerizas.⁷

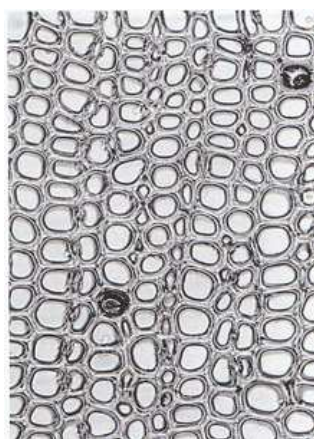


Figura 3. Imagen microscópica de madera de coníferas obtenida de GARCÍA ESTEBAN, L. et all. (2003). Págs. 59 y 79.

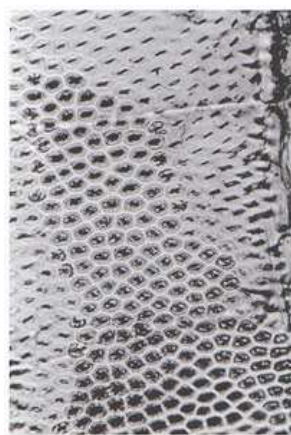


Figura 4. Imagen microscópica de madera de frondosas obtenida de GARCÍA ESTEBAN, L. et all. (2003). Págs. 59 y 79.

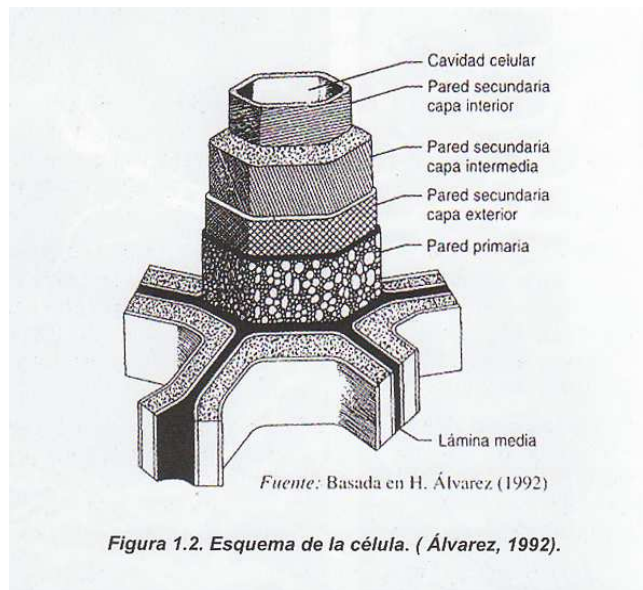
⁷ Véanse las imágenes microscópicas obtenidas de GARCÍA ESTEBAN, L. et all. (2003) *La madera y su anatomía. Anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Págs. 59 y 79.

Esta estructura fibrosa es la que se aprecia como anillos de crecimiento y supone una variación de densidad entre maderas de verano (madera tardía) y de primavera (madera primeriza) en una relación proporcional de 3 a 1.

Anatómicamente, las frondosas son de una complejidad mayor que las coníferas. Su tejido básico (Figura 4) con funciones estructurales está constituido por fibras que conforman un tejido que describe en su interior vasos conductores de diámetros considerables y longitudes variables. La disposición de dichos vasos puede ser de forma concentrada (describiendo anillos), semidifusa o difusa. Las fibras de este tipo de maderas tienen sus paredes de mayor espesor, por lo que permiten que se filtre menos cantidad de luz en su interior a diferencia de las coníferas. Por otro lado, se aprecia menor diferencia en las fibras de las maderas de verano y primavera en el tipo frondosas que en el tipo coníferas.

1.3. Estructura ultramicroscópica.

Autores como Capuz Lladró hablan también de una estructura ultramicroscópica. Para poder realizar un análisis ultramicroscópico se requieren instrumentos de observación de unos 3.000 aumentos o más. Este método nos permite llegar a observar las paredes de las células y la sustancia básica que las compone (Figura 5): la celulosa, que se agrupa en unidades mayores denominadas fibrillas elementales. A su vez se agrupan en cantidades de 100 a 2.000 cadenas de celulosa constituyendo así las microfibrillas, donde la celulosa queda embebida en una matriz de hemicelulosa y lignina. Entre las células existe una capa denominada pared intercelular que las une entre sí y se caracteriza por tener un alto contenido de lignina y carecer de celulosa. Tras la pared intercelular encontramos una pared primaria donde se disponen las microfibrillas; y la pared secundaria, dividida en tres capas según afirma este autor: una exterior, una intermedia y una interior, donde se disponen las microfibrillas en un ángulo variable de 50 a 70° en la exterior, 5 a 20° en la intermedia y con una ligera pendiente pero con un orden arbitrario, en la interior.



8

Figura 5. Esquema de la célula. (Álvarez, 1992) obtenida a su vez de Capuz Lladró, R. (2005). Pág. 20.

1.4. Composición.

La celulosa: es un polímero⁹ tridimensional formado por unidades de celobiosa (C₁H₁₀O₅) unidos en número variable entre 7.000 y 13.000 por medio de puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals¹⁰, lo que la hace muy resistente. Se descompone en contacto con el agua, pero es a la vez inalterable tras su evaporación y secado.

La lignina: es desconocida su composición química con exactitud¹¹. Al igual que la celulosa, es el polímero natural, pero en este caso formado aleatoriamente más complejo (macromolécula fenólica) y compuesto por

⁸ Información e imagen obtenida de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 20.

⁹ Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras (Nylon; Rayón), los adhesivos, el vidrio y la porcelana.

¹⁰ Tanto el puente de hidrógeno como la fuerza de Van der Waals son enlaces químicos intermoleculares que mantienen estables las uniones entre iones, átomos y moléculas que forman las sustancias y el estado físico de ellas. Así pues, las fuerzas de Van der Waals son fuerzas de atracción entre las moléculas electrónicamente neutras cuando éstas se hallan en estado sólido, líquido o gaseoso de carácter más débil que los enlaces de hidrógeno.

¹¹ Según varios autores entre los que se encuentra R. Capuz Lladró.

unidades de finilpropano responsables de formar cohesión entre las fibras celulósicas de la madera, aportando a la vez la dureza, rigidez y resistencia a compresión de la pared celular, ya que actúa como cementante entre las células. Además es uno de los productos renovables más abundantes de la naturaleza. En relación a su estructura y composición química. Pueden encontrarse diferencias estructurales de la lignina entre las de maderas de coníferas y de las frondosas.¹²

Las hemicelulosas: como en los casos anteriores, son polímeros tridimensionales polisacáridos en donde la unidad varía en pentosanos y exosanos. Su grado de polimeración es más bajo que en la celulosa, siendo entre 70 y 200 unidades. Su finalidad es unir fibras sin anular la dureza de las mismas ni sus propiedades mecánicas. El inconveniente principal y causante del deterioro de la madera es que son sustancias vulnerables al ataque de los hongos.

En la composición química de la madera, estas sustancias aparecen en proporciones variables según las especies de maderas que se analicen. Aproximadamente, la celulosa aparece en una proporción entre el 40 ó 50%, la lignina entre el 24 y el 28% y la hemicelulosa entre el 20 y el 25%. Atendiendo a la composición atómica de la madera encontramos elementos atómicos básicos apenas variables entre las especies en una proporción de:¹³

C – del 48,0 al 52,0%
O – del 41,5 al 45,5%
H – del 5,8 al 6,2%
N – del 0,1 al 0,2%
Ceniza – del 0,2 al 0,7%

¹² ALONSO, M. (2005) *Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo “resol” con sustitución parcial por lignosulfatos modificados*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 26.

¹³ Datos obtenidos de CAPUZ LLADRÓ, R (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 21.

2. PROPIEDADES DE LA MADERA.

Por causa particular de su estructura tubular y debido a su desarrollo constitucional y formativo en diferentes y sucesivas capas superpuestas y concéntricas, que en ocasiones adquieren caprichosas formas que la hacen irregular, la madera es un material que no siempre presenta las mismas cualidades físicas y mecánicas en relación a todas las direcciones que pasan por un punto. Así pues, la madera es un material anisótropo y heterogéneo y para hablar de sus propiedades físicas y mecánicas ha de citarse antes a cuál de sus direcciones nos referimos:

- a) Axial: paralela al eje de crecimiento del árbol.
- b) Radial: perpendicular al eje de crecimiento del árbol.
- c) Tangencial: perpendicular a los dos anteriores.

Al referirnos a un material isótropo, lo hacemos cuando las propiedades fisicoquímicas de este material son independientes de la dirección en que se observe.¹⁴ En el caso de la madera natural, las propiedades fisicoquímicas dependen de la dirección en la que se observen, por ejemplo, la dirección de sus fibras en los ensayos de la resistencia mecánica, por lo tanto, es un material anisótropo. La madera de fibras MDF por el contrario, tiene una principal característica: la homogeneidad y regularidad de sus fibras, tanto en los cantos como en el interior del tablero. Por lo tanto, es un material isótropo y podemos preveer su comportamiento en cualquiera de sus direcciones.

La anisotropía puede hacerse presente en un material en cualquiera de sus direcciones, pero puede que en otras no. Así pues, la anisotropía que se observe en cualquier muestra de material concreta puede ser por:¹⁵

¹⁴ Información obtenida de GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 13.

¹⁵Datos extraídos de GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 14.

- Anisotropía de sus componentes: Ocurre cuando los átomos, iones y moléculas que componen el material son anisótropos.
- Anisotropía de su estructura: Sucede cuando la disposición de los átomos, iones y moléculas que lo componen dependen de su dirección.
- Anisotropía de forma: Aparece cuando surgen defectos planares (deformaciones o alteraciones en su forma) en una muestra de material.
- Anisotropía inducida: Surgen por la presencia de externos que condicionan o modifican de forma temporal o permanente la estructura, los componentes o los defectos planares del material.

2.1. PROPIEDADES FÍSICAS.

Dependiendo de diversos factores, la madera puede mostrar variaciones en función de:

- El crecimiento que haya tenido el árbol.
- La edad en que haya sido talado.
- Su contenido en humedad.
- La dirección de las fibras.

2.1.1. El agua en la madera.

El agua en la madera puede aparecer de tres modos:

1. Agua de constitución o combinada: que forma parte de la materia leñosa.
2. Agua de saturación o impregnación: que se encuentra contenida en las paredes higroscópicas de las células, lo que influye en sus propiedades físicas y mecánicas, convirtiéndose en una de las causas de alteración

más importantes y frecuentes de la madera. A medida que disminuye el grado de saturación de humedad, aumentan sus propiedades mecánicas. Esta agua mantiene a la madera en un grado de equilibrio con el ambiente. El punto de saturación se alcanza cuando las paredes de las células se saturan alrededor del 30%.

3. Agua libre: es la absorbida por vasos y traqueidas una vez sobrepasado el porcentaje de saturación. Influye en la densidad aparente, pero no en las propiedades físicas y mecánicas. El agua libre puede desaparecer con el tiempo, quedando en la madera únicamente el agua de saturación propia de la humedad ambiental.

Los vegetales necesitan el agua para completar su ciclo alimenticio y de crecimiento, como vehículo que transporta los nutrientes obtenidos de la tierra, dando como resultado la disolución de la savia. Esto, unido a la propiedad higroscópica de este material en sus paredes celulares, hace que la madera siempre albergue gran cantidad de agua en su interior. Con el nombre de humedad o grado de humedad de la madera, se denomina al porcentaje en peso del agua retenida en la madera respecto al de la madera anhidra. Se pueden asignar diferentes estados por los que va pasando la madera como en la siguiente tabla: ¹⁶

Contenido de humedad (%)	Denominación
>30	Madera saturada
30-23	Madera semi-seca
22-18	Madera comercialmente seca
17-13	Madera secada al aire
<13	Madera desecada
0	Madera anhidra

Denominación de la madera en función del contenido de humedad. Datos obtenidos de Capuz Lladró (2005) pág. 24.

¹⁶ Datos obtenidos de CAPUZ LLADRÓ, R (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 24.

El contenido de humedad en la madera, h , se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra del siguiente modo:¹⁷

$$H = (P_h - P_0) \times 100 / P_0$$

Así, P_h sería igual al peso húmedo de la probeta a analizar y P_0 sería el peso anhidro de la probeta obtenido por desecación en estufa u horno a una temperatura de $\pm 100^\circ\text{C}$.

Hemos mencionado que la madera es un material higroscópico, lo cual quiere decir que tiene la propiedad de absorber y expulsar la humedad que recibe del medio en que se encuentra. La higroscopicidad en la madera es por tanto la variación de su peso específico cuando su contenido en humedad varía en un 1%. Pero los valores de humedad inferiores al punto de saturación de la madera expuesta al aire, ganan o pierden humedad hasta estabilizarse en un punto llamado humedad de equilibrio higroscópico, que depende claro está, de las condiciones higrotérmicas que rodeen al material.

2.1.2. Retracción y turgencia en la madera.

La propiedad más importante de la madera que deriva de los fenómenos de absorción (sorción) y exhalación (disorción) es la de hincharse y mermar. Esto quiere decir que cuando una madera absorbe agua, aumenta su volumen y por consiguiente se hincha; pero al perder dicha cantidad de agua su tamaño disminuye. La anisotropía que mencionamos en un anterior apartado otorga a la madera un comportamiento físico y mecánico distinto según la dirección elegida, de modo que las variaciones dimensionales serán desiguales en su dirección axial, radial o tangencial. Así pues, el agua es el enemigo principal de la madera y los perjuicios más notables se pueden advertir en el momento de

¹⁷ Datos obtenidos de la página web oficial de la AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera) en el apartado Generalidades de la madera con la siguiente dirección: http://www.infomadera.net/modulos/productos_y_empresas.php?id=2 revisada el 15 de julio de 2011.

secado. La madera no se seca de modo uniforme y esto es porque la parte exterior (albura) seca antes que la interior (duramen) y debido a ello se originan diferencias volumétricas de retracción y turgencia que ejercen sobre las fibras una presión desigual. De este modo, aparecen las fendas longitudinales y demás deformaciones.

Axial: la variación de la madera en esta dirección es casi inexistente (0,1%)

Radial: la variación de la madera en esta dirección está alrededor de un 6%.

Tangencial: en esta dirección, la variación dimensional se pronuncia algo más, oscilando entre un 9 y un 18%.

Este es el principal de los problemas que encontramos en las maderas y derivados industriales de ellas para su manipulación y conservación. Se denomina deformación volumétrica a la variación entre dos estados de humedad expresada en % y se denomina deformación volumétrica total a la variación de volumen entre el estado de madera saturada el estado en seco. Esta deformación volumétrica sirve también para clasificar los tipos de madera en débil contracción y fuerte contracción.

Si la deformación volumétrica está entre el 5 y el 10% las maderas son de débil contracción.

Si la deformación volumétrica está entre el 15 y el 20% son de fuerte contracción.

Como no todas las partes del árbol tienen, inicialmente, la misma cantidad de humedad (anisotropía), los trastornos en el índice de humedad provocan deformaciones debido al principio de hinchazón y merma, debiéndose estudiar las partes del árbol antes de cortar las piezas que se necesiten. Las deformaciones de la madera al cortar una pieza recta y simétrica pueden ser:

- De canto, cuando los cortes son radiales.
- De plano, cuando los cortes son radiales incluida la médula del tronco.

- Acanalado, se produce por cortes radiales mixtos y tangenciales mixtos.
- Alabeado, al realizarse cortes tangenciales parciales y tangenciales parciales mixtos.

2.1.3. La dureza de la madera.

De manera sintética y planteada para cualquier tipo de material, la dureza, aunque normalmente se le considera propiedad física, es una propiedad que tienen los cuerpos de resistir la penetración de otros mediante la fuerza que ejercen sobre ellos. A la hora de cuantificar la propiedad de la dureza en la madera, resulta complejo por ser un material heterogéneo, anisótropo e higroscópico, ya que la dureza está relacionada con la densidad, de tal manera que las maderas más duras serán las más densas. Es un modo de medición a través de escalas (que dependerán del material que se analice y de las condiciones de medida) de la resistencia a la deformación plástica localizada. Una propiedad fundamental a la hora de considerar la fabricación de tableros conglomerados, en especial los de fibras de densidad media. En relación a su dureza, se pueden clasificar en:

- Muy duras: como la madera de ébano.
- Bastante duras: roble, arce, fresno, álamo.
- Algo duras: castaño, haya, nogal, pino piñonero y pino carrasco.
- Blandas: pino, abeto.
- Muy blandas: chopo.

Autores como S. Vignote o I. Martínez, hacen referencia a que en España, la medición de la dureza de la madera se hace siguiendo la normativa UNE 56.534, según el método Monni o llamado también Chalais-Meudon.

Consiste en aplicar una carga de 100 kp¹⁸ por centímetro de anchura de la probeta mediante un cilindro de acero de 30 mm de diámetro. Así pues, la normativa UNE 56.540, que se refiere a la dureza perpendicular a la fibra, presenta la clasificación de las maderas en cuanto a su dureza del siguiente modo:

CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS SEGÚN SU DUREZA		
	DUREZA (Kp/mm²)	CLASE
CONÍFERAS	1-2	Blandas
	2-4	Semiduras
	4-20	Duras
FRONDOSAS	0,2-1,5	Muy blandas
	1,5-3,0	Blandas
	3,0-6,0	Semiduras
	6,0-9,0	Duras
	9,0-20	Muy duras

Tabla de elaboración propia.

La dureza axial es de 1,5 a 2,5 veces la de la perpendicular a la fibra. En cuanto a la dureza tangencial y radial, no se percibe gran diferencia. No debemos olvidar que la dureza de la madera en cualquiera de sus direcciones puede variar con el aumento de la humedad, además de depender en todo caso de la variedad y la capacidad higroscópica de la especie.

Estos autores exponen además otros tipos de escalas que se emplean para medir la dureza, como son la escala de Brinell (kp/mm²) y la de Janka (kp/mm²). La primera ofrece resultados mediante la huella resultante de la aplicación de presión de carga P de una esfera de acero de diámetro D

^{18 18} Kp es la abreviatura de kilopondio, que es una unidad de fuerza perteneciente al Sistema Técnico de Unidades equivalente a la masa de 1 kg por la gravedad estándar de la superficie terrestre 9,80665 m/s². Es una forma no cotidiana de determinar el peso y fuerza de los cuerpos teniendo en cuenta a la fuerza de la gravedad terrestre, ya que en otro lugar del universo, esta equivalencia sería diferente.

(normalmente 10 mm) sobre la madera. P variará según las densidades de la madera:

- 10 kp para densidades menores a 0,3 gr/cm³.
- 50 kp para densidades de entre 0,3 y 0,7 gr/cm³.
- 100 kp para densidades superiores a 0,7 gr/cm³.
-

La carga seguirá un ciclo en el que el punto máximo debe alcanzarse en 15 segundos, permanecer constante durante 30 segundos y disminuir hasta 0 en 15 segundos. Así, queda descrita la siguiente fórmula de cálculo de dureza:

$$\text{Dureza} = P / S \text{ (kp/mm}^2\text{)}$$

Siendo P la carga y S la superficie de la esfera que penetra en la madera. D sería entonces el diámetro de la huella, para describir así la fórmula anterior del siguiente modo:¹⁹

$$\text{Dureza} = \frac{2P}{P \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kp/mm}^2\text{)}$$

Finalmente, el último método para la medición de la dureza de la madera es el método Janka, que consiste en una derivación del anterior, en el que por medio de una semiesfera de acero cuya sección tiene una superficie de 1 cm² se hace penetrar en la madera completamente y expresar su dureza en kp/mm² o en N/mm² de carga.

2.1.4. Propiedad térmica.

La conductividad térmica es la propiedad que tienen los materiales para trasladar o transferir calor, pero que éste no sea fruto de radiaciones o convección (masa+calor) En los materiales sólidos, esta propiedad se debe a

¹⁹ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 121.

las vibraciones de los nudos de la red de fonones²⁰, que cobra especial importancia en materiales metálicos, debido a la agitación térmica del gas de electrones, los cuales se dispersan con dificultad, alcanzando así mayores agitaciones, un incremento de la temperatura y una mayor conductividad térmica con respecto a otros materiales como la madera.

Ya sabemos que los materiales, cuando experimentan cambios de temperatura (calor-frío) tienden a expandirse o contraerse. A esta propiedad de expansión por calentamiento se le denomina dilatación térmica y se representa por medio del coeficiente de dilatación lineal α , (dependiendo de la dirección por causa de la anisotropía) que es la variación relativa de longitud de un material por el aumento de un grado de temperatura. Es especialmente importante contar con esta propiedad a la hora de atender al estado de conservación de la madera y a la posible aparición de fendas por dilatación, la variación dimensional, estructural y estética que a consecuencia pueda producirse.

Las alteraciones por dilatación o contracción causadas por los cambios de temperatura son bastante menos acusados para el estado de la madera que las producidas por las alteraciones de humedad. El enfoque hacia este tipo de estudios suele abandonarse aún siendo interesante para contrastar y solucionar posibles cuestiones. La gran porosidad que ofrece la madera influye en la excelente comunicación de la humedad, sin embargo, el factor de porosidad hace que la conductividad del calor sea mínima. Precisamente por esta propiedad, desde tiempos inmemoriales se ha empleado y hasta hoy día, la madera como buen aislante térmico en estado seco, siendo más adecuada para ello una madera ligera que una pesada: el peso de la madera está ligado a la densidad de la misma y a su vez, la densidad tiene que ver con la porosidad y la comunicación entre los vasos conductores. La conductividad térmica será mayor si se dirige en una dirección paralela a las fibras²¹, ya que

²⁰ La agitación por el calor de átomos e iones crea una vibración de la red iónica interatómica, realizada en forma de honda elástica, que puede ser cuantificada por cuantos de energía denominados fonones.

²¹ Información obtenida de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. 2005. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 30.

la presencia de poros es mayor en una dirección perpendicular a éstas y se evitaría la conductividad.

2.1.5. Durabilidad.

La propiedad de durabilidad o como cuantificación temporal de las propiedades de la madera y su estado de conservación es variable en función de varios factores entre los que se encuentran:

- Su tratamiento antes de ser usada.
- Las condiciones ambientales en las que se ubica la pieza/obra.
- Las alteraciones físicas producidas por la humedad, luz, temperatura, etc.
- El contacto con el suelo en el periodo de crecimiento y el tipo de terreno donde haya sido.
- El tipo/especie de madera.

Los mayores problemas que podemos encontrar para la durabilidad de la madera son las alteraciones producidas por la incidencia de humedad y la luz (tanto la presencia como la ausencia), la falta de protección y el ataque de insectos y hongos y su permanencia en la madera.

2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.

Las propiedades mecánicas son el resultado de la evaluación tras aplicar fuerzas mecánicas a los materiales. Esta fuerza culminará en la deformación del material como respuesta mecánica, determinada por unidades de área denominadas esfuerzos o tensiones. Esta terminología la proporciona el ámbito de la Ingeniería de los Materiales, para emplearlos como sinónimos siempre y cuando se consideren los esfuerzos como el resultado de los procedimientos

de deformación del material a nivel macroscópico. Estos esfuerzos pueden ser de varios tipos:²²

- Tracción: el esfuerzo es equivalente a una sola presión que hace que se separen entre sí las partículas del material en direcciones diferentes haciendo que éste se alargue.
- Compresión: del mismo modo, el esfuerzo es equivalente a una sola presión que hace las partículas que conforman el material se aproximen, tendiendo a sufrir un aplastamiento.
- Flexión: es una combinación de tracción y compresión, en la que las partículas o fibras (en el caso de la madera) superiores se contraen, las inferiores se separan o viceversa.
- Cizalladura: en la que se aplican dos fuerzas con una misma dirección pero en sentido y con puntos de apoyo diferentes.
- Torsión: donde la aplicación de dos pares de fuerzas son en la misma dirección, pero con distintos sentidos y puntos de apoyo que hacen retorcer el material sobre su eje central.

Un material tiene un comportamiento elástico cuando los esfuerzos a los que ha sido sometido reflejan un comportamiento proporcional a las deformaciones producidas (que se denominan elásticas) aunque la anisotropía de algunos materiales como la madera, procure que los esfuerzos no tengan la misma dirección que las deformaciones.

Para ser conscientes del comportamiento mecánico de la madera, hay que atender primero a su constitución anatómica. Volvemos a insistir en que la madera es un material anisótropo formado por una estructura tubular hueca en dirección ascendente diseñada para resistir tensiones paralelas a las fibras:

²² Datos extraídos de GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 63.

flexión producida por el viento y compresión producida por la acción gravitatoria. Así pues, la dirección de las fibras se ha de tener en cuenta para analizar el esfuerzo que esté o vaya a soportar en dirección paralela y perpendicular a la fibra; y variará también en función del grado de humedad que la madera contenga, dependiendo paralelamente, de la densidad de las diferentes especies. Este hecho diferenciará la madera de otros materiales y se debe considerar para su trabajabilidad en procesos de tallado y desbaste en escultura.

2.2.1. Elasticidad de la madera.

Cualquier material sometido a cargas responde con un comportamiento específico y distinto de entre el comportamiento de otros materiales. En este caso, la madera sometida a cargas tiene un comportamiento visco-elástico, lo que quiere decir, que ante una carga menor que el límite elástico que soporte, la madera se deforma, retornando a su forma original tras el cese de dicha carga. No ocurriría lo mismo si se mantuviera la carga prolongadamente, lo que provocaría que la deformación llegase a tomar valores superiores al doble del valor inicial. Así entonces, una propiedad de la madera de acuerdo a su resistencia mecánica es la elasticidad.

En la siguiente tabla, se comparan la resistencia de la madera frente a la de otros materiales que pueden usarse tanto en industria e ingeniería, como en creación artística y escultórica:²³

²³ Datos de la tabla obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 127.

ELASTICIDAD DE LOS MATERIALES					
	MATERIALES				
CARACTERÍSTICA MECÁNICA	HORMIGÓN	MADERA	ACERO	CRISTAL	PLÁSTICO (Metacrilato)
Densidad g/cm ³	2,2	0,5	7,8	2,6	1,18
Resistencia a compresión kg/cm ²	150 a 300	350	2.600	1.050	
Resistencia a flexión kg/cm ²	6	875	2.600	1100	
Resistencia a tracción kg/cm ²	20	875	2.600	665	750
Módulo de elasticidad kg/cm ²	200.000	100.000	2.100.000	630.000	35.000
Módulo de resistencia a peso kg/cm ²	100 a 2,6	1.750 a 700	333	250 a 0	930 a 630
Relación de módulo de elasticidad a peso	90.000	200.000	270.000	242 a 300	30.000

Datos de la tabla obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág.127.

2.2.2. Resistencia a compresión.

Se le llama compresión a la resistencia ofrecida a una fuerza que ejerce presión sobre la madera y tiende a aplastarla.²⁴ A partir del punto de saturación de humedad (30%), la resistencia a compresión permanece constante, mientras que variará si el nivel decrece con un aumento de resistencia, para disminuir en todo caso, si el nivel de humedad aumenta, además de contar con la densidad de la especie y de las diferentes partes del árbol.

Compresión paralela a la fibra: La resistencia a la compresión paralela es máxima y disminuye a medida que modificamos la dirección. De ahí que como elemento sustentante sea muy apropiada en su dirección paralela a la fibra, ya que los haces fibrosos actúan a modo de columnas y pilares. Como promedio, la resistencia en esta dirección es de 15 a 17 veces superior que en otras direcciones.

Compresión perpendicular a la fibra: cuando el esfuerzo se dirige o actúa en esta dirección, la resistencia es mínima y las fibras se aplastan bajo la carga. Influye en este caso el ángulo con que actúe y la cantidad de poros y vasos de las diferentes especies (coníferas y frondosas)

2.2.3. Resistencia a la tracción.

La resistencia a tracción es el esfuerzo máximo que remarca el diagrama esfuerzo-deformación y se corresponde con la fuerza de tracción máxima que soporta un material antes de que se fracture. La fractura de los materiales puede ser fractura frágil, producida ésta sin apreciarse deformación plástica; o fractura dúctil, que por el contrario, se produce tras una deformación plástica en el material. La ductilidad, entonces, se deduce, como la propiedad de

²⁴ Información obtenida de VV. AA. (1997) *Tecnología de la madera*. Barcelona. Editorial Edebé. Pág. 12.

deformación plástica de los materiales antes de que se produzca su fractura y dependerá también del módulo de elasticidad de los materiales.

La madera es muy apropiada para resistir esfuerzos a tracción siempre que el esfuerzo sea en dirección a las fibras y no perpendicular, cuya resistencia disminuye entre un 30 y un 70% que en la paralela. Esto se debe a la escasez de fibras que la madera tiene en dirección perpendicular al eje del árbol y la falta de enlace transversal de fibras longitudinales. Atendiendo al factor de humedad, ocurre como en el caso de resistencia a compresión: permanece constante en el punto de saturación del 30% y aumenta la resistencia si disminuye el porcentaje, además de la densidad.

2.2.4. Resistencia a la flexión.

La resistencia a flexión de la madera es muy elevada en comparación a su densidad. Es de importancia hablar de este tipo de resistencia ya que en un mismo bloque sometido a un esfuerzo de flexión, parte de sus fibras trabajan así: un número de ellas lo hacen a compresión y las inferiores a tracción para equilibrar y trasladar la carga a los apoyos (en elementos estructurales que soportan el esfuerzo) En la zona media del bloque no habrá ninguno de estos esfuerzos por la transmisión de los mismos a los extremos, sino que esta zona quedaría expuesta a un esfuerzo de corte.

Las diferencias en la orientación de la fibra de la madera influyen en que pueda ofrecer resistencia a cortantes, sobre todo en cortes de dirección tangencial a las fibras.

2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS.

Como señalamos, la madera está compuesta en su mayoría por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de otras sustancias de impregnación como ácidos resínicos, terpenos, ceras, taninos, materias nitrogenadas y sustancias colorantes, cuyas funciones son la de, a grandes rasgos y sin entrar en

profundidad, prevenir los ataques de organismos patógenos. La proporción de estos componentes en la composición de la madera es diferente y variará según la especie que se analice:

- Ácidos resínicos ($C_{20} H_{30} O_2$), cuyos componentes son:
 - Ácidos de tipo abiético: livopimarico, abiético, neoabiético y palústrico.
 - Ácidos tipo primario: dextoprimárico e isoprimárico.
- Térpenos ($C_{10} H_{16}$): son sustancias compuestas por Pineno, Canfeno, Zimoneno, Terpinoleno y Δ^3 - Careno.
- Ceras, que son polímeros heterogéneos obtenidos por la mezcla de diferentes constituyentes como:
 - Hidrocarburos saturados lineales: $CH_3 - (CH_2)_n - CH_3$.
 - Ésteres resultantes de la mezcla de un ácido y un alcohol.
- Taninos: materias nitrogenadas y sustancias colorantes que aparecen en pequeñas proporciones, reservando algunas especies que destacan en este aspecto.

Hemos descrito las sustancias y elementos que constituyen la madera atendiendo a su estructura química; a continuación expondremos la estructura molecular como componente básico de la madera. Las sustancias y componentes químicos tienen un grado de aparición en la madera diferente, según la especie que se estudie, pero en el caso de la estructura atómica de la madera, apenas varía de unas especies a otras. La proporción puede ser la siguiente:²⁵

²⁵ Los datos de la tabla están obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 105.

ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA MADERA	
ELEMENTO	PORCENTAJE
Carbono	48,0 al 52,0 %
Hidrógeno	5,8 al 6,2 %
Oxígeno	41,5 al 45,5 %

Tabla de elaboración propia a partir de datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 105.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS.

Las diferencias entre maderas de acuerdo a sus características y propiedades no dependen exclusivamente de la especie que se trata y tampoco de la pertenencia a las dos grandes familias en las que se pueden dividir, sino que las maderas pueden variar según *“climas, suelos, orientación y cultivo de la planta. Más aún, varían, aunque en menor grado, según la época y procedimiento de apeo, secado y tratamiento”*.²⁶ Aún así, podemos clasificar las maderas de modo general atendiendo a la naturaleza del árbol en dos grandes grupos de los que podrán, a su vez, derivar otros tantos más concretos: el grupo de las coníferas y el de las frondosas.

3.1. Coníferas.

A este grupo pertenecen las maderas procedentes de aquellos árboles que crecen en zonas frías y templadas, que además son los más antiguos que existen y tienen las características más indicadas para su uso en construcción por su resistencia mecánica. Entre las más comunes dentro de este grupo, encontramos al pino, del que varían a su vez unas 80 especies que se caracterizan por su gran cantidad de trementina, lo que le dan propiedades de resistencia, durabilidad y elasticidad.

²⁶ PRIETO, M. (1988) *Los antiguos soportes de madera fuentes de conocimiento para el restaurador*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 1.

El abeto pertenece al grupo de las coníferas (o resinosas), desarrollándose en zonas montañosas, es un árbol de grandes dimensiones y tronco recto y estrecho. Su albura y duramen apenas se diferencian al ser muy blancos, poco resinosos y elásticos. Suele emplearse para la fabricación de madera laminada y en las piezas de escultura de mayores dimensiones.

Otra especie del grupo de las resinosas es el cedro, originario del Norte de África donde lo podemos hallar. Su duramen es pardo claro y sus propiedades lo hacen muy resistente a los hongos y termitas, muestra gran facilidad para su manipulación y trabajo gracias a lo compacto de sus fibras, siendo muy indicado y bastante común tanto en carpintería, decorativa y de armar, como para la creación de escultura e imaginería. Sus variedades son el cedro del Líbano, del Himalaya, blanco, amarillo y rojo.

El ciprés, la sabina y el tejo, entre tantas otras, son tres de las especies que pertenecen al este grupo.

3.2. Frondosas.

Son maderas propias de zonas templadas y tropicales, lo que las hacen ser muy aptas para ebanistería, trabajos finos o detallistas y escultura por la calidad que presentan debido al crecimiento del árbol. Podemos distinguir dentro de este grupo tres clases atendiendo a su dureza: duras, blandas y muy blandas (finas).

- Maderas duras.

Como primer ejemplo de madera dura encontramos al roble, que crece en muchas zonas de Europa (además del norte de España), Asia Menor y el Norte de África, presentando un color pardo amarillento o rojizo que oscurece al ser cortado y consiguiendo en su crecimiento grandes dimensiones en altura y

diámetro. Es una madera dura y compacta, resistente y muy difícil de alterar por el efecto de la humedad y sequedad o de ser vulnerable al ataque de hongos y xilófagos.

El haya se emplea para ebanistería, carpintería fina y tornería, aunque es vulnerable al ataque de xilófagos y hongos, además de ser fácilmente alterable por la acción de la humedad y sequedad.

- **Maderas Blandas.**

Por ejemplo, el abedul, entre otras, que podemos encontrar en toda Europa, junto a Suecia y Reino Unido. La fibra es recta y el grano fino, lo que ayuda a su trabajabilidad, no diferenciándose albura de duramen y siendo muy adecuada para carpintería de alta calidad y escultura.

- **Maderas finas o muy blandas.**

Por lo general, son todas aquellas provenientes de los árboles frutales de pequeño tamaño, por lo que no permiten extraer secciones de grandes dimensiones a partir de sus troncos.

El nogal, procedente de América Central y del Sur, tiene una albura blanca y basta, pero un duramen de color rojizo oscuro casi negro y de gran calidad. Es una madera muy compacta y de pequeña contracción, resistente a los hongos y al ataque de insectos, pero no a termitas. Es empleado en ebanistería y recubrimientos decorativos.

El cerezo es otro ejemplo de madera fina que se aplica, prácticamente a los mismos usos que el nogal, además de ser resistente a los hongos pero no a los insectos. Podemos encontrarlo en toda Europa, norte de África, Reino Unido y Asia.

3.3. Maderas africanas.

A parte de las distinciones de estos dos grandes grupos, (coníferas y frondosas) entre las que encontramos maderas procedentes de África como el cedro americano, podemos abrir otro grupo donde incluir aquellas procedentes de África Ecuatorial, tomando como ejemplo aquellas cuyas características y usos van acorde con el tema en cuestión.

El bokapi es una madera muy densa, amarillenta y de veteado oscuro, de grano fino que permite una buena talla, ofreciendo gran resistencia mecánica.

El sapelli es de tonalidad rosácea que oscurece con el aire. Su principal característica es la resistencia que ofrece al ataque de hongos y termitas, por lo que no le afectan los líctidos. Además, al ser de grano fino, compacta y de porosidad fina, es de fácil trabajabilidad.

3.4. Maderas exóticas.

Están catalogadas como las mejores maderas que existen por sus prestaciones a conseguir mejores acabados en su superficie, aunque el mayor inconveniente es su coste. La principal, dentro de este grupo, es la madera de ébano, cuya albura es grisácea y su duramen negro. Es una madera que permite óptimo pulimento, rígida, dura inatacable y casi nada higroscópica, permitiendo una gran trabajabilidad y siendo muy apreciada en trabajos de ebanistería, construcción de instrumentos musicales, ornatos²⁷ y escultura.

El palisandro y el palo rosa son de similares características, aunque varían en su tonalidad y aspecto final de acabado, empleándose para ebanistería de lujo y escultura.

²⁷ Información obtenida de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. 2005. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 47.

4. PARTICULARIDADES DE LA MADERA: “DEFECTOS”, “ANOMALÍAS” Y “ALTERACIONES”.

De forma generalizada, se entiende por defecto o anomalía de la madera cualquier perturbación morfológica del árbol, provocada por: una aportación cambial (nutrientes) irregular, disposición de las fibras, causas estacionales y accidentales, efectos meteorológicos, alteraciones de reacción (compresión y tracción) heridas, entrecasco, acebolladura, desequilibrios hídricos, defectos provocados por la acción del hombre, del animal o vegetales, contenido celular anómalo, fracturas en el apeo del árbol, cuadramura, corazón estrellado y nudos²⁸. Todas estas anomalías son, ni más ni menos, que características propias de la madera y de su origen natural, pero afectan a su valor estructural y estético. A continuación, describiremos una serie de causas por las que se considera anómala o defectuosa a la madera.

4.1. DEFECTOS POR CURVATURA DEL TRONCO.

El geotropismo (movimiento de orientación que sufren los árboles por efecto de la fuerza de la gravedad) del árbol hace que éste crezca y su fuste describa formas de escasa curvatura, sin embargo, diferentes causas obligan a que se desarrollen curvaturas simples y dobles que condicionan las trozas resultantes en cuanto a forma y las determinen para su aprovechamiento.

4.2. CONICIDAD.

Es la diferencia que existe entre el diámetro máximo y el mínimo de las testas, referidas a un tanto por ciento de la longitud de la pieza. Aunque de este modo

²⁸ Datos extraídos de GARCÍA ESTEBAN L. et all. (2003) *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. Ediciones Mundi Prensa AiTiM. Madrid. Pág. 20.

es como de forma natural crece el árbol, en ocasiones en las que la conicidad es muy pronunciada supone un inconveniente.

4.3. APORTACIÓN CAMBIAL IRREGULAR.

En algunas especies se presenta esta anomalía en su tronco de forma tubular sobresaliente que deja como resultado grandes acanaladuras y contrafuertes verticales, como consecuencia de un mal funcionamiento del cambium: una intensa actividad cambial desemboca en zonas hinchadas del tronco y una actividad ralentizada en zonas hundidas.

4.3.1. Anillos festoneados o avellanados.

Consiste en la ondulación anular de los anillos de crecimiento derivado de una aportación cambial irregular, pero que no se presenta de forma regular, tanto que en ocasiones se convierte en un recurso estético aprovechable para la construcción de instrumentos musicales.

5.3.2. Corazón excéntrico.

Por motivo de la desigual fertilización del suelo, la raíz tiene un crecimiento asimétrico que provoca que una parte de los anillos del tronco crezca más que la otra, alterando a su vez las propiedades físico-mecánicas de la madera.

4.4. DEFECTOS PROVOCADOS POR LA DISPOSICIÓN DE LAS FIBRAS.

4.4.1. Veteado de la madera.

El crecimiento en capas superpuestas en forma de cono que tiene el árbol hace que la disposición de sus fibras, al ser cortadas en su eje tangencial, describa formas con una extensión y dirección variables. Esto, unido a la porosidad, condicionan tanto el proceso de trabajo de la madera como el resultado visible al concluir el trabajo.

4.4.2. Fibras producidas por deformación y constitución anormal de los tejidos.

En algunas partes del tronco pueden formarse horquetas, cepas, lupas y verrugas. Surgen por las alteraciones de sus fibras, pero de igual modo, por las heridas y ataques de insectos, inserción de ramas o raíces. Estos defectos dan como resultado en el aserrado, formas y dibujos que bien pueden ser muy apreciados (madera de trepa o madera de raíz) o bien ser un inconveniente para el resultado de la pieza.

4.5. DEFECTOS CAUSADOS POR AGENTES AMBIENTALES.

A parte de los problemas de deformación volumétrica que puede causar el exceso y la falta de agua en la madera, mencionados en los puntos 3.1.1 y 3.1.2, los principales agentes causantes de esta anomalía en la forma son:

- Nieve. Provoca excentricidades en el fuste del tronco, dando como resultado troncos muy inclinados y su peso puede causar fisuras longitudinales que desvíen el desarrollo del pie en dos mitades.
- Viento. Provoca curvaturas anómalas del tronco y ramas en la dirección frecuente del viento, dando además como resultado, fendas

longitudinales y transversales. Existen tensiones de tracción y compresión que sobrepasan determinados límites por vientos huracanados que desvían la dirección de las fibras causando roturas.

- Temperaturas extremas. Debido a un excesivo calentamiento por la acción del sol o la temperatura ambiental, se produciría una desecación de la corteza, del líber y cadmium, seguida de una necrosis cortical, dejando desprotegida la madera con pequeñas fisuras o fendas longitudinales de desecación. El calor extremo y un ambiente favorable de humedad puede originar la producción de hongos. Las bajas temperaturas originan en la madera una merma en su tamaño. Al producirse una helada se establece un gradiente de humedad en zonas superficiales e interiores. El agua interior de la madera entraría en estado de congelación y por consiguiente su volumen aumentaría provocando la apertura de fendas de heladura en la superficie e interior de la pieza, dependiendo del grado de saturación de humedad que esta tuviese. Este tipo de anomalía la llevaremos a estudio en los ensayos sobre probetas que ejecutaremos en el bloque de conglomerados, basándonos en que la madera empleada para escultura antes de ser trabajada y una vez realizada es susceptible de sufrir defectos causados por la incidencia de temperaturas extremas más que por causas de viento o nieve.

4.6. CAUSAS BIÓTICAS Y ABIÓTICAS DE DETERIORO EN LA MADERA.

La duración natural de la madera dependerá, en cualquier caso, de sus propias característica y propiedades de resistencia, como señala M. Prieto y “*de la proporción existente entre su albura (porosa y de fácil descomposición) y su duramen (impermeable y más resistente) y por tanto, de la especie forestal*”.²⁹ Pero además, deberíamos mencionar que el estado de conservación y durabilidad de las diferentes especies madereras (incluso del MDF y en nuestro

²⁹ PRIETO, M. (1988) *Los antiguos soportes de madera fuentes de conocimiento para el restaurador*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 62.

caso de la escultura en este material) se verá condicionado por el medio en que se trabaje, se muestre o se almacene y por los agentes bióticos y abióticos de deterioro. En cualquier caso, se deberá atender a todos los agentes protectores que garanticen y prolonguen la durabilidad de este material.

Para introducir en este apartado sin necesidad de profundizar, a priori, y haciendo un barrido general, desarrollaremos de forma esquemática cuáles son las causas y agentes bióticos y abióticos que influyen en el deterioro y destrucción de la madera.³⁰

Bióticas:

- Bacterias y mohos.
- Pudrición.
- Madera picada.
- Mamíferos y aves.
- Organismos marinos.

a. Organismos xilófagos vegetales.

1. Bacterias y mohos.
2. Actinomicetes.
3. Hongos.
 - Mohos.
 - Hongos cromógenos.
 1. Madera azul.
 2. Pudrición verde.
 3. Corazón rojo del haya.
 4. Madera pasma del haya.
 - Hongos de pudrición.
 1. Pudrición blanca.
 2. Pudrición parda.
 3. Pudrición blanda.

³⁰ Datos para la elaboración del esquema obtenidos de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 109.

b. Organismos xilófagos del reino animal.

1. Insectos xilófagos (madera picada)

- Coleópteros.
- Hemicoleópteros.
- Lepidópteros.
- Isópteros = Termes.

2. Mamíferos.

3. Aves.

4. Organismos marinos.

- Moluscos crustáceos.

Abióticas:

- Fuego.
- Intemperie.
- Agentes químicos.
- Agentes mecánicos.

4.7. OTROS DEFECTOS CONSTITUTIVOS: NUDOS.

El nudo es la parte del fuste donde comienza su crecimiento con una orientación diferente al xilema (disposición de los anillos del tronco) una rama, dando como resultado una discontinuidad en la forma y el sentido de las fibras y capas anulares (Figura 6). Los nudos se pueden formar por la poda natural de las ramas, la accidental o la efectuada por el hombre. Al originarse el nudo, se genera en su contorno un reborde de cicatrización que lo aislará, causando su pudrición, con la posibilidad de ser adherente o saltadizo, lo que interrumpiría la continuidad de la pieza de madera. Si el nudo es adherente y no se desprende, la pérdida de agua al secar provocará en él grietas de dirección radial.



Figura 6. Imagen de elaboración propia (2011) *Nudos en madera de pino*. Fotografía digital.

La normativa UNE-56. 509 sobre terminología de los defectos y anomalías de la madera define como nudo a la *“anomalía local de la estructura de la madera, producida por una rama de un tronco que va quedando englobada en el mismo, a medida que se producen los sucesivos crecimientos de éste”*³¹. Además, podemos encontrar que la normativa UNE- 56.521/72 sobre defectos y anomalías de la madera aserrada define como nudo adherente a *“aquel cuyos tejidos son solidarios con los de la madera que le rodea debido a ser formado por una rama viva”*³² y para el nudo suelto emplea la definición de *“aquel en el que el tejido de la rama que lo produce no es solidario con la madera que lo rodea y suele separarse de ésta”*. Las ramas suelen tener más densidad de fibras que el fuste por eso el nudo es más duro y complejo de labrar y tallar, corriendo siempre el riesgo de que se desprenda o se agriete.

4.8. FIBRAS ENTRELAZADAS Y FIBRAS REVIRADAS.

Atendiendo a las primeras, se designan así aquellas que se representan entrelazadas en la madera y fibras reviradas a aquellas que, en vez de seguir la dirección del eje del árbol, están dispuestas en forma de hélice. Estas particularidades afectan a la madera a la hora de su trabajabilidad en cualquier

³¹ Normativa UNE 56.509. Terminología de los defectos y anomalías de las maderas.

³² Normativa UNE 56.521-72 Defectos y anomalías de la madera aserrada. Nudos.

área. En el caso de la escultura la determinación direccional de la fibra (recta, entrelazada o revirada) puede causar problemas en el momento del corte con la gubia y otras herramientas.

CAPÍTULO SEGUNDO

MADERA E INDUSTRIA

5. MADERA E INDUSTRIA. COMPUESTOS Y DERIVADOS DE LA MADERA.

5.1. LOS ORÍGENES DE LOS TABLEROS CONGLOMERADOS DE MADERA. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

Autores como L. García Esteban, entre otros, detallan que la progresiva dificultad para encontrar madera natural de grandes escudarías (formatos convencionales en los que se dividen las unidades de despique de los árboles) que solucionase los problemas estructurales y constructivos que el desarrollo industrial y de ingeniería resolvía por medio del acero y el hormigón, hizo que se planteasen soluciones consistentes en unir varias piezas pequeñas de madera hasta formar una sola de grandes dimensiones. Esto condujo en un primer lugar al tablero contrachapado, muy eficaz desde el punto de vista estructural. Más adelante, surgió la madera laminada, eliminando la dificultad de obtener madera maciza de grandes escudarías, pero aún no se solventaba la demanda de un producto que aprovecharse la cantidad de residuos de madera que producían otras industrias, que como en España, no poseían una riqueza importante en maderas de gran calidad, pero sí apta para la fabricación de tableros de fibras y partículas.³³

Inicialmente se intentó fabricar tableros con serrín como materia prima, pensando en la homogeneidad del producto y su economía de producción, pero era necesario aportar un 40% de adhesivo de caseína y de fenol formaldehído para que sus cualidades mecánicas fuesen aceptables, lo que derivó en un costo elevado. La primera referencia bibliográfica data de 1887, siendo su autor el alemán Erns Hubaart en La utilización de residuos de madera, pero no es hasta 1936 cuando Pfhol, una empresa maderera, consigue fabricar tableros de partículas aglomeradas mediante adhesivos sintéticos por medio de prensas de platos calientes. Es a partir de 1941 cuando comienzan a crearse en distintas ciudades de Alemana y Suiza empresas que ponen en marcha una innovación

³³ Información obtenida de ESTEBAN GARCÍA, L y otros. (2002) *La madera y su tecnología. Aserrado, chapa y tableros contrachapados, tableros de partículas y de fibras, tableros alistonados, OSB y LVL, madera laminada, carpintería industrializada, tecnología del corte y tecnología de la aspiración*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 119.

tecnológica para producir tableros en prensas de platos con virutas de troncos como materia prima. Klanditz, técnico de la industria de la pasta y el papel, estudió sistemáticamente la relación entre la geometría de las partículas y la resistencia mecánica de los tableros. Además, comprobó que una vez fijada la cantidad de adhesivo de Urea formaldehído en la menor proporción, la variable en la resistencia mecánica es la delgadez de las partículas (largo-grueso), aumentando así los parámetros de resistencia cuando aumenta el grado de esbeltez de la partícula. En cuanto a la fabricación de tableros de fibras, ésta tiene su origen en EEUU con la patente Liman en 1858, pero su desarrollo industrial no llegó hasta 1927 gracias a los estudios de William y Manson en 1924. Fue en los años 30, en concreto en 1931, cuando la fabricación del tablero de fibras dio el salto a Europa de la mano del Dr. Arplund al introducir el sistema de desfibrado termomecánico: Desfibrador AB (1934)³⁴

En España, la empresa Tafisa durante los años 40 (1946) comienza a fabricar en Valladolid el tablero de fibras de densidad media MDF, gracias a la importación del desfibrador termodinámico, siguiendo procesos de fabricación por vía seca. Todo ello gracias a las contribuciones, a priori, del Dr. Asplund y más tarde por los estadounidenses Torbin Yates, Miller Hofft y Schuber, quienes a partir de 1959 diseñan una planta piloto en Illinois consistente en un desfibrador de doble disco atmosférico y una formadora de tableros de partículas. La industria del tablero MDF es un híbrido entre los procesos de fabricación de tableros de fibras de densidad alta (precursores al MDF pero por vías y medios húmedos que elevaban los costos de producción) y la industria del tablero de partículas, para que en 1966 hubiera una producción continua de tableros de MDF en New York por la casa Deposit. Más tarde, en 1973, se instala en Ribnitz (Dangarten), Alemania, la primera planta de producción de estos tableros, para que tres años más tarde la empresa Intamara comenzase su actividad en Teruel, España.³⁵

Según autores como F. Peraza, F. Arriaga y J. E. Peraza, para hablar del origen del tablero de fibras deberíamos remontarnos a la Antigüedad, tras la

³⁴ Ibíd. Pág. 120.

³⁵ Ibíd. Pág. 121-122.

Civilización Egipcia, a principios del siglo VI de nuestra Era. El origen del tablero de fibras reside en la fabricación de papel, cuando en el 105 A.D. la Civilización China obtuvo el primer papel a base de madera, mediante su conversión en pulpa, adición de agua y prensado y secado final de la mezcla.

Era en el siglo VI, cuando en Japón se fabricaba mediante procesos similares al tablero de fibras actual, un material de papel prensado destinado a la construcción. En 1777 y gracias a las patentes de un inglés, se empleó algo parecido para la fabricación de puertas, mobiliario, construcción y carruajes, pero no es hasta el siglo XVII y XIX cuando el desarrollo industrial permite la fabricación de los tableros de fibras y otros productos derivados de madera. Fue en los años 50 del pasado siglo, cuando se desarrolló el primer tablero de fibras MDF. Para conseguirlo fue necesario el “refinador presurizado”, por el cual se obtenían fibras más finas.

Estos avances, según F. Peraza y su equipo, tuvieron su origen en las investigaciones realizadas por Torbin Yates y su invención de “cultured wood”, además de las aportaciones de Miller Hofft y Schuber, basadas en la obtención de fibras de madera por vía seca.

Haciendo una revisión más amplia, encontramos otros nombres como los de Sanderman y Kunnemeyer (1957), Swiderski (1963) y Lampert (1967), que contribuyeron al desarrollo del MDF por la utilización de mecanismos para el depósito de las fibras basados en la gravedad o el empleo de filtros.

F. Peraza, F. Arriaga y J. E. Peraza, afirman coincidiendo con L. García Esteban, que fue en 1965 cuando se construyó Deposit, en New York (EE. UU), la primera fábrica en la que los tableros eran nombrados “Baraboard”. En Europa, la primera fábrica se instaló en Ribnitz (Dangarten), lo que antes se denominaba República Democrática Alemana. Cuando esta tecnología industrial llegó a España, coinciden los autores en que fue en Cella (Teruel) donde la empresa Intamasa, por aquel entonces, instaló su fábrica, que actualmente se conoce con el nombre de Utisa.

*“Las investigaciones actuales están encaminadas a convertir todo el árbol (tronco, ramas, corteza y raíces) en una masa fibrosa, para reelaborar esta materia prima en forma de tableros y productos moldeados, los cuales, a la vez que poseen propiedades totalmente controladas, podrán ser impregnados a lo largo de su fabricación con cualquier aditivo que se desee”.*³⁶

5.2. TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA: DE PARTÍCULAS Y DE FIBRAS. CARACTERÍSTICAS GENERALES E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL.

Según las escudarías (formatos comerciales en los que se dividen las unidades de despiece de los árboles), los conglomerados, al igual que la madera natural, se comercializan en tableros. Son piezas en las que predomina la longitud y la anchura sobre el espesor, lo que permite distinguir el despiece del mismo en multitud de formas y tamaños sin necesidad de utilizar maquinaria sofisticada. Los tableros de partículas y fibras están constituidos por partículas de material leñoso aglomeradas con una orientación determinada o no, entre sí mediante la aplicación de un adhesivo resinoso, para más tarde, someterse a presión y calor.³⁷ Este tipo de tablero surge tras la idea de aprovechamiento de las partes de deshecho de la madera, consiguiendo una rentabilidad de la materia prima.

*“Al hablar de la madera hay que tener siempre presente que es la única materia prima renovable que se utiliza a gran escala y en la que su aprovechamiento no daña el medio ambiente. Un bosque ordenado permite la corta periódica de árboles sin que por ello se extinga o deteriore, solamente se corta el volumen de madera que ha producido la masa forestal en un año. [...]”*³⁸

“Las mejoras en las técnicas de fabricación y los nuevos productos, aprovechan todos los residuos de mecanización de otras industrias

³⁶ VV. AA. (1980) *La madera*. Editorial Blume. Barcelona. Pág. 44.

³⁷ Información obtenida de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 252.

³⁸ PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 13-14.

*(aserraderos, embalajes, paletas, etc.). Además con las técnicas de reciclaje actuales, la industria de tableros es capaz de volver a utilizar desperdicios o elementos de madera desechados después de su uso por la sociedad, introduciéndolos de nuevo en el circuito de la madera como productos útiles.*³⁹

De esta forma, el modelo de desarrollo sostenible de la industria maderera en los procesos de fabricación de tableros conglomerados derivados de la madera, demuestra que este tipo de industria y las normativas reguladoras de los procesos de fabricación, además de los productos, son los más interesados en conservar y mejorar los bosques como valor de equilibrio ecológico y fuente de abastecimiento de materia prima.

Según el artículo publicado en la revista AITIM, en 1998, titulado *1998 buen año para los tableros*, los tableros derivados de madera son un producto respetuoso con el medio ambiente. Así, encontramos en relación con la incineración de residuos peligrosos y de combustión de la madera y sus derivados, que la *“EPF⁴⁰ ha pedido enérgicamente la exclusión de los residuos de la madera y de sus productos derivados del campo de aplicación de esta directiva, ya que prácticamente ninguna de las instalaciones que existen para quemar residuos de la madera sería capaz de cumplir con las nuevas especificaciones.”*⁴¹

Las especies principales de madera más utilizadas para la obtención de las fibras destinadas a la fabricación de tableros MDF en España son los pinos y eucaliptos, árboles de crecimiento rápido que permiten el abastecimiento y la reforestación en un corto plazo de tiempo.

En el año 2000 encontramos otro artículo en la revista de la AITIM en donde la EPF y la Federación Europea de Tableros informan sobre el empleo de madera reciclada en la fabricación de tableros y el valor tan importante que está desempeñando en la industria: *“[...] los fabricantes de tableros MDF han*

³⁹ *Ibíd.* Pág. 13-14.

⁴⁰ European Panel Federation.

⁴¹ AITIM, 1999: *1998 buen año para los tableros*. Boletín de información técnica de AITIM, nº 200. Madrid, Pág. 54.

empezado a utilizar recientemente madera reciclada para fabricar sus tableros. Con este proceder, la industria está tratando de responder positivamente para conseguir el objetivo del desarrollo sostenible de la industria y crear más valor con menores impactos medioambientales.⁴² La presencia de sustancias peligrosas en los componentes y fabricación de los tableros, siguiendo el informe CEN CR 13. 387 *Artículos para niños y de uso especial. Directrices generales y comunes de seguridad* ha influido para que queden determinados en la siguiente tabla la lista de valores límites máximos para los tableros derivados de la madera que se fabriquen empleando madera reciclada:⁴³

ELEMENTO / COMPONENTE	VALORES LÍMITES (g/kg de tablero seco)
Arsénico (As)	0,0250
Cadmio (Cd)	0,0500
Cromo (Cr)	0,0250
Cobre (Cu)	0,0400
Plomo (Pb)	0,0900
Mercurio (Hg)	0,0250
Fluorina (F)	0,1000
Clorina (Cl)	1,0000
Pentaclorofenol	0,0050
Creosota (Benzo(a) pireno)	0,0005

Datos de tabla obtenidos de AITIM (2000) *Madera reciclada en tableros*. Boletín de información técnica. Nº 206. Pág. 13.

“El sector del tablero avanza en el consumo de madera reciclada. En 2007, los industriales españoles del tablero emplearon 1.585.558 m³ de madera reciclada para fabricar sus productos, lo que supone un incremento del 19% respecto al año anterior. El sector del tablero, pionero en el reciclado, tiene como objetivo alcanzar un consumo de 2 millones de metros cúbicos de madera reciclada para el año 2010.”⁴⁴

⁴² AITIM, 2000: *Madera reciclada en tableros*. Boletín de información técnica de AITIM, nº 206. Madrid, Pág. 13.

⁴³ *Ibíd.*

⁴⁴ Extraído del apartado Actualidad de la web oficial de la Asociación Nacional de fabricantes de Tableros (ANFTA) <http://www.anfta.es/?q=node/94>, el 19 de julio de 2011.

*“El consumo de madera reciclada de los fabricantes españoles de tableros experimenta un crecimiento exponencial, ya que sólo en el segmento de la fabricación de tablero de partículas, entre otros, se ha crecido desde el año 2000 en más de 1 millón de m3 de madera reciclada. Tanto es así, que para el aglomerado de partículas, el reciclado ya representa el 32% de la madera total consumida.”*⁴⁵

La madera produce una cantidad mínima de residuos, tanto si es durante la fabricación de madera y productos derivados de esta, como en aquellos subproductos que se usan como materia prima y como fuente de energía. Los recortes, las virutas y el serrín generados durante los procesos de aserrado de la madera, se usan en fábrica para producir combustible para los hornos de secado y otras operaciones, además de enfocarse directamente como materia prima para la producción de tablero de partículas y de fibras. En estos últimos años, un nuevo destino se ofrece para los residuos de madera: hay también un interés creciente en esta fuente de energía para las plantas de energía de biomasa, destinadas en su mayoría a zonas de población e industrialización del medio rural, evitando el consumo de combustibles fósiles y emisión de CO₂ a la atmósfera, lo que causa aún un menor impacto medio ambiental.

En España, la industria del tablero es pionera en el reciclado. Actualmente el 63% de la madera utilizada en los procesos de fabricación del tablero es reciclada, lo que supone el aprovechamiento del 50% de la madera residual y de fin de vida útil generada en el país a través de los puntos limpios, convirtiéndose, de este modo, en el país con mayor índice de reciclaje de residuos de madera.⁴⁶

⁴⁵ *Ibíd.*

⁴⁶ Datos obtenidos de BERMÚDEZ, J; CANALS, G; FERNÁNDEZ, P; FERNÁNDEZ, A; (2007) *El sector de la madera y el cambio climático*. ANFTA - Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros. Madrid. Pág. 95.

RELACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA RECICLADOS				
Año	Recicaje de alets y embalajes	Subproductos 1ª transformación	Subproductos 2ª transformación	Total madera reciclada
1998	108.000	740.000	251.000	1.099.000
1999	140.000	1.881.000	256.000	2.547.000
2000	180.000	1.911.000	286.000	2.677.000
2001	535.852	1.703.922	675.981	3.915.755
2002	721.765	2.716.944	679.236	4.117.945
2003	930.511	2.638.774	581.839	4.151.124
2004	1.068.914	2.305.267	586.444	3.960.625
2005	1.191.562	2.373.142	484.859	4.049.563
2006	1.295.255	2.498.798	444.235	4.238.288

Subproductos 1ª transformación: Serrines, astillas, costeros.

Subproductos 2ª transformación: Recortes virutas, etc.

Datos de la tabla extraídos de J. Bermúdez; G. Canals; P. Fernández y A. Fernández (2007). ANFTA. Pag. 95.

El modo de fabricación del tablero de partículas consta de 9 pasos consecutivos, llevados a cabo mediante maquinaria y procesos tecnológicos e industriales:⁴⁷

1. Fragmentación. Proceso por el cual se producen partículas de madera de espesor regular de 0,4 a 0,2 mm. de espesor para capas interiores y algo más irregular para interiores.
2. Secado de las partículas. Las partículas resultantes se someten a secado hasta lograr un coeficiente de humedad bajo y uniforme.

⁴⁷ Datos extraídos de CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Pág. 253.

3. Encolado. Mediante pulverización continua de colas derivadas de resinas sintéticas urea-formol, urea-melanina-formol, fenol formol, urea-formaldehído: $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{CH}_2\text{O}$.
4. Formación. Operación que exige maquinaria de precisión para regular de modo constante volumen y peso dentro de unos parámetros de tolerancia.
5. Prensado. Por medio de prensas automáticas que regulan velocidad de cierre, movimiento, presión, temperatura y tiempo de prensado.
6. Acondicionado. Es el periodo de estabilización de los tableros que puede durar horas e incluso días.
7. Canteado. Mediante el repaso de sus bordes, los tableros se someten a redimensionado.
8. Lijado. Repaso y afinado del tablero por sus dos caras y sus cantos.
9. Expedición. Como en cualquier producto de fabricación industrial, es la consiguiente evaluación de controles de calidad antes de su comercialización.

En relación a este aprovechamiento maderero, otros autores como B. Velázquez Martí, del departamento de Mecanización y Tecnología Agraria de la Universidad Politécnica de Valencia, nos hacen una aclaración terminológica de los productos que ofrecen los bosques, para diferenciar los conceptos de “biomasa”, “biomasa forestal” y “residuos forestales”. Se entiende por biomasa a toda la materia orgánica que tiene su origen en procesos biológicos empleados como fuente de energía o de uso industrial, por lo que podríamos deducir, que la biomasa forestal, en este caso, es aquella generada por procesos biológicos que suceden en los montes y que se emplean de manera industrial, tanto en combustibles energéticos como en la transformación de productos derivados de madera. Así, a esta extracción de biomasa forestal a

través de residuos forestales derivados de las actividades de aserrado en el monte (claras, clareos, podas, etc.), se le denomina aprovechamiento forestal.

Este aprovechamiento maderero, de forma bien estructurada, da como resultado una fuente de materia prima que describiremos en la siguiente tabla:⁴⁸

PARTES DEL ÁRBOL	UTILIZACIÓN
Fuste	Industria del tablero
Corteza	Industria del tablero Aplicaciones energéticas
Serrín y virutas	Industria del tablero derivado de madera Otros productos derivados de la madera Aplicaciones energéticas
Costeros y leñas	Industria del tablero derivado de la madera
Residuos voluminosos	Industria del tablero derivado de la madera: T. partículas. Aplicaciones energéticas
Otros residuos del reciclaje de madera ya transformada.	Industria del tablero derivado de la madera Aplicaciones energéticas

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de B. Velázquez (2006) Pág. 3.

5.3. TABLERO DE FIBRAS.

Hemos visto que la madera natural sufre un proceso de transformación y desintegración para volver a componerse en productos industriales buscando la máxima homogeneidad, en un producto, que requiere en su fabricación de un

⁴⁸ Datos obtenidos de VELÁZQUEZ, B. (2006) *Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética*. Red Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Versión en línea. Vol. XV, número 001. Pág. 3.

elevado coste energético. El tablero de fibras se constituye por la unión de las células individualizadas de la madera, traqueidas si son coníferas o fibras y traqueidas si son frondosas. Los adhesivos empleados para la unión de las fibras son de Urea formaldehído y la aglomeración de las fibras se realiza por la aplicación de presión y calor, según tres calidades diferentes de acuerdo a su densidad:

- De baja densidad: si la densidad es menor a $0,7 \text{ gr/cm}^3$.
- De media densidad MDF (siglas de Medium Density Fiber): si la densidad oscila entre $0,7$ y $0,9 \text{ gr/cm}^3$.
- De alta densidad HDF (siglas de de Hard Density Fiber): si la densidad es superior a $0,9 \text{ gr/cm}^3$.

A diferencia de lo que podría ocurrir en la fabricación de otro tipo de tableros conglomerados, en éste las fibras no tienen ninguna orientación predeterminada, por lo que la resistencia a flexión es generalmente la misma en cualquiera de sus direcciones.

5.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS DE FIBRAS.

5.4.1. Tableros fabricados por el proceso húmedo.

Serán aquellos en los que el la humedad de sus fibras sea superior al 20% en el momento de su fabricación. Atendiendo a su densidad, se distinguen los siguientes tipos:

- Tableros duros: de densidad 900 kg/m^3 y denominados con las siglas HB que significan Hard Board.
- Tableros semiduros: de densidad 400 kg/m^3 e $< 900 \text{ kg/m}^3$ y denominados con las siglas MB, que significan Medium Board. Dentro de este grupo encontramos dos subgrupos, que en función de su densidad se clasifican en:
 - Tableros semiduros de baja densidad: 400 kg/m^3 e $< 560 \text{ kg/m}^3$, denominados por las siglas MBL, que significan Medium Board Ligth.

- Tableros semiduros de alta densidad: 560 kg/m^3 e $< 900 \text{ kg/m}^3$ que se denominan por las siglas MBH, que significan Medium Board Heavy.
- Tableros aislantes: su densidad es de 230 kg/m^3 e $< 400 \text{ kg/m}^3$, denominados por las siglas SB, de Soft Board.

5.4.2. Tableros fabricados por el proceso seco: MDF.

Serán aquellos en los que el la humedad de sus fibras sea inferior al 20% en el momento de su fabricación y cuya densidad es 700 a 900 kg/m^3 . Para su fabricación es necesario añadir a las fibras un aglomerante sintético, que por medio de la aplicación de calor y presión formará el tablero. Atendiendo a su densidad, se distinguen los siguientes tipos de tableros comerciales:

- MDF: cuya densidad es 700 kg/m^3 y sus siglas significan Medum Density Fiber.
- HDF: es un tablero de fibras con una densidad de 900 kg/m^3 o superior, cuyas siglas significan Hard Density Fiber
- MDF ligero: con una densidad de 650 kg/m^3 .
- MDF ultra ligero: con una densidad de 550 kg/m^3 .

5.5. CLASIFICACIÓN SEGÚN LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN.⁴⁹

AMBIENTE	SÍMBOLO
Ambiente seco	(sin símbolo)
Ambiente húmedo	H
Exterior	E

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de la web oficial AITIM/ generalidades de los tableros de fibras MDF. 2011.

⁴⁹ Datos obtenidos de la web oficial de la AITIM, en el apartado que menciona las generalidades de los tableros de fibras MDF:
http://www.infomadera.net/modulos/productos_y_empresas.php?id=430 consultada el 15 de julio de 2011.

5.5.1. Tableros de fibras (MDF) fabricados por el proceso seco según las condiciones de utilización recogida en la normativa UNE-EN 622-5:

- MDF tableros para utilización general en ambiente seco.
- MDF-H tableros para utilización general en ambiente húmedo.
- MDF-LA tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- MDF- HLS tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- L-MDF tableros ligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- L-MDF-H tableros ligeros para aplicaciones no estructurales utilizados en ambiente húmedo.
- UL1-MDF tableros ultraligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- UL2-MDF tableros ultraligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- MDF-RWH tableros para utilización como subcapas rígidas en muros y cubiertas.

5.6. CLASIFICACIÓN SEGÚN LOS TIPOS DE UTILIZACIÓN.⁵⁰

APLICACIÓN	SÍMBOLO
Aplicación general	
Aplicación estructural	L
Para todas las clases de duración de la carga	A
Para cargas instantáneas	S

Los símbolos se incorporan a las siglas que denominan el tipo de tablero.
Ejemplo: MDF-H.

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de la web oficial AITIM. 2011.

⁵⁰ Ibíd.

5.7. CODIFICACIÓN DE COLOR PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS TABLEROS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS.

COLOR	TIPO DE TABLERO
Madera (color natural del tablero)	De uso estándar
Rojo	Resistente al fuego (Ignífugo)
Verde	Resistente a la humedad (hidrófugo)

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de la web oficial AITIM. 2011.

CAPÍTULO TERCERO
EL PAPEL DE LA MADERA EN ESCULTURA

6. USOS Y APLICACIONES DE LA MADERA.

6.1. EL PAPEL DE LA MADERA EN ESCULTURA.

El papel de la escultura ha adquirido de forma natural nuevos objetivos a lo largo de la historia, gracias entre otras cosas, a la investigación en materiales, instrumentos y procedimientos. En el caso de la talla, con el uso del pantógrafo y las nuevas herramientas electromecánicas se ha producido una agilización en el proceso de trabajo que llega a facilitar la labor y mejora del resultado. Pero a pesar de las evoluciones tecnológicas y técnicas, el material de la talla en madera sigue siendo el mismo desde los orígenes de esta práctica, aunque en esta ocasión y como hemos visto y seguiremos más adelante, propongamos un derivado industrial de la misma con similares características físicas, mecánicas y de trabajabilidad. Así pues, la talla es el proceso más antiguo que se ha demostrado en cuanto a creación escultórica, y se basa en una *“técnica sustractiva en la que partiendo de una masa sólida y mediante el corte, cincelado y abrasión, se le da una forma concreta”*⁵¹. Desde la Antigua Dinastía del Imperio Egipcio, se empleaba la madera para hacer pequeñas imágenes e incluso los sarcófagos, sirviéndose de utensilios similares a los que hoy día empleamos. Más tarde, en la Grecia Preclásica encontramos ejemplos de escultura en madera, pero con menor abundancia, aunque es en la Época Clásica y el Imperio Romano cuando se llega a un grado de dominio sobre el material, para no dejar, incluso en los periodos de la Edad Media, de producir escultura. Es a partir del siglo XI cuando se produce un fenómeno de proliferación de imágenes talladas en madera y policromadas que recorre Europa de un extremo a otro para culminar en el Renacimiento y Barroco.

La cultura española de los siglos XVII y XVIII dio como fruto la proliferación de grandes talleres de escultores de madera policromada en Sevilla, Granada, Castilla y Murcia, que en aquella etapa de esplendor barroco ofrecieron magníficas obras, que atendiendo a sus cualidades de forma y materia, son excelentes ejemplos. Nos referimos a Alonso Cano, Martínez Montañés,

⁵¹ GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 85.

Gregorio Fernández o Francisco Salcillo. Esta actividad imaginera tan abundante en nuestro país decrece en cierta medida, para que en el siglo XX pervivan ciertas escuelas locales en Galicia, Cataluña, País Vasco y Andalucía fundamentalmente, no abandonando esta actividad escultórica en aquellas áreas donde el fervor procesional pervive hoy día.

Debemos señalar también, que toda escultura en madera no debía ni debe ser necesariamente religiosa, ya que en las propias Vanguardias este material juega un papel importante junto a aquellos denominados industriales. Bien es cierto que la renovación o reciclado del lenguaje escultórico ha sido fruto de un proceso de transformación algo más lento que en otras disciplinas como la pintura; debido, en todo caso, a esa vinculación tan estrecha entre escultura y religión, escultura y figuración, escultura y clasicismo. La madera ha visto cómo la construcción de los lenguajes del arte de vanguardia adopta sus formas, ofreciendo nuevas posibilidades figurativas, abriendo sus horizontes hacia una escultura constructivista, expresionista, abstracta e incluso cinética que van más allá de la representación clasicista o religiosa.

Las Vanguardias se caracterizan precisamente por ese “romper con todo para comenzar de nuevo” que haría posible la simplificación de formas y la consideración de otros posibles materiales. En definitiva, una renovación de los lenguajes del arte, que en el caso de la escultura, retornan al origen escultórico de la madera como primer material y que siglos más tarde, desemboca en Europa el resurgir de la talla directa, abandonando el ideal de la pura mimesis y procurando, como ocurría en el resto de disciplinas artísticas, hacer una recreación de la realidad con nuevas formas y nuevos procedimientos. Tradición e innovación vuelven a estar juntas mediante procesos de creación como un modelo de reciclaje e invención.

Todo proceso de talla, independientemente del material soporte, se desarrolla a través de tres estados fundamentales:⁵²

⁵² Datos extraídos de GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 87.

- Desbaste para eliminar gran cantidad de material sobrante para llegar a la forma aproximada.
- Análisis de la forma mediante el tallado sirviéndose de hojas cortantes.
- Acabado superficial empleando herramientas abrasivas.

Estos tres procesos se verán condicionados por las propiedades físico-mecánicas del material soporte. La madera se ha empleado para fines artísticos por ser un material relativamente cómodo de adquirir, ya que es el material de construcción por excelencia y las fuentes naturales de las que abastecerse abundan y se regeneran. Por su escasa dureza (en comparación con otros materiales empleados en talla) y facilidad de combinar y ensamblar partes, además de su ligereza, es un material apto para amoldarse a las particularidades de cada proyecto. No debemos olvidar sus propiedades mecánicas de resistencia a impactos, escasa fragilidad, estabilidad frente a los cambios de temperatura (aunque le afecten en ocasiones), etc. la madera permite que su superficie sea trabajada y acabada mediante terminaciones que destacan y realzan de manera visual y táctil su cromatismo y las formas veteadas. Por el contrario, y si fuese así nuestra intención, puede ser teñida y policromada, que como ocurre en el barroco donde el *“color completa lo escultórico y le ayuda en su afán de realismo”*⁵³ para cambiar precisamente ese aspecto visual, creando paradojas visuales que nos hagan dudar de su naturaleza material, como es el caso de la imaginería policromada.

En la madera que hemos de destinar a la escultura y técnica de la talla, han de considerarse varios aspectos que condicionan el trabajo sobre el material:

- Fibra.
- Grano.
- Dureza.
- Densidad

⁵³ SÁNCHEZ-MESA MARTÍN. D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 18.

La característica de dureza de la madera, influye en el proceso de tallado como factor que determinará la incidencia del corte de la herramienta sobre la madera y la fuerza o energía que ha de aplicarse para conseguir el desbaste, el corte o el aserrado.

Atendiendo a la densidad, esta propiedad determinará cuán compacta es una madera durante el trabajo en escultura y talla y por tanto, si es más pesada o no con respecto a otras.

Al referirnos a la fibra como condicionante en el proceso de talla en madera, lo hacemos para hablar de las fibras que crecen en paralelo al eje del árbol, y con direcciones cambiantes como: recta, ondulada, entrelazada o revirada. Estas direcciones han de tenerse en cuenta para realizar cortes limpios y precisos que no hagan que la madera se astille y se escape a nuestro control.

En cuanto al grano, nos referimos a la relación entre los diferentes diámetros que tienen los elementos longitudinales de la madera⁵⁴, o sea, las fibras. Al igual que en el caso anterior, dicho diámetro es importante en el momento de ejercer el trabajo de talla sobre la madera, clasificándose en grano fino, grano medio y grano grueso.

Otros factores de consideración de la madera frente a la trabajabilidad en procesos de talla, es la hendibilidad como capacidad de separación de sus fibras en sentido longitudinal por la acción de los esfuerzos de tracción. La porosidad y homogeneidad, como agente determinante para poder trabajar la madera con condiciones similares en todas sus direcciones sin atender a irregularidades propias de la naturaleza del material; y el veteado, que es un elemento principal, tanto para que el proceso de talla sea limpio, preciso y certero, como para el posible acabado final de pulimento, tintado y policromía.

La apariencia exterior de la madera ha de ser determinante para la elección de la madera a trabajar, en aquella escultura que como acabado final se pretenda

⁵⁴ Según MEDINA AYLLÓN y PASCUAL, E. (2008) *La talla en madera*. 2ª edición. Parramón Ediciones S.A. Barcelona. Pág. 11.

salvar las características estéticas propias de este material, sin ser ocultadas con ningún tipo de policromía. Aún así, la cantidad de variantes de acabado superficial de la escultura en madera abre un campo inmenso de posibilidades, ya sean en cuanto a policromías (tradicionales y actuales) como en tintes, barnices y ceras. No obstante, aspectos como durabilidad, veteado, sequedad, porosidad, densidad y las diferentes propiedades mecánicas de resistencia (más al corte de herramientas como las gubias), porosidad, tamaño de las piezas de madera y el modo de unión para formar bloques, son de una prioridad mayor a la de la apariencia externa. Así pues, en el trabajo de talla en madera, ha de considerarse estas condiciones de trabajabilidad con primacía ante las de acabado final, ya que el amplio abanico de posibilidades que se abren en este último, hacen que se busquen alternativas con mayor agilidad que ante el proceso de ejecución de la obra.

Otro de los aspectos fundamentales a la hora de elegir y trabajar un tipo de madera es lo que llamamos particularidades de la madera, entre las que destacamos los nudos, fendas, acebolladuras, etc. En este caso, los nudos son uno de los principales inconvenientes a la hora de trabajar los procesos de talla. En el lugar donde aparecen los nudos, existen desviaciones de las fibras para el nacimiento de una nueva rama. En estos casos, las fibras que forman el nudo son más duras y difíciles de tallar, incluso en algunos casos, pueden desprenderse (saltadizos). Aún siendo una particularidad de la madera, aparecen de forma inesperada en el interior del bloque de madera tras un proceso de trabajo avanzado pudiendo ser un inconveniente notable e incluso perjudicar al resultado final de la escultura. La apariencia estética de estas deformaciones los hacen interesantes en relación con el acabado final de la obra, pero es cierto que en ocasiones resulta preferible eliminarlos y añadir piezas de madera que los sustituyan, guardando en todo caso, la dirección de la fibra.

Aidan Walker, en su libro *Enciclopedia de la Madera, 150 tipos de madera del mundo*, habla del dibujo de la madera como distintivo entre las especies y como factor para la elección entre ellas. Considera pues, que el dibujo es

“El diseño de la superficie de la madera (dibujo) es el resultado de la interacción de una serie de características naturales combinadas y de la forma en que se cortan los troncos para conseguir un efecto”⁵⁵

Las “características naturales” a las que se refiere este autor son lo que denominamos nosotros “particularidades”, donde incluir la escasez de anillos de crecimiento, el color de la albura, duramen y sus variaciones tonales, la pigmentación y las manchas producidas por resinas y aceites, los nudos, fendas y el veteado.

Por otro lado, el granadino Domingo Sánchez-Mesa, en su libro *Técnica de la escultura policromada granadina*, hace referencia a los tipos de madera que empleaban los escultores imagineros de Castilla y Andalucía, advirtiendo que la elección de las maderas, ya sea para imaginería, como para la creación de retablos y altares, dependía de su dureza, frecuencia, fortaleza, intensidad de la veta y el comportamiento de esta última ante el corte de la herramienta, astillándose o no. Haciendo referencia a la porosidad de la madera, Sánchez-Mesa afirma que *“De su poro depende el acabado de la talla y de él depende así mismo la mayor o menor resistencia al escofinado [...]”⁵⁶* Así también, este autor hace alusión a aquellos contratos entre patronos, mecenas e imagineros en los que se exigía (por escrito) que la madera debía de estar limpia de nudos y fendas, saneadas convenientemente y con un poro lo más fino posible, bien seca, con buen aspecto y cortada en “buena luna.”⁵⁷

De todos estos factores dependería el buen resultado de la obra durante el proceso de trabajo y el posterior estado de conservación de la misma frente deformaciones o variaciones y como no, el ataque de los insectos y hongos. Además, aquellas maderas que tienen la particularidad de exudar resinas y aceites, eran tenidas en cuenta ya que se consideraba perjudicial para la

⁵⁵ WALKER, A. ((2007) *Enciclopedia de la madera. 150 tipos de madera en el mundo*. Art Blume S.L. Barcelona. Pág. 16.

⁵⁶ SÁNCHEZ-MESA, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de granada. Granada. Pág. 29.

⁵⁷ El término “buena luna” hace referencia al momento propicio para la tala del árbol. Los cuartos menguantes de invierno son los recomendados ya que el árbol se encuentra inactivo en su crecimiento y circulación cambial, para evitar así exudaciones y deformaciones propias del crecimiento y lograr un buen secado de la madera.

policromía aplicada a la escultura, donde las capas de yeso que servían de preparación de la madera antes de aplicar la policromía, no se asentarían sobre las superficies de aquellas partes donde la madera segrega dichas sustancias.

6.2. MADERAS MÁS USADAS EN ESCULTURA Y ESCULTURA POLICROMADA.

Las cualidades más buscadas en la madera, más allá de la facilidad o comodidad en su trabajo, es la uniformidad de las fibras y la homogeneidad en cuanto a aspecto y composición. Se suelen emplear maderas duras o blandas, que dependerán como dijimos, de su densidad y de lo compactas que sean sus fibras. La elección de maderas blandas o duras viene determinada normalmente por el tamaño de las piezas a realizar, eligiéndose maderas duras y compactas para aquellas piezas más pequeñas que necesiten de un tallado y minucioso detalle, para que no se vea condicionado por la fibra.

Los tipos de madera más usados en Imaginería policromada en España a partir del siglo XVI, según Gañán Medina, son:

- Borne o pino flandes.
- Cedro de la Habana, por ello se incluyen a su vez varias maderas de cedro, caoba o caobillas.
- Castaño.
- Tejo.
- Álamo.
- Nogal, muy utilizado también para la elaboración de tableros para pintar.
- Ciprés, muy abundante en España y que por su toxicidad no es atacado por los insectos.
- Abeto.
- Boj, empleado incluso para fabricar palillos de modelar y mangos de herramientas.

Como hemos mencionado líneas más arriba, a efectos de la talla, la dureza ha sido un factor determinante a tener en cuenta en el trabajo de la madera en escultura. Una determinación de los tipos de dureza de las diferentes especies ayudará en la elección del material soporte, para lo cual debemos conocer de antemano la densidad del mismo en estado verde y en estado seco. Si la diferencia entre ambos estados es notable, la dureza sería menor (blanda); sin embargo, si la diferencia es pequeña, la madera será dura.

Atendiendo al aspecto de calidad de la madera, lógicamente un escultor no buscará las mismas calidades en una madera que un carpintero, de ahí, que se sirvieran del consejo de los gremios que pasaban controles de calidad a las maderas nacionales y de importación, haciendo hincapié en estas últimas. La elección de la madera es uno de los procesos más delicados para obtener los resultados deseados en una escultura, sabiendo en todo caso, salvar las particularidades del material antes y durante el proceso de trabajo y las propiedades que dicho material nos ofrece. De acuerdo con esto, incluimos una tabla para indicar algunas de las especies de madera y sus densidades y dureza:⁵⁸

MADERA	DENSIDADES kg/m ³		DUREZA
	SECA	VERDE	
Álamo blanco	500	900	Muy blanda
Aliso	600	850	Algo dura
Boj	912	1016	Muy dura
Caoba	720	900	Dura
Caoba Colonial	900	1000	Bastante dura
Castaño	580	720	Algo dura
Cedro	578	800	Algo dura
Ciprés	620	700	Algo dura
Haya	700	900	Algo dura
Limoncillo	800	900	Dura

⁵⁸ Información y datos de la tabla obtenidas de GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 117.

Pino	540	750	Blanda
Borne	500	900	Blanda
Roble	630	1085	Bastante dura
Teca	1000	1100	Muy dura
Tejo	700	970	Muy dura
Nogal	670	810	Algo dura

Tabla de densidad y dureza en verde y en seco de algunas de las maderas. Información obtenida de C. Ganán Medina (1999). Pág. 117.

Según Medina Ayllón y E. Pascual, en su trabajo sobre la talla en madera donde explican paso a paso las técnicas de preparación del material y del proceso de talla, las maderas más utilizadas en talla y por tanto en escultura son:

- Maple.
- Aliso.
- Abedul.
- Boj.
- Cedro de Honduras.
- Ébano.
- Sipo.
- Bolondo.
- Bubinga.
- Amaranto.
- Pino Melis.
- Cerezo negro americano.
- Coral.
- Caoba/ Caoba de Honduras.
- Tilo.
- Cedro del Líbano.
- Iroko.
- Ciprés.
- Caobolo.
- Palo rosa.
- Haya.
- Guayacán.
- Bossé.
- Olivo.
- Pino Flandes.
- Plátano.
- Pino Oregón.
- Roble europeo.
- Ukola.
- Olmo.

Volviendo a la figura de Sánchez-Mesa y su libro sobre las técnicas de policromía granadina, este autor hace mención de las maderas empleadas en escultura e imaginería en España, coincidiendo en especies con los anteriores autores que hemos citado, clasificándolas, según dos áreas geográficas, entre Andalucía y Castilla:

ANDALUCÍA	CASTILLA
Castaño	Tejo
Borne de Flandes	Nogal
Borne de Asturias o Galicia	Pino
Cedro	Álamo
Caoba	Peral
Álamo	
Pino de Segura	

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de D. Sánchez-Mesa (1971)

Otros autores incluyen a todas estas especies de madera destinadas a escultura otras como: teca, sicomoro, tola blanca, palisandro, ébano o padauk.

6.3. LA PREPARACIÓN DE LA MADERA PARA SU TRABAJO EN ESCULTURA: EL EMBÓN.

Las ventajas de la madera como material escultórico son varias, desde su ligereza hasta la posibilidad de unirse y ensamblarse formando piezas que adquieren formas caprichosas. Pero para ello se debe de conocer las propiedades y el comportamiento de este material, sus movimientos y su estructura, reduciendo así las posibilidades de que las obras sufran contratiempos. En la concepción de la obra escultórica en madera, al pasar de la idea del proyecto a la materialización del mismo pueden escogerse diferentes vías en cuanto a la elección de la madera y su preparación para el trabajo de escultura. Desde siglos atrás y en diferentes localizaciones

territoriales, se han ideado modos de preparación de la madera como soporte, atendiendo al tipo y origen de la misma y al resultado final que se pretende alcanzar. La estructura de bloque macizo que tiene el árbol por naturaleza ha suscitado, de acuerdo también a las formas caprichosas que pueden adoptar, el origen de obras que resultaran de ellos y se ha aprovechado como material escultórico en numerosas culturas: desde el Antiguo Egipto con *El Alcalde del pueblo (Cheik el beled)*, hacia el 2750 a.C. y ubicado actualmente en el museo de El Cairo y tallado en un bloque de sicomoro y con los brazos exentos del bloque principal; hasta los tótems del poblado Haida en la Columbia Británica (Canadá) tallados en troncos de pino de 16 m. de altura actualmente ubicados en el Musée de l'homme de París.

El mundo Cristiano ha dejado una herencia escultórica en madera que aún hoy persiste, continuándose con la producción, pero en cuanto al empleo del tronco y ramas gruesas del propio árbol, esta forma de proceder se abandona a partir del Románico. Actualmente, en Arte Contemporáneo se rescata la naturaleza del tronco y sus particulares formas para construir nuevos lenguajes en escultura que modifican en un mínimo exponente las sugerentes formas naturales cargadas de una gran fuerza expresiva: troncos revirados, fendas pronunciadas, etc. En definitiva, los nudos y grietas y aquellos mencionados “defectos” de la madera dan solución a las inquietudes del proyecto escultórico, rescatando y poniendo en valor el lenguaje propio del árbol.

No obstante, partir del tronco dado con unas formas y dimensiones preestablecidas puede ser un condicionante a la hora de concebir un proyecto de escultura, sin negar en ningún momento los aportes que la naturaleza del árbol pudiera hacer. Un tronco de madera alberga un universo de posibilidades, pero siempre se podrían aumentar si en vez de partir desde una forma dada, se construyese el propio bloque a partir de la unión de diferentes tablones y piezas de madera, de acuerdo a las exigencias que el proyecto pudiese tener. En la construcción de dicho bloque al que llamaremos embón, interfieren varios factores que han de considerarse, como:

1. Características del proyecto escultórico.
2. Elección de la madera más adecuada según sus características físico-mecánicas y condiciones de trabajabilidad.
3. La lógica natural del comportamiento de la madera y sus posibles movimientos.

Todo esto va dirigido hacia la elaboración de un bloque de madera estable a partir de la unión de varias piezas que contengan la forma y el tamaño de la pieza a tallar.

Esta lógica natural del comportamiento de la madera nos hace saber que los anillos medulares y fibras pueden moverse y alterar la forma y calidad del embón y por tanto de la escultura final. Así pues, tradicionalmente se ha recomendado que se cepille y encole la parte contraria en la que se enfrentan las partes más distantes de la médula de los tablones, “*aquella hacia donde tienden a distanciarse los círculos de crecimiento*”⁵⁹.

En la preparación del embón, a la hora de encolar las diferentes piezas, es necesario que éstas sean de igual grosor y que su disposición esté sujeta a una igual dirección de las fibras, con el fin de equilibrar las tensiones propias del material y las ejercidas durante el proceso de tallado. Sin embargo, autores como J. A. Marcos Ríos, en su libro *La escultura policromada y su técnica en Castilla. Siglos XVI y XVII*, hace mención a los antiguos maestros, quienes preferían disponer las piezas de madera que forman el embón alternando la dirección de las fibras de forma contraria⁶⁰ para que las tensiones producidas se contrarresten y se eviten deformaciones tales como alabeos, pandeos, etc. Esta misma forma de proceder se adoptó en la fabricación industrial de tableros contrachapados de madera natural, para evitar precisamente el riesgo de deformación del material.

⁵⁹ VV.AA. (1999) *Biblioteca de la talla y la madera*. Editorial Daly S.L. Málaga. Pág. 84.

⁶⁰ MARCOS RÍOS, J. A. (2005) *La escultura policromada y su técnica en Castilla. Siglos XVI y XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 20.

La construcción de bloques o embones de madera y las técnicas de ensamble de piezas exentas ya la emplearon los egipcios al adjuntar a un tronco que funcionaba como cuerpo central los brazos y antebrazos que bien podían ser articulados. Una técnica similar adoptaron los escultores del Románico para la realización de los crucificados, quienes comenzaron a vaciarlos por detrás extrayendo la médula del tronco con el fin de aligerar su peso y evitar posibles movimientos de la madera. Tal fue la importancia del ensamble de piezas exentas al bloque principal, que la figura del ensamblador cobra una importancia tan determinante como la del propio escultor o policromador, ya que sin él no podían llevarse a cabo las particularidades de estas obras y el cumplimiento del contrato. Las manos, pies y cabeza solían trabajarse aparte, al igual que ocurre en la actualidad, para más tarde ser ensamblados al bloque principal. Ajustándose lo más posible a la silueta del modelo preconcebido con anterioridad, se encolan las piezas que configuran el embón, de forma que se facilite el trabajo de visualización de las formas de la escultura, así como los procesos de desbaste y talla de la obra.

Las uniones o ensambles para formar el embón pueden dividirse en 3 bloques principales:

1. Ensamblados de acoplamiento, respetando la dirección de las fibras.
2. Ensamblados de empalme, cuando los planos de unión no ofrecen todas las caras al hilo, por lo que han de estar perfectamente estudiadas de antemano.
3. Ensamblados de nudos, para sistemas de ornamentación.⁶¹

Para el correcto encolado de las piezas que formarán el embón debemos seguir una serie de normas:

- Han de estar las superficies perfectamente cepilladas.

⁶¹ Información obtenida GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 120.

- Ha de extenderse la cola uniformemente por toda la superficie de las caras a encolar, aprisionando con una espátula plana para facilitar la penetración en el poro o aplicándolas a brocha o rodillo.
- Antes de amordazar o fijar las piezas, éstas se frotarán hasta que ofrezcan resistencia y así eliminar restos de cola sobrante.
- Repartir la presión uniformemente para evitar tensiones extrañas.

Como es normal, aquellas piezas que se unen entre sí para formar estos bloques macizos, dejan una junta de unión que se disimula en el momento de aplicación de la policromía, tras finalizar el proceso de talla. Además, en las propias juntas de unión se colocan finas tiras de lienzo encolado, cáñamo o espigas de madera que refuerzan la unión a fin de evitar posibles movimientos y la visibilidad de las juntas.

Podemos darnos cuenta de las ventajas que se obtienen mediante la elaboración del embón con respecto a las posibilidades de nuestros proyectos si atendemos a las dos esculturas de Buda de 8 m. de altura que en 1204 proyectaron y llevaron a cabo Unkei y Kaikei⁶² trabajando diferentes embones por separado y uniéndolos finalmente para componer la totalidad de la obra. Pero es durante el Barroco cuando se perfecciona la técnica de embonado, debido incluso a la cantidad de demanda de escultura en madera con la Iglesia como principal cliente. Estos embones se caracterizan por ser huecos por dentro, no vaciados como en el Románico, sino contruidos directamente en hueco mediante la elaboración de un cajón central al que se le encolaban y adjuntaban otros recortes de madera. Esta forma de construir embones tiene una cuádruple finalidad:

1. Aligerar el peso de la obra.
2. Evitar grandes movimientos de la madera y agrietamientos.
3. Abaratar costes por el empleo de menor cantidad de materia.

⁶² Dos exponentes de la escultura japonesa de finales del siglo XII y principios del XIII, durante la Era Kamakura, considerados como los máximos especialistas en imágenes de Buda. Japón tomó la madera como uno de los principales materiales para la obra escultórica (empleando técnicas de policromía y dorado mediante procesos similares a los tradicionales de occidente) junto al bronce y otros metales, cerámica y piedra.

4. Menor tiempo para la ejecución de la obra por ajustarse el embón a la forma final de la escultura.

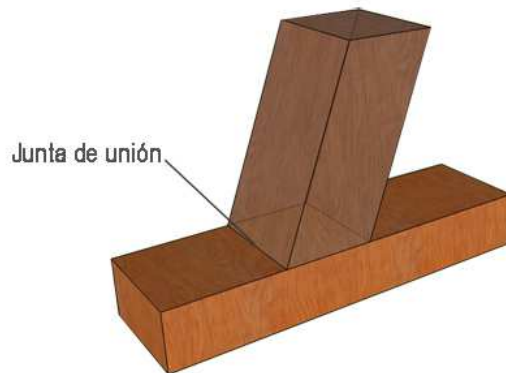
En esculturas de dimensiones considerables, el embón, como hemos mencionado, suele hacerse hueco en su interior, dejando eso sí, un grosor suficiente que permita el trabajo de tallado y otorgue consistencia a la obra. Conseguimos así dar ligereza a la escultura y evitar alteraciones producto de las condiciones ambientales en las que se encuentre o incluso la producción de ataques bióticos en el corazón de la madera. Como ejemplo de ello, existen varios casos en los que imágenes religiosas de Cristo, de dimensiones iguales o superiores a 1,80 metros de altura, tenían un peso en torno a los 25 kg.⁶³

6.3.1. Tipos de unión y elementos de ensamblaje de la madera en escultura.

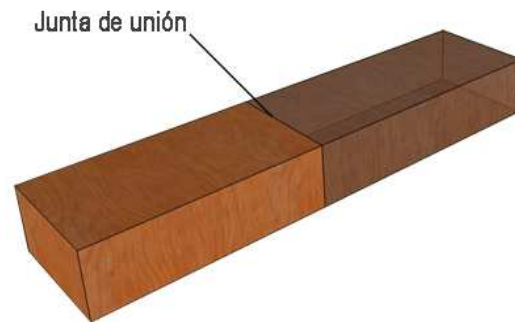
Como norma general, las uniones de madera se realizan en función de los esfuerzos que vayan a soportar. En el caso de la escultura, los esfuerzos se verán reducidos a los propios del trabajo de la madera por medios mecánicos y manuales (talla, cepillado, lijado, etc.), en comparación con la carpintería, ebanistería y la edificación, que sí soportarán otros mayores y prolongados. Existen alrededor de 600 tipos de uniones de madera, unos tradicionales y otros algo más actuales que además incorporan elementos auxiliares de refuerzo. En nuestro caso y para acotar nuestra investigación, nos centraremos en los tipos y modos de unión para la escultura en madera y preparación del embón, que suelen ser métodos tradicionales que ofrecen grandes resultados. Así pues, y de forma general, los tipos y sistemas de unión de la madera que hemos mencionado en el punto anterior pueden ser de tres tipos fundamentales:

⁶³ Información obtenida de GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 120.

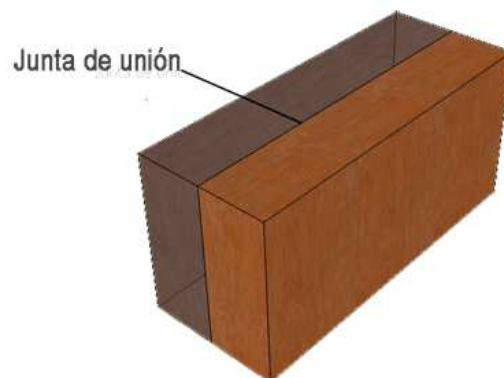
1. Ensamblajes de nudos: consistentes en la unión de piezas de madera con diferentes formas y direcciones (rectilíneas, curvilíneas u orgánicas) de tal modo que describan ángulos entre ellas. Lo característico es que la unión corta los ejes longitudinales de las piezas. Es tipo de unión se emplea en escultura para incorporar aquellas partes exentas del embón o cuerpo principal.



2. Empalmes o injertos: este tipo de unión consiste en la prolongación en longitud de las dimensiones de una pieza de madera, añadiendo otra por su extremo, haciendo coincidir los ejes longitudinales de ambas.



3. Acoplamiento o juntas: consistentes en la unión de piezas de madera de forma paralela haciendo coincidir sus caras o cantos en la dirección paralela a la fibra, de tal modo que se consigan secciones mayores o bloques macizos como el embón en escultura.



Imágenes infográficas de elaboración propia para ilustrar los tipos de unión entre maderas (2012).

El encuentro entre dos piezas de madera que necesita de ensamble para unirse describe un ángulo que puede reforzarse por cajas y espigas o por clavijas de madera que cruzan las intersecciones de las piezas. De este modo ofrecerán mayor resistencia ante esfuerzos de tracción. Este tipo de uniones, en conjunción con los adhesivos principalmente indicados para la madera, dan como resultado uniones fuertes y tenaces. A continuación se muestran algunos de los ejemplos más comunes de empalme utilizados en escultura (Figura 7).

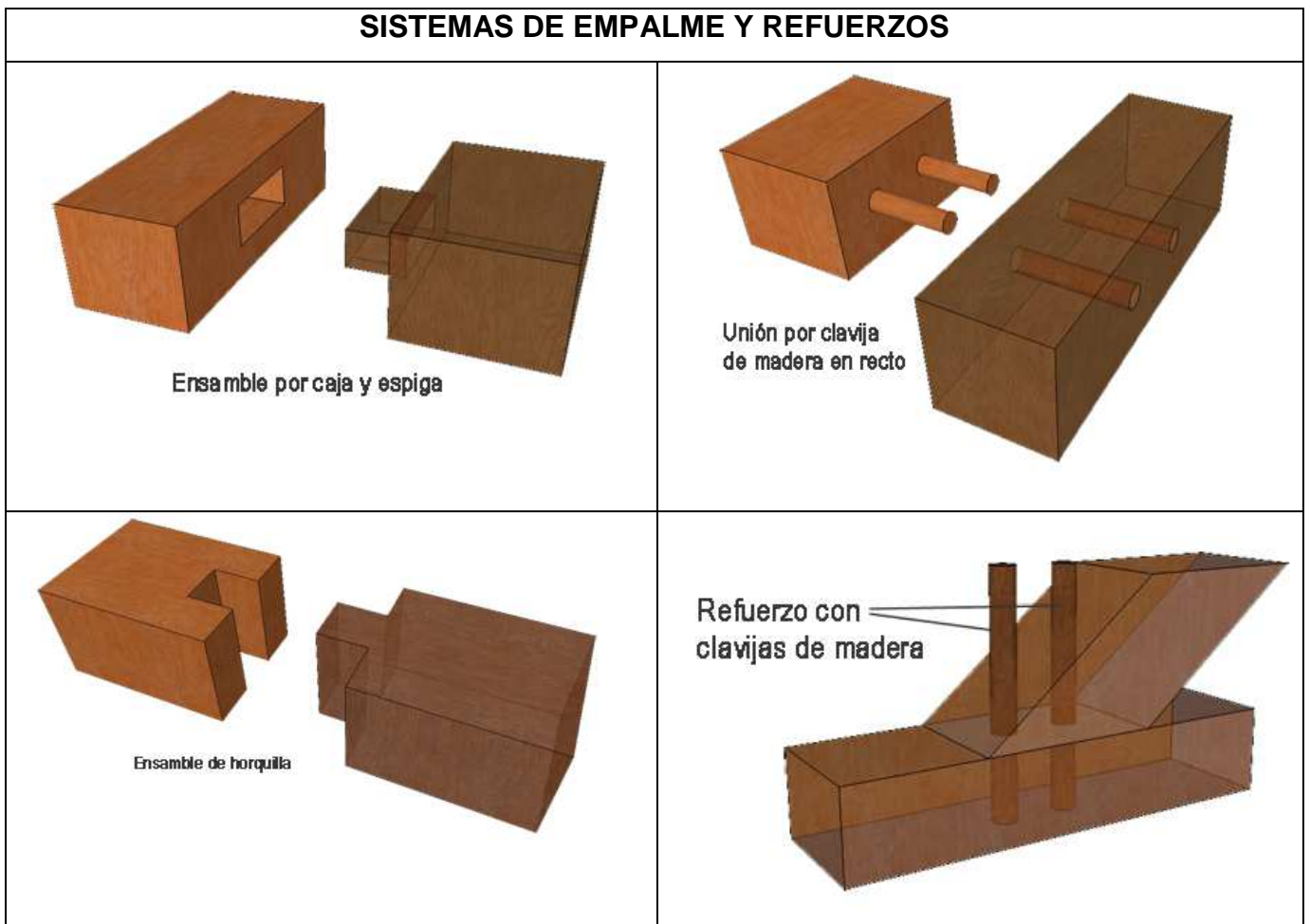


Figura 7. Imágenes infográficas de elaboración propia (2012). Sistemas de ensamble y refuerzos.

Las clavijas de madera pueden encontrarse en medidas estandarizadas en su diámetro y longitud o bien en varillas de longitud mayor para así poder cortarlas según las necesidades del proyecto. Además, la superficie de estas clavijas puede ser lisa o estriada con los cantos biselados para una mejor penetración en los orificios de la pieza a unir. Las acanaladuras o estrías en las clavijas

facilitan la expulsión del adhesivo sobrante para así, además, ofrecer menor resistencia hidráulica en el momento de introducción en el orificio.

Otro elemento que se usa en el refuerzo de las uniones son las llamadas galletas, piezas de madera o metal prefabricadas en forma de óvalo (de ahí el nombre asignado) que se suelen usar para la unión de piezas de madera por acoplamiento en los cantos, empalmes o bien en ensambles como refuerzo. Se necesita hacer una acanaladura en ambas piezas de madera a unir donde irán introducidas las galletas tal cual se verá en la imagen (Figura 8) A continuación mostramos diferentes tipos de clavijas, varilla de clavija y galletas.



Figura 8. Imágenes de elaboración propia (2012). Clavijas, galletas y método de unión.

Como anticipamos anteriormente, en el caso de las uniones de acoplamiento para la fabricación del embón, se deben tener en cuenta la direccionalidad de la fibra de la madera y las formas descritas por los anillos de crecimiento en cada pieza a unir. De este modo, en el momento de encolado, las piezas deben disponerse de tal forma que los arcos descritos por los anillos de crecimiento queden opuestos, ya que los empujes naturales de la madera ejercerán su fuerza desde el centro hasta los extremos. Al disponer las diferentes piezas del embón del modo correcto, combinando los movimientos para contrarrestar tensiones, se consigue aumentar la resistencia frente al movimiento natural de la madera, previniendo la aparición de grietas o la separación de piezas. A

continuación mostramos las imágenes de cómo han de disponerse las piezas en la fabricación del embón (Figura 9):

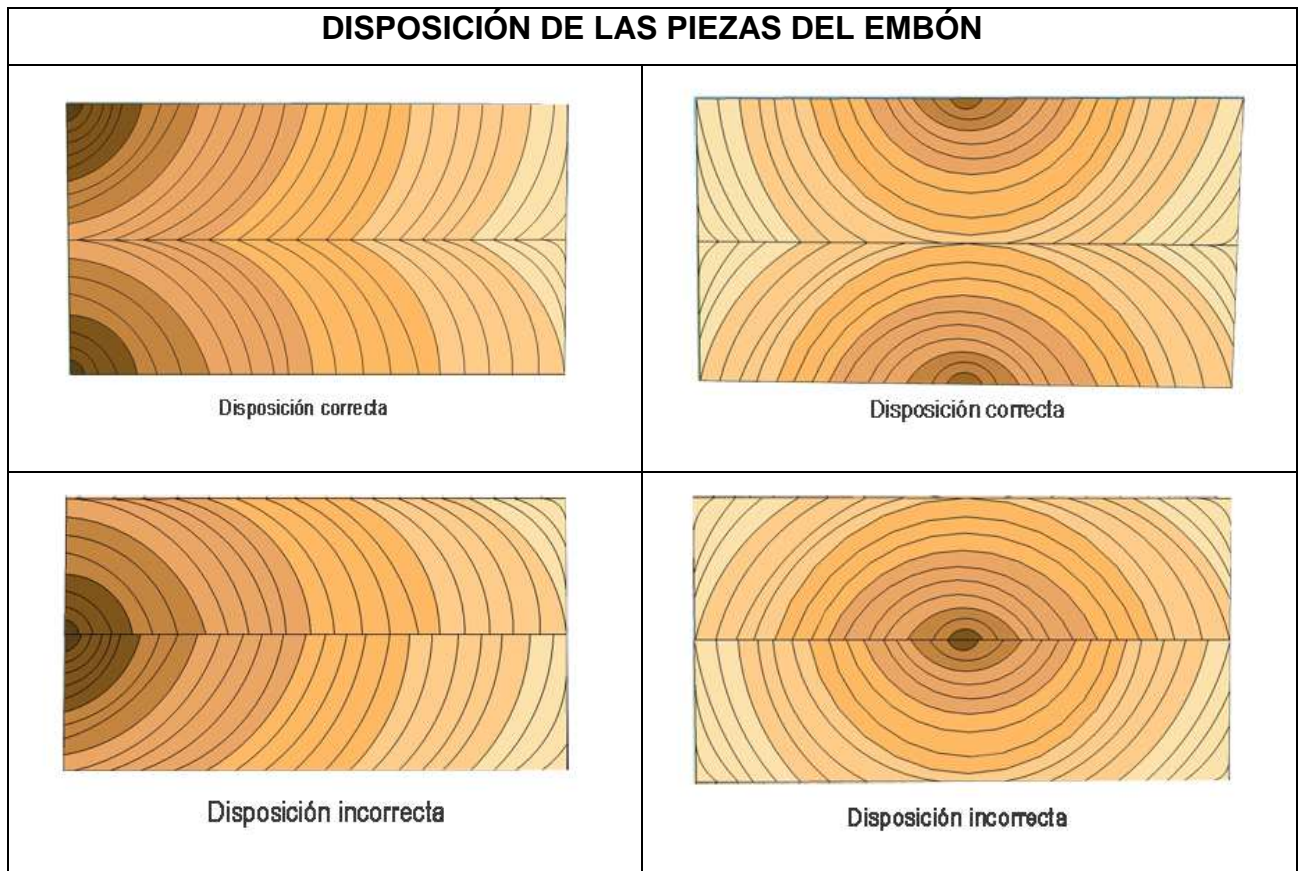


Figura 9. Imágenes de elaboración propia (2012). Disposición de las piezas del embón.

CAPÍTULO CUARTO

INVESTIGACIÓN SOBRE EL MATERIAL TABLERO DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA MDF: PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, ESTRUCTURALES, MECÁNICAS Y APLICATIVAS

7. NORMATIVA Y ESPECIFICACIONES COMUNES A TODOS LOS TIPOS DE TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA.

Las Normas UNE son documentos elaborados por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), organismo reconocido a nivel nacional e internacional por su actividad normativa (Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria), que contienen especificaciones técnicas para una actividad o producto y que han sido consensuadas entre todas las partes involucradas, ofreciendo un lenguaje común de comunicación entre las empresas, la Administración, los usuarios y consumidores.

La actividad de AENOR comenzó en el año 1986 cuando, mediante una Orden Ministerial que desarrollaba el Real Decreto 1614/1985, fue reconocida como la única entidad aprobada para desarrollar las tareas de normalización y certificación en nuestro país. Posteriormente, el Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre que aprobaba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial en España, ratificó el nombramiento de AENOR como responsable de la elaboración de las normas españolas (Normas UNE) y representante de los intereses españoles en los organismos de normalización europeos e internacionales.⁶⁴

7.1. NORMAS DE ENSAYOS.

- UNE 56.700: Tableros de madera. Definición y clasificación.
- UNE EN 310: Tableros derivados de madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión.
- UNE EN 322: Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido de humedad.

⁶⁴ Extraído de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/normalizacion.asp>, el 14 de julio de 2011.

- UNE EN 323: Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad.
- UNE EN 324-1: Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 1: Determinación del espesor, anchura y longitud.
- UNE EN 324-2 Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 2: Determinación de la escuadría y rectitud de cantos.
- UNE EN 325: Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de las probetas.
- UNE EN 326-1: Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 1: Muestreo y despiece de probetas y expresión de resultados de ensayo.
- UNE EN 326-2: Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 2: Control de la calidad en fábrica.
- UNE EN 326-3: Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 3: Inspección de un lote de tableros.

7.2. NORMAS RELACIONADAS CON EL CONTENIDO DE FORMALDEHÍDO DE LOS TABLEROS.

- UNE EN 120: Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido en formaldehído. Método de extracción denominado del “perforador”.

- UNE ENV 717-1: Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 2: Emisión de formaldehído por el método de la cámara.
- UNE EN 717-2: Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 2: Emisión de formaldehído por el método de análisis de gas.
- UNE EN 717-3: Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 3: Determinación de la emisión de formaldehído por el método del frasco.

7.3. NORMAS ESPECÍFICAS PARA LOS TABLEROS DE FIBRAS.

8.3.1. Definiciones.

- UNE EN 316: Tableros de fibras. Definición, clasificación y símbolos.

7.3.2. Ensayos.

- UNE EN 317: Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua.
- UNE EN 318: Tableros de fibras. Determinación de las variaciones dimensionales originadas por los cambios de humedad relativa.
- UNE EN 319: Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero.

- UNE EN 320: Tableros de fibras. Determinación de la resistencia al arranque de tornillos en la dirección del eje.
- UNE EN 321: Tableros de fibras. Ensayo cíclico en condiciones húmedas.
- UNE EN 382-1: Tableros de fibras. Determinación de la absorción superficial. Parte 1: Método de ensayo para tableros de fibras elaborados por proceso seco.
- UNE EN 382-2: Tableros de fibras. Determinación de la absorción superficial. Parte 2: Método de ensayo para tableros de fibras duros.
- UNE 56.743: Tableros de fibras duros. Determinación del estado de superficie.
- UNE 56.744: Tableros de fibras duros. Determinación del contenido de arena.
- UNE 56.745: Tableros de fibras duros. Determinación de la absorción de pintura.

7.3.3. Especificaciones.

- UNE EN 622-1: Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales.
- UNE EN 622-2: Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de fibras duros.
- UNE EN 622-3: Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones para los tableros de fibras semiduros.

- UNE EN 622-4: Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 4: Especificaciones para los tableros de fibras blandos.
- UNE EN 622-5: Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones para los tableros de fibras fabricados por el proceso seco (MDF).

7.4. NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA LOS TABLEROS DE FIBRAS MDF.

Se exige a los fabricantes, que tengan implantado un control interno de fabricación que incluye la realización de dos inspecciones anuales, en las que se recogen muestras para su ensayo y se comprueba la realización del control interno de fabricación. Veremos en el punto 11 las normas de la marca de calidad concedida por la AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera)

Los datos que se muestran a continuación y que recogen las normas de especificaciones y los valores de las propiedades del MDF son destinados al control de calidad que debe cumplir el fabricante. Con una X se indica la propiedad que debe comprobarse:⁶⁵

NORMAS DE ESPECIFICACIONES PARA LOS TABLEROS DE FIBRAS MDF					
PROPIEDADES REQUERIDAS	TIPO DE TABLERO				
	Norma de ensayo	MDF	MDFH	MDFLA	MDFHLS
Resistencia flexión -En dirección longitudinal -En dirección transversal	EN 310	X	X	X	X

⁶⁵ Datos obtenidos de PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 81.

Módulo de elasticidad en flexión -En dirección longitudinal -En dirección transversal	EN 310	X	X	X	X
Resistencia a tracción perpendicular a las caras	EN 319	X	X	X	X
Hinchazón en espesor	EN 317	X	X	X	X
Resistencia a la humedad Opción 1 -Resistencia a tracción perpendicular a las caras después de ensayo cíclico +Hinchazón en espesor después de ensayo cíclico	EN 321 EN 319 EN 317	X		X	
Resistencia a la humedad Opción 2 - Resistencia a tracción perpendicular a las caras después de ensayo de cocción en agua	EN 1087		X		X

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004). Pág. 81.

MDF: Tablero MDF estándar de uso no estructural para utilización en ambiente seco.

MDFH: Tablero MDF de uso no estructural para utilización en ambiente húmedo.

MDFLA: Tablero MDF de uso estructural para utilización en ambiente seco.

MDFHLS: Tablero MDF de uso estructura para utilización en ambiente húmedo.

7.4.1. Especificaciones para los tableros de fibras MDF.

Normas de especificaciones utilizadas para el control de fabricación de tableros MDF. La norma UNE EN 622-5 establece los siguientes tipos de tableros de fibras MDF:

- MDF: tableros para utilización general en ambiente seco.
- MDF-H: tableros para utilización general en ambiente húmedo.
- MDF-LA: tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- MDF-HLS: tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- L-MDF: tableros ligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- L-MDF.H: tableros ligeros para aplicaciones no estructurales utilizados en ambiente húmedo.
- UL1-MDF: tableros ultraligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- UL2-MDF: tableros ultraligeros para aplicaciones no estructurales para utilización general en ambiente seco.
- MDF-RWH: tableros para utilización como subcapas rígidas en muros y cubiertas.

Según la norma UNE-EN 622-5, las especificaciones de los tableros de fibras MDF se marcarán en cada tablero mediante unas franjas de color en la proximidad de una esquina, en la que el primer color (en una o dos franjas) definirá el tipo de aplicación y el segundo color informará el tipo de uso según el ambiente en que se encuentre. En la siguiente tabla podemos ver esta codificación de color:

CÓDIGOS DE COLOR PARA LAS ESPECIFICACIONES DE TABLEROS DE FIBRAS MDF			
COLOR (En franjas)	APLICACIÓN	AMBIENTE DE USO	TIPO DE TABLERO
Blanco-blanco-azul	Aplicaciones no estructurales	Seco	MDF
Blanco-blanco-verde	Aplicaciones no estructurales	Húmedo	MDF-H
Amarillo-amarillo-azul	Aplicación estructural	Seco	MDF-LA
Amarillo-amarillo-verde	Aplicación estructural	Húmedo	MDF-HLS

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos según norma UNE –EN 622-5.

7.4.2. Especificaciones de los tableros MDF para la utilización general en ambiente seco.⁶⁶

ESPECIFICACIONES MDF PARA UTILIZACIÓN EN AMBIENTE SECO											
Propiedad	Método de ensayo	Unidad de medida	ESPECIFICACIONES UNE 622-5								
			Rango de espesores en mm								
			1,8 a 2,5	>2,5 a 4	>4 a 6	>6 a 9	>9 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Hinchazón 24 h.	EN 317	%	45	35	30	17	15	12	10	8	6
Resistencia a tracción \perp a las caras	EN 319	N/mm ²	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,55	0,55	0,50	0,50
Resistencia a Flexión	EN 310	N/mm ²	23	23	23	23	22	20	18	17	15
Módulo de elasticidad	EN 310	N/mm ²	-	-	2700	2700	2500	2200	2100	1900	1700

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004). Pág. 210.

⁶⁶ Datos obtenidos de PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 210.

7.4.5. Especificaciones de los tableros MDF-H para su utilización general en ambiente húmedo.⁶⁷

ESPECIFICACIONES MDF-H PARA UTILIZACIÓN EN AMBIENTE HÚMEDO											
Propiedad	Método de ensayo	Unidad de medida	ESPECIFICACIONES UNE 622-5 Rango de espesores en mm								
			1,8 a 2,5	>2,5 a 4	>4 a 6	>6 a 9	>9 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Hinchazón 24 h.	EN 317	%	35	30	18	12	10	8	7	7	6
Resistencia a tracción \perp a las caras	EN 319	N/mm ²	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Resistencia a Flexión	EN 310	N/mm ²	27	27	27	27	26	24	22	17	15
Módulo de elasticidad	EN 310	N/mm ²	2700	2700	2700	2700	2500	2400	2300	2200	2000

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004). Pág. 210.

7.4.6. Especificación para tableros MDF-LA para su utilización general en ambiente seco.⁶⁸

ESPECIFICACIONES MDF-LA PARA UTILIZACIÓN EN AMBIENTE SECO											
Propiedad	Método de ensayo	Unidad de medida	ESPECIFICACIONES UNE 622-5 Rango de espesores en mm								
			1,8 a 2,5	>2,5 a 4	>4 a 6	>6 a 9	>9 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Hinchazón 24 h.	EN 317	%	45	35	30	17	15	12	10	8	6
Resistencia a tracción \perp a las caras	EN 319	N/mm ²	0,70	0,70	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,50
Resistencia a Flexión	EN 310	N/mm ²	29	29	29	29	27	25	23	21	19
Módulo de elasticidad	EN 310	N/mm ²	3000	3000	3000	3000	2800	2500	2300	2100	1900

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004). Pág. 211.

⁶⁷ Ibíd. Pág.210.

⁶⁸ Ibíd. Pág. 211.

7.4.7. Especificación para tableros MDF-HLS para su utilización general en ambiente húmedo.⁶⁹

ESPECIFICACIONES MDF-LA PARA UTILIZACIÓN EN AMBIENTE SECO											
Propiedad	Método de ensayo	Unidad de medida	ESPECIFICACIONES UNE 622-5								
			Rango de espesores en mm								
			1,8 a 2,5	>2,5 a 4	>4 a 6	>6 a 9	>9 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Hinchazón 24 h.	EN 317	%	35	30	18	12	10	8	7	7	6
Resistencia a tracción ⊥ a las caras	EN 319	N/mm ²	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Resistencia a Flexión	EN 310	N/mm ²	34	34	34	34	32	30	28	21	19
Módulo de elasticidad	EN 310	N/mm ²	3000	3000	3000	3000	2800	2700	2600	2400	2200

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004). Pág. 210.

⁶⁹ Ibíd. Pág. 211.

8. REGLAMENTO DEL SELLO DE CALIDAD DE LA ASOCIACION DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA (AITIM) Y DE LOS TABLEROS DE FIBRAS MDF PARA CARPINTERÍA Y MOBILIARIO-RSCA nº 9.

AITIM⁷⁰, acrónimo de la Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera, es una asociación privada sin ánimo de lucro, fundada el 6 de abril de 1962. Está formada por empresas que trabajan en el sector de la madera a los que une el deseo del desarrollo técnico de sus productos y el de acreditar su calidad. Actualmente pertenece a los siguientes organismos:

- Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología CICYT (por su carácter de Asociación de Investigación), desde el 15 de enero de 1963.
- Registro General de Asociaciones del Ministerio del Interior, desde el 14 de abril de 1988, (por su carácter de Asociación).

AITIM es miembro de AENOR y entidad colaboradora del Consejo Superior de Arquitectos, además de ser:

- CIT (Centro de Innovación y Tecnología), con el Nº de Registro 37 en el Libro-Registro del Centro de Innovación y Tecnología de la CICYT.
- OTRI (Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación), desde el 15 de febrero de 2000 con el Nº de registro 152 de la CICYT.

Sus fines son la investigación y desarrollo en los productos de la madera, normalización y certificación de productos (sellos de calidad), publicaciones (revista AITIM y libros monográficos) asistencia técnica (informes, ensayos, peritaciones) y formación.

⁷⁰ Presentación del Organismo independiente AITIM en su web oficial <http://www.infomadera.net/modulos/aitim.php> revisada el 15 de julio de 2011.

Así pues, y tras el acercamiento a este organismo investigador, pasamos a exponer el Reglamento del Sello de Calidad AITIM para tableros de fibras MDF generales, por ser éste el tipo de tablero que emplearemos en nuestra investigación:

Aprobado: Comité de Dirección del Sello de Calidad AITIM71.

Fecha: 23 de Julio de 2007.

8.1. OBJETIVO.

Este documento tiene por objeto definir los procedimientos para la solicitud, concesión, uso y control del derecho de uso del Sello de Calidad AITIM para los diferentes tipos de tableros de fibras fabricados por el proceso seco (MDF):

- Tableros para utilización general en ambiente seco (MDF).
- Tableros para utilización general en ambiente húmedo (MDF.H).
- Tableros con bajo contenido en formaldehído.

Se basa en el control de las características y de las propiedades requeridas para los diferentes tipos de tableros de fibras fabricados por el proceso seco (MDF) que se relacionan a continuación:

- densidad.
- contenido de humedad.
- resistencia a la flexión.
 - en la dirección de fabricación.
 - en la dirección perpendicular.
- módulo de elasticidad.
 - en la dirección de fabricación.
 - en la dirección perpendicular.

⁷¹ Publicado en la página web oficial de la Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera (AITIM) <http://www.infomadera.net/modulos/sellos.php?id=16>, revisada el 15 de julio de 2011

- resistencia a tracción perpendicular a las caras del tablero.
- hinchazón.
- resistencia a la tracción después del ensayo cíclico.
- hinchazón después del ensayo cíclico.
- contenido de formaldehído.
- resistencia al arranque de tornillos.
 - en cara.
 - en canto.

8.2. PROCEDIMIENTO DE CONCESIÓN.

8.2.1 Solicitud.

Las empresas que deseen ostentar el Sello cumplimentarán el impreso de solicitud (Anexo 1) establecido por AITIM y lo remitirán al domicilio del Comité de Dirección del Sello de Calidad.

Con el impreso cumplimentado deberán acompañar la siguiente información:

- Información general de la empresa (Anexo 2).
- Líneas de fabricación - tipos de productos fabricados - referencias comerciales.
- Catálogos, folletos, etc. del producto o productos para los que se hace la solicitud.

La solicitud no podrá tenerse en cuenta si el control interno de fabricación del fabricante no funciona con al menos tres meses de antelación a la fecha de solicitud.

8.2.2 Inspección inicial.

El servicio de inspección de ALTIM realizará una visita inicial a las instalaciones del fabricante para la comprobación del control de la producción en fábrica y , en su caso, la toma de muestras para el ensayo inicial.

8.2.2.1 Control de la producción en fábrica.

El fabricante deberá llevar un control estadístico de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros fabricados definidas en la norma de especificaciones. De tal forma que se registren los resultados de ensayo realizados en fábrica de un tablero de cada turno:

- orden de fabricación (orden de fabricación se entiende tableros con propiedades diferentes o de distintos espesores). Así mismo deberá tener un registro de las no conformidades que se produzcan durante la fabricación y de las correspondientes acciones correctoras.

8.2.2.2 Toma de muestras para el ensayo inicial.

Se tomarán muestras de cada tipo de producto y de cada línea de fabricación. Se entiende que las líneas de fabricación son distintas si:

- varían los equipos utilizados para la fabricación del tablero: formación de la manta, encolado y prensado.
- varían las materias primas utilizadas: especies de madera, tipo de adhesivos y aditivos.

A. Propiedades físicas y mecánicas.

Se marcarán y registrarán en la correspondiente acta las muestras un mínimo de 12 tableros, que abarquen todos los espesores que se fabrican de un

determinado tipo de tablero; teniendo en cuenta que como mínimo se han de incorporar 2 tableros por cada rango de espesor y que los tableros tienen que haberse fabricado, como mínimo, en 3 fechas de fabricación diferentes. Sobre los tableros escogidos se realizarán los ensayos correspondientes a las propiedades especificadas para cada tipo de tablero.

B.- Contenido de formaldehído.

Para la determinación del contenido de formaldehído se utilizarán las muestras marcadas y registradas definidas en el punto 9.2.2.2.A

El fabricante se responsabilizará del envío al laboratorio de las muestras seleccionadas y marcadas por el inspector.

8.2.2.3 Control del laboratorio del fabricante.

El solicitante enviará a la Secretaría los resultados de ensayo realizados en su laboratorio sobre muestras duplicadas a las marcadas y registradas en la visita de inspección inicial o de muestras de tableros fabricados en el mismo turno - orden de fabricación. Los resultados del fabricante se utilizarán para correlacionar sus resultados con los del laboratorio.

Los servicios de AITIM emitirán un informe sobre el resultado de la inspección del control en fábrica, de los ensayos realizados y del control del laboratorio del fabricante.

8.2.3 Ensayo inicial.

En el cuadro que aparece a continuación se definen las características y propiedades a ensayar junto con las normas de ensayo y de especificaciones correspondientes.

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO	ESPECIFICACIÓN (*)
Densidad	UNE EN 323	UNE EN 622-1
Contenido de humedad	UNE EN 322	UNE EN 622-1
Resistencia a flexión	UNE EN 310	UNE EN 622-5
Módulo de elasticidad	UNE EN 310	UNE EN 622-5
Resistencia a tracción perpendicular a las caras del tablero	UNE EN 319	UNE EN 622-5
Hinchazón	UNE EN 317	UNE EN 622-5
Resistencia a la humedad	UNE EN 321 UNE EN 1087-1	UNE EN 622-5
Arranque de tornillos	UNE EN 320	Serie histórica
Contenido de formaldehído	UNE EN 120	UNE EN 13.986

(*) Se escogerá la especificación correspondiente al tipo de tablero definido.

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos en la web oficial de AITIM.

8.2.4 Acuerdos.

El Comité de Dirección del Sello de Calidad en su primera reunión después de la recepción de los informes de inspección en fábrica y de los resultados de los ensayos en laboratorio, adoptará el acuerdo que corresponda sobre la solicitud. En caso de denegación se comunicarán al peticionario las razones de la misma y se le dará un plazo para una nueva solicitud.

Una vez concedido el Sello de Calidad, las empresas usuarias del mismo responderán civil y penalmente de las cuestiones que pudieran surgir a consecuencia de los proyectos, obras ejecutadas, tratamientos curativos o preventivos realizados y errores en los proyectos ejecutados por ellas, fallos en la ejecución o inadaptación a la normativa urbanística y/o administrativa que en cada caso sea aplicable, eximiendo de toda responsabilidad a AITIM y al Comité del Sello de Calidad AITIM.

8.3 SEGUIMIENTO DE LOS PRODUCTOS A LOS QUE SE HA CONCEDIDO EL SELLO DE CALIDAD.

8.3.1 Inspecciones de control.

El servicio de inspección de AITIM efectuará dos visitas al año en las que comprobará el correcto funcionamiento del control interno exigido al fabricante y efectuará la toma de muestras para su ensayo en laboratorio. El inspector cumplimentará en cada visita un parte de inspección.

8.3.2 Comprobación del control de la producción en fábrica.

Durante la visita se comprobará que el fabricante efectúa el control de la producción en fábrica de acuerdo con las especificaciones del apartado 2.2.1 de este documento y podrá exigir la realización de alguna de las comprobaciones.

8.3.3 Toma de muestras.

En cada visita se marcarán y registrarán las muestras que se especifican en la tabla.

TIPO DE TABLERO	Nº DE TABLEROS MUESTREADOS	PERIODICIDAD
MDF	3	2 veces al año
MDF-H	2	2 veces al año
Contenido de formaldehído	1(*)	2 veces al año

(*) Se utilizará un tablero de los muestreados para los MDF / MDF-H.

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos en la web oficial de AITIM.

Si la empresa se encuentra en muestreo intensivo se tomarán las muestras extras que se especifiquen en el acuerdo correspondiente adoptado por el Comité.

8.3.4 Ensayos de control.

Los ensayos de control se realizarán con el mismo criterio que el indicado en el apartado 9.2.3, para la inspección inicial.

Si la empresa está en muestreo intensivo se realizarán la totalidad de los ensayos definidos en el apartado 11.2.3 sobre las muestras marcadas, y en las muestras extras sólo se realizarán los ensayos especificados en el acuerdo del Comité, que motivaron la sanción.

8.3.5 Acuerdos de seguimiento.

El Comité de Dirección del Sello de Calidad en las reuniones de seguimiento, y tras el análisis de los respectivos partes de inspección en fábrica y de los resultados de los ensayos de laboratorio, adoptará el acuerdo que corresponda. Si se toma el acuerdo de someter a la empresa a muestreo intensivo por fallos en los resultados de ensayo, la empresa deberá pagar aparte el coste de los ensayos extra que hayan de realizarse.

8.4. MARCADO.

El marcado de los tableros de fibras de densidad media es optativo, en el caso que se opte por marcarlos, deberá contener la siguiente información:

a) Logotipo del Sello de Calidad AITIM, donde figura la siguiente información en función del tipo de tablero:

Número Y.y - xx, la "Y.y" se corresponde con el número asignado a cada Sello de Calidad y las "xx" al número de orden asignado al fabricante.

Códigos de los números de los Sellos de Calidad (“Y.y”):

- Nº 9.1: Tableros de fibras de densidad media para utilización general en ambiente seco (MDF).
- Nº 9.2: Tableros de fibras de densidad media para utilización general en ambiente húmedo (MDF.H).
- Nº 9.3: Tableros de fibras de densidad media con bajo contenido en formaldehído (MDF - E1).
- Nº 9.4: Tableros de fibras de densidad media resistentes a la humedad con bajo contenido en formaldehído (MDF.H - E1).
- Nº 9.5: Control del contenido en formaldehído de tableros MDF (E1).

9. TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA DE FIBRA DE DENSIDAD MEDIA MDF.

Al ser éste un producto industrializado derivado de la madera natural, su composición básica es por fibras lignocelulósicas (lignina y celulosa) aglomeradas con un adhesivo sintético de base Urea formaldehído⁷² prensado en caliente. En puntos anteriores vimos que existen diferentes tipos de tableros de fibras; en este caso, el MDF tiene una densidad ligeramente menor que aquellos tableros de densidad alta, entre 0,6 y 0,8 g/cm³,⁷³ que junto a la disposición homogénea de sus fibras y su origen lignocelulósico en todo el espesor del tablero, brinda unas características similares a la madera natural y en comparación con otros de los tableros conglomerados.

⁷² Veremos más adelante qué tipos de adhesivo se emplean en la fabricación de tableros de fibras MDF como alternativa a los de urea formaldehído y para mejorar sus prestaciones.

⁷³ Datos extraídos de CAPUZ LLADRÓ, R. *Materiales orgánicos. Maderas*. 2005. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Esas cifras difieren de las que habíamos expuesto anteriormente por los datos obtenidos de otros autores que aseguran que la densidad de los tableros de fibras MDF oscila entre 0,7 y 0,9 g/cm³

9.1. FABRICACIÓN DEL TABLERO DE FIBRAS MDF: MATERIA PRIMA Y SU PROCESADO

En la actualidad, los tableros con más líneas de fabricación dentro de la familia de los tableros de fibras, son los de densidad media, llegándose a encontrar fábricas especializadas en la producción de grosores determinados. Las investigaciones actuales tratan de conseguir tableros de fibras con características de resistencia mecánica y a las condiciones ambientales mayores que las de los tableros contrachapados de madera natural. A pesar de ello, la gran superficie interna de los MDF y el déficit de adhesivo utilizado en la superficie de las fibras, hacen que resulte difícil alcanzarlo. Como norma general, el porcentaje de elementos que sirven de materia prima para la fabricación de estos tableros es de un 80% de fibras de madera (en España normalmente son de pino, chopo y eucalipto), 10% de resinas sintéticas, 7% de agua y puede que hasta un 1% de parafinas y ceras, con el fin de mejorar las cualidades de repelencia al agua. Véase el esquema del proceso de fabricación en la Figura 10 de la página 141.

Metso Panelboard, en Sundsvall (Suecia) y su Centro Tecnológico para la Fibra, es un centro de investigación en líneas de trabajo actuales para el desarrollo del MDF. En el artículo *Centro tecnológico para la fibra de Metso en Sundsvall*⁷⁴, de Carlos Basó (profesor de Ingeniería Forestal de la Escola Universitaria de Exenería Técnica Forestal de Pontevedra), publicado en la revista de la AITIM en 2001, nos habla de esta planta donde trabajan 250 personas en la fabricación de equipos para la preparación de la fibra: El DefibratorTM, complementada con otras 3 en Suecia, Finlandia y Japón. Metso dedica una fuerte inversión en proyectos I+D en estos últimos años que están influyendo en el mercado de fabricación del MDF, con el objetivo de satisfacer la necesidad de desarrollo de la propia tecnología y de la materia prima con que se fabriquen los tableros, disponiendo de una base de datos obtenida tras la experiencia e información acumulada en los últimos 70-80 años. Los tecnólogos del Centro Tecnológico para la Fibra de Sundsvall, realizan

⁷⁴ BASÓ, C. (2001) *Centro tecnológico para la fibra de Metso en Sundsvall*. Boletín de Información Técnica de AITIM, nº 212. Pág. 80-84.

producciones piloto y ensayos para la obtención de tableros a partir de materiales alternativos propuestos por ellos o por clientes. En este caso y cercanos a la fecha de publicación del artículo (julio de 2001), se realizaron estudios para el mercado español en relación a la fabricación de tableros MDF a partir de eucalipto, olivo y chopo.

En las siguientes tablas observamos los elementos obtenidos de la madera que sirven de materia prima para la fabricación de tableros de fibras MDF. El símbolo X se entiende como afirmación del empleo en el proceso:⁷⁵

MADERA EN BRUTO DE CONÍFERAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Trozas del fuste y ramas principales	
Madera en bruto del fuste y las ramas principales excepto trozas	X
Madera y biomasa arbórea excepto la del fuste y ramas principales	X

MADERA EN BRUTO DE FRONDOSAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Trozas del fuste y ramas principales	
Madera en bruto del fuste y las ramas principales excepto trozas	X
Madera y biomasa arbórea excepto la del fuste y ramas principales	X

Tablas elaboradas a partir de los datos obtenidos de J.J. García Garrido (2003) Págs. 93-155.

⁷⁵ Codificación de productos madereros por la FAO. Extraído de GARCÍA, J. J. (2003) *La madera y materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 192-194. A su vez extraído de *Clasificación y definiciones de los productos forestales. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Roma. 1982. Pág. 93-155.

RESIDUOS DE LA ELABORACIÓN DE LA MADERA: PRODUCTOS MADEREROS RECUPERABLES DE CONÍFERAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Residuos de la elaboración de la madera maciza	X
Residuos de la elaboración de la madera, excepto los de la madera maciza	X
Serrín ⁷⁶	
Virutas	
Productos madereros recuperables no contaminantes	X

RESIDUOS DE LA ELABORACIÓN DE LA MADERA: PRODUCTOS MADEREROS RECUPERABLES DE FRONDOSAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Residuos de la elaboración de la madera maciza	X
Residuos de la elaboración de la madera, excepto los de la madera maciza	X
Serrín	
Virutas	
Productos madereros recuperables no contaminantes	X

Tablas elaboradas a partir de los datos obtenidos de J.J. García Garrido (2003) Págs. 93-155.

⁷⁶ Aunque autores como J. J. García Garrido afirman que tras la prueba de empleo de serrín en la fabricación de tableros de fibras, esta práctica se suprimió porque las fibras de este material son muy cortas y están en gran medida desintegradas. No obstante, el empleo del serrín para la elaboración de pastas y masillas en restauración de escultura en madera o en ebanistería es muy frecuente, mezcladas con colas de acetato de polivinilo mayoritariamente.

ASTILLAS Y PARTÍCULAS DE MADERA DE CONÍFERAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
De madera en bruto	X
De residuos de la elaboración de la madera	X
De productos madereros recuperados	X

ASTILLAS Y PARTÍCULAS DE MADERA DE FRONDOSAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
De madera en bruto	X
De residuos de la elaboración de la madera	X
De productos madereros recuperados	X

MADERA LABRADA O ELABORADA SIMPLEMENTE DE CONÍFERAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Madera en rollo impregnada a presión	
Otra madera elaborada simplemente	

MADERA LABRADA O ELABORADA SIMPLEMENTE DE FRONDOSAS	
Productos madereros	Empleo en la fabricación del T. MDF
Madera en rollo impregnada a presión	
Otra madera elaborada simplemente	

Tablas elaboradas a partir de los datos obtenidos de J.J. García (2003) Págs. 93-155.

Si observamos los datos, podemos concluir que la materia prima para la fabricación del tablero de fibras MDF principalmente se obtiene de la reutilización de los productos de madera inservibles para otro fin; en segundo lugar, se obtienen del aprovechamiento maderero forestal. Esta manera de reciclado evita que se destinen parte de los árboles directamente a la

fabricación exclusiva de este subproducto, siendo aquellos restos que quedan de la industria de 1ª transformación los que se destinen a la fabricación de tableros derivados de madera. Esto supone una aportación al desarrollo sostenible, aprovechamiento de los recursos naturales e incremento del equilibrio natural del Medio Ambiente.

9.1.1 El desfibrado.

La producción de fibras parte de astillas obtenidas a partir de trozas (piezas de corte transversal con o sin corteza) puntas delgadas o ramas gruesas, además de madera residual procedente de serrerías, carpinterías, etc. precedido por un proceso de descortezado mediante tambores de grandes dimensiones que actúan normalmente por fricción entre las trozas⁷⁷ y las muelas. Ha de haber una cuidadosa selección ya que el material tiene que ser de mejor calidad que el empleado en la fabricación de tableros de partículas. Más tarde la madera sufrirá el proceso de desfibrado por el método termomecánico (que es el más común puesto que es el que mejores resultados ofrece) por fricción mediante rodillos abrasivos. Para la obtención de las fibras, puede servir cualquier tipo de madera, pero normalmente y por la obtención de mejores resultados durante y al final del proceso, suele emplearse madera de coníferas al tener mejor calidad y más homogeneidad de fibra. La madera de frondosas tiene una estructura fibrosa más heterogénea.

Las astillas se someten a un tratamiento que reblandece y plastifica la madera mediante vapor de agua a una temperatura de unos 180 ó 190º C, lo que hace que en apenas un minuto se eleve la temperatura de la madera causando un reblandecimiento de las hemicelulosa que cemente las fibras entre sí. Las emulsiones de ceras y parafinas se añaden justo antes de este proceso de desfibrado en un 2% para mejorar el comportamiento de las fibras frente a la humedad y la temperatura, aislándolas para que así disminuya la hinchazón.

⁷⁷ ESTEBAN GARCÍA, L y otros. (2002) *La madera y su tecnología. Aserrado, chapa y tableros contrachapados...* Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 145.

9.1.2. Sistemas de afieltrado y prensado.

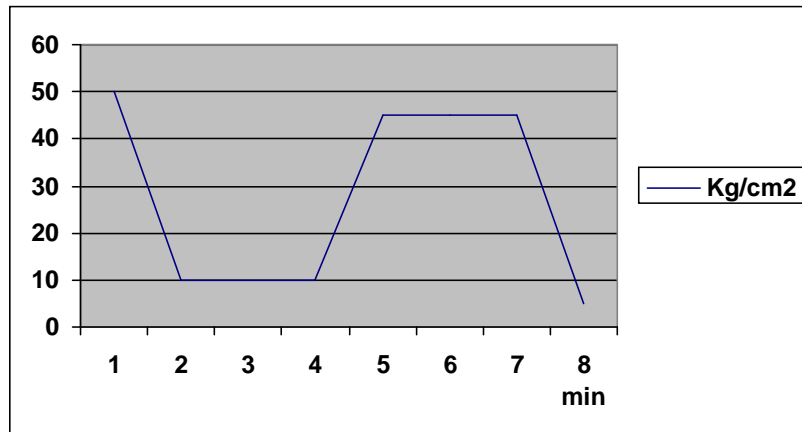
El elemento fundamental que otorga la resistencia a los tableros de fibras de densidad media es precisamente el entrelazado o interconexión de las fibras, transmitiendo solicitaciones mecánicas.⁷⁸ A esta operación se la denomina afieltrado, similar en la producción de tejidos de fieltro y papel, pero a diferencia de éstos, se procede a un fieltro en seco, en el cual los adhesivos se inyectan en el conducto de salida de la desfibradora. La composición de dichos adhesivos está generalmente constituida por urea-formaldehído o mezclas de éste con melanina-formaldehído mas una proporción de resina entre el 8% y el 10%. Tras esto, las fibras húmedas por el vapor de agua empleado en el desfibrado pasan al proceso de secado a través de aire caliente en torno a 180° C que reduce de un 80 a un 8% la humedad de las fibras.

Antes de someter las fibras al prensado final, se establece un pre-prensado sin calor, aunque para acelerar el fraguado de los adhesivos se precaliente con un generador de radiofrecuencia. Es un paso eficaz para salvar grandes contrastes de temperatura con la prensa final y el tiempo que tarde en alcanzar la temperatura adecuada en el centro del tablero para, después, repartirla uniformemente. La prensa se compone de dos bandas de acero, superior e inferior, que alcanzan temperaturas de entre 200 y 230° C.

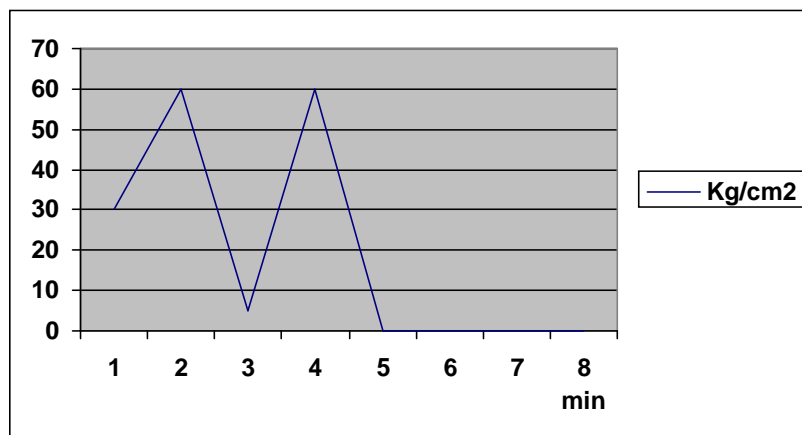
Como hemos señalado, en los procesos de fabricación de tableros de fibra de densidad media la temperatura y el tiempo de exposición son relevantes en cuanto al correcto fraguado de las colas y resinas y por tanto, fundamental para un correcto desarrollo de resistencia mecánica. La secuencia de valores de temperatura y presión dependen del tipo de tablero y del sistema de afieltrado (húmedo-seco) previo. En los siguientes gráficos de prensado se representan ambos procesos.⁷⁹

⁷⁸ *Ibíd.* Pág. 150.

⁷⁹ Datos mostrados en los gráficos obtenidos de ESTEBAN GARCÍA, L y otros. (2002) *La madera y su tecnología. Aserrado, chapa y tableros contrachapados...* Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 157.



Procedimiento húmedo. Gráfica elaborada a partir de los datos obtenidos de L. García Esteban et al. (2002) Pág. 157.



Procedimiento en seco. Gráfica elaborada a partir de los datos obtenidos de L. García Esteban et al. (2002) Pág. 157.

La tecnología actual sigue el siguiente proceso de fabricación mediante maquinaria específica.⁸⁰

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TABLERO MDF	
FASE DE FABRICACIÓN	MAQUINARIA EMPLEADA
Descortezado	Descortezadora
Astillado	Astilladora
Lavado y preparación	Torre de lavado y preparación
Desfibrado	Desfibradoras

⁸⁰ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 495.

Secado	Secadero de fibras
Clasificado	Cribadora
Encolado	Encoladora
Formado	Formadora
Preprensado	Preprensa
Prensado	Prensa de platos calientes
Curado	Almacenes
Lijado	Lijadora-calibradora

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 495.

9.1. 3. Adhesivos.

Uno de los dos componentes primarios en la fabricación de tableros de madera de densidad media MDF es el adhesivo. Los adhesivos que deben utilizarse en la fabricación de los tableros derivados de la madera, dependen del tipo del tablero y del uso que a éste se le vaya a dar. Con mayor frecuencia, los adhesivos de Urea formol se utilizan para fabricar tableros destinados a interiores, los de Urea-melamina formol o Fenol formaldehído son los empleados en la fabricación de tableros que finalmente irán destinados a emplazamientos exteriores y son además, los que desprenden mayor cantidad de formaldehído. En los últimos años, las investigaciones conducen al empleo alternativo de adhesivos de isocianato.

A continuación mostraremos una clasificación de las colas que existen y su procedencia y las empleadas para la fabricación del MDF.

Colas de resinas sintéticas termoestables.⁸¹

- Fenol formaldehído.
- Resorcina-formol.
- Urea formol.
- Urea formaldehído.
- Urea-melamina formol.
- Adhesivos de poliisocianato: Poliuretanos.
- Resinas epoxi.

Las colas de resinas sintéticas termoestables como la Urea formaldehído se presentan en varias formas, si bien para la fabricación de conglomerados suelen aplicarse en película o pulverizadas, siendo necesario su precalentamiento a unos 100° C. Son adhesivos muy resistentes y no manchan las fibras de madera, creando una capa impermeable sin perder cualidades adhesivas y resistentes al ataque de los microorganismos, lo que le da una protección añadida al tablero.⁸²

Los adhesivos o resinas Urea formol (UF), se emplean en tableros de interior. Es necesario que los tableros tengan uniformidad dimensional y que las superficies sean lisas. Su fraguado puede realizarse desde temperatura ambiente hasta los 150 °C. Otro aspecto destacable es su tonalidad clara.

Los adhesivos de Urea-melamina formol (MF), son utilizados en la fabricación de recubrimientos de tableros y laminados decorativos. En ocasiones en las que se pretenda mejorar las propiedades de resistencia a la humedad de los tableros, los adhesivos de melamina formol pueden mezclarse con las resinas Urea formol.

Los adhesivos de Fenol formaldehído se emplean en la fabricación de tableros que se destinarán a un ambiente húmedo o de exterior, lo que reclama unas

⁸¹ Los polímeros termoestables, a diferencia de los termoplásticos, una vez que enfrían no pueden volver a moldearse o ablandarse, además de ser termofragantes. Sin embargo, los termoplásticos, pueden fundirse y moldearse varias veces.

⁸² VV. AA. (1997) *Tecnología de la madera*. Barcelona. Editorial Edebé. Págs. 110-111.

mejores condiciones de durabilidad, tanto del tablero, como del adhesivo. En el fraguado, los tiempos de prensado son más largos junto a una elevación de la temperatura con respecto al proceso de resina Urea formol, lo que encarece el coste de producción. La coloración de este adhesivo es más oscura que la de la resina Urea formol, dato a tener en cuenta a la hora de pensar en el acabado final de los trabajos.

Los adhesivos de isocianato y sus polímeros metileno difenil (MDI, PMDI)⁸³, proporcionan uniones fuertes y resistentes por un coste mayor que los anteriores medios. Estos adhesivos consiguen uniones igual de resistentes con dosificaciones más bajas, obteniéndose así las mismas prestaciones que con el empleo de formaldehído evitando la emisión al aire de esta sustancia. Además, los tableros presentan menor hinchazón y resistencia a la humedad más alta en tableros estándar.

Colas de resinas sintéticas termoplásticas.

- Acetato de polivinilo.
- Poliamidas.
- Cloroacetato de vinilo.
- Acetato de vinilo (termofusibles “hot-melt”)

Las colas de resinas sintéticas termoplásticas como el acetato de polivinilo tan común para la unión de maderas y materiales celulósicos, son colas de dispersión llamadas también colas frías, las cuales están constituidas esencialmente por la dilución de una resina de acetato de polivinilo en agua. Al evaporarse el agua, las mezclas de la dilución se sueldan unas con otras y dan lugar a un film duro y tenaz que permite la unión entre los materiales. La tenacidad se corresponde con aquella propiedad de los materiales para absorber energía antes de su fractura y caracteriza aquellos materiales que la tienen, de alta ductilidad y resistencia. Por ello, en las uniones de los adhesivos, es muy importante que se desarrolle esta propiedad.

⁸³ PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 17.

Una cola de dispersión consta de los siguientes componentes:⁸⁴

- Dispersión. Normalmente un homopolímero de acetato de polivinilo.
- Alcohol polivinílico.
- Espesante.
- Plastificante.
- Materiales de relleno.

Las colas de dispersión tienen las siguientes ventajas con respecto a otros adhesivos:⁸⁵

- Cola con un sólo componente que permite su inmediata aplicación en frío sin necesidad de calor para su fraguado, aunque lo admitan (termoplasticidad y alta frecuencia)
- Posibilidad de manipulación, aplicación y secado por medios convencionales y mecánicos.
- Uniones resultantes fuertes y tenaces.
- No manchan la madera ni se embota la herramienta, lo cual es excelente para el trabajo de talla de la madera y el resultado visible de las diferentes partes que conforman el embón.
- Dilución y limpieza del equipo y la cola en agua.

Para mejorar las prestaciones de los adhesivos y la calidad del tablero, estos productos pueden mezclarse con otros como:

- Ceras: para aumentar la repelencia de la humedad.
- Productos ignífugos: para mejorar el comportamiento frente al fuego.

⁸⁴ VV. AA. (1997) *Tecnología de la madera*. Editorial Edebé. Barcelona. Pág. 109.

⁸⁵ *Ibíd.*

- Productos insecticidas: para proteger al tablero de los ataques de xilófagos.
- Productos fungicidas: con el objetivo de mejorar el comportamiento frente a los hongos xilófagos.
- Endurecedores: para mejorar las prestaciones del adhesivo.

9.1.4. Recubrimientos del tablero de fibras MDF.

Los recubrimientos se emplean normalmente para dotar al tablero de un aspecto diferente en su acabado superficial final antes de su comercialización. Se recubren para ello las dos caras del tablero con el mismo recubrimiento a fin de evitar que se produzcan descompensaciones que puedan provocar su alabeo. Estos recubrimientos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Chapas de madera: denominándose entonces tableros rechapados.
- Recubrimientos plásticos: denominándose tableros recubiertos.

A continuación haremos un desglose de los tipos de recubrimientos destinados al tablero MDF:

1. Chapa de madera natural: De cualquier especie de madera.
2. Recubrimientos plásticos.
 - Papeles decorativos impregnados con resinas.
 - Laminados de baja presión (Low pressure Laminates o Continuous pressure Laminates).
 - Melamina.
 - Poliéster.
 - Acrílicas-melamina.

3. Laminados de alta presión (High Pressure Laminates)

4. Laminados de PVC.

9.1.5. Aditivos.

Son productos naturales y químicos que al incorporarse durante los procesos de fabricación mejoran las propiedades finales de los tableros MDF. Como hemos mencionado anteriormente, los más usuales serían aquellos que mejoren las cualidades de resistencia a la humedad y cómo no, se desarrollan otros que ofrecen buena resistencia a los agentes de deterioro bióticos y abióticos. Estos son:

- Ceras y parafinas: para aumentar su repelencia a la humedad.
- Productos ignífugos: para mejorar su comportamiento frente al fuego.
- Productos insecticidas: para mejorar su comportamiento frente a los insectos xilófagos.
- Productos fungicidas: para mejorar su comportamiento frente a los hongos xilófagos.
- Endurecedores: para mejorar las prestaciones del adhesivo.

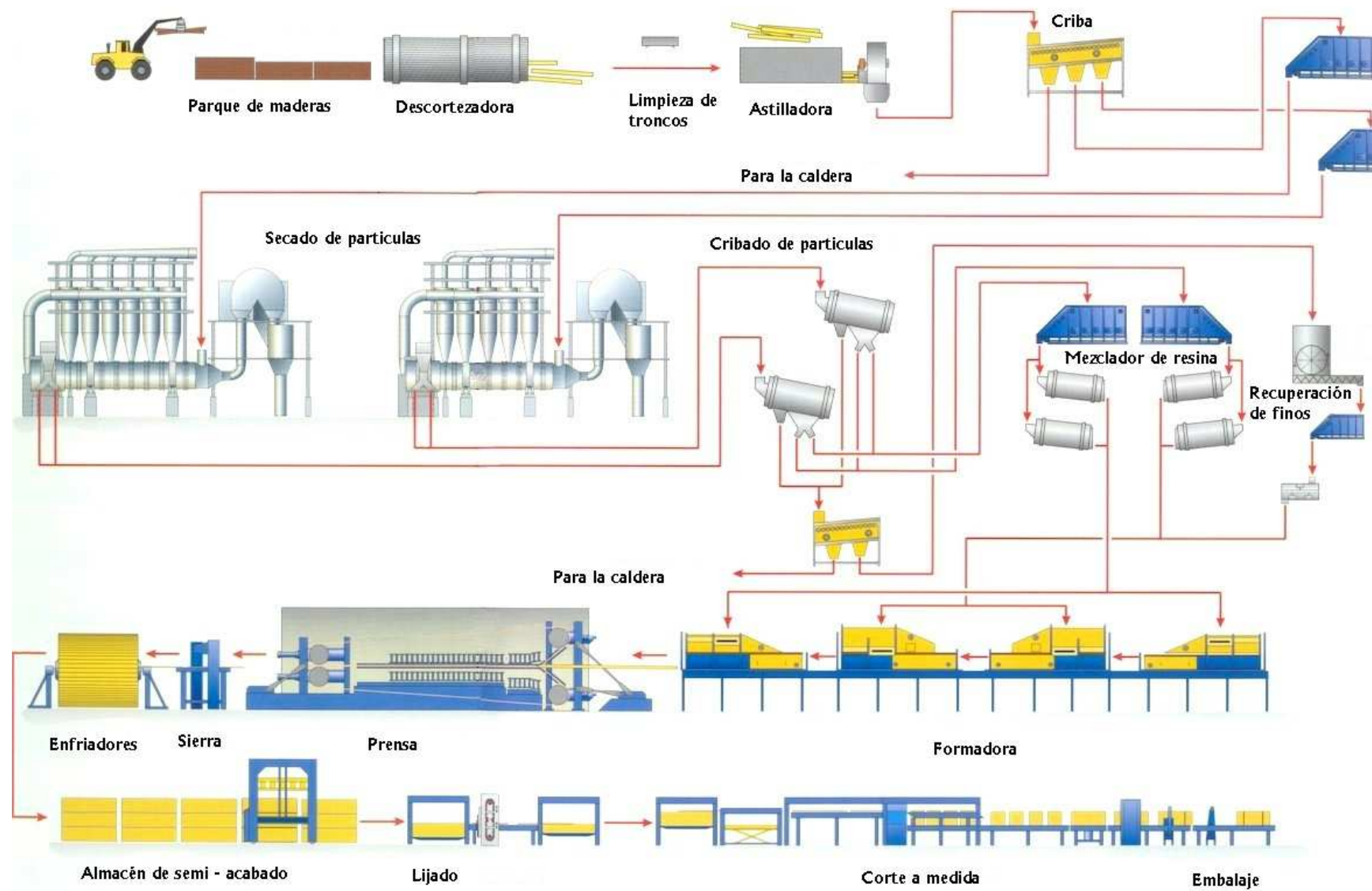


Figura 10. Esquema de producción del tablero MDF. Fuente: ANFTA (Asociación Nacional Fabricantes de Tableros) http://www.anfta.es/files/procesos2_g.jpg, el 19 de julio de 2011.

9.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TABLEROS DE FIBRAS MDF.

9.2.1. Densidad y dureza de tableros derivados de madera.

Según la norma UNE EN 316, la densidad del tablero MDF debe ser igual o superior a 450 kg/cm³. Además, la norma UNE EN 622-1, especifica que la tolerancia sobre la densidad media en el interior del tablero será de $\pm 7\%$.

Atendiendo a la densidad y dureza Monnin, la siguiente tabla nos refleja los valores en diferentes tableros derivados de madera comparados con la madera maciza:⁸⁶

DENSIDAD Y DUREZA DE LOS TABLEROS		
TIPO DE TABLERO	DENSIDAD (g/cm ³)	DUREZA (Kp/mm ²)
Madera maciza de pino	0,5	2
T. contrachapado y alistonado	0,55	2
T. partículas	0,65	3 a 4
T. fibras MDF	0,70	4 a 5
T. fibras duro	0,90	5 a 6

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 278.

Podemos observar que en cuanto a densidad y dureza, el tablero de fibras MDF supera al de madera maciza en el doble. Esto supondría unas condiciones de trabajabilidad para escultura algo más dificultosas por ofrecer mayor resistencia, lo que conduciría a una resistencia mayor a rotura o daños por accidentes.

⁸⁶ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 278.

9.2.2. Contenido en humedad.

“El contenido de humedad expresa la masa de agua que contiene el tablero y se expresa en tanto por ciento (%)”.⁸⁷

La norma UNE EN 322 describe el procedimiento a seguir para el ensayo y el equipo necesario para hacerlo. En la siguiente tabla se muestra la comparación del contenido de humedad de los tableros MDF con el resto de tableros derivados de madera:⁸⁸

COMPARACIÓN DE HUMEDAD DEL MDF CON OTROS TABLEROS		
TIPO DE TABLERO	NORMA DE ESPECIFICACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Madera maciza:	prEN 13.353	
-Ambiente seco		8 ± 2%
-Ambiente húmedo		10 ± 3%
-exterior		12 ± 3%
T. Contrachapado	UNE EN 315	10 ± 2%
T. Laminado	prEN 14.279	6 al 12%
T. Partículas	UNE EN 312	5 al 13%
T. Virutas orientadas OSB		
-OSB 1 / OSB 2	UNE EN 300	2 al 12%
-OSB 3 / OSB 4		5 al 12%
T. Fibras MDF	UNE EN 622-1	4 al 10%
T. Fibras duros	UNE EN 622-1	4 al 9%

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) Pág. 68.

⁸⁷ PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 68.

⁸⁸ *Ibíd.* Pág. 68.

9.2.3. Estabilidad dimensional.

Cuando varían las condiciones ambientales en las que se encuentran los tableros (humedad relativa HR y temperatura °C) los datos de estabilidad dimensional indican las variaciones que puede sufrir la madera.

La norma UNE EN 318 es la utilizada para comprobar y calcular la estabilidad dimensional en los tableros, sometiendo a las probetas a condiciones ambientales de entre.

- 20°C y 30% HR.
- 20°C y 65% HR.
- 20°C y 85% HR.

Podemos anticipar, viendo la variable en las pruebas, que la HR es el agente que de forma más acentuada puede alterar la estabilidad dimensional de la madera. En la siguiente tabla se muestra datos a tener en cuenta para cada tipo de tablero:⁸⁹

VARIACIÓN DE LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LOS TABLEROS			
TIPO DE TABLERO	Variación dimensional (aumentos / disminuciones de un 1% del contenido de humedad del tablero)		
	Longitud %	Anchura %	Espesor %
T. Madera maciza	(*)	(*)	(*)
T. Contrachapado de pino	0,015	0,015	0,2
T. Contrachapado de haya	0,025	0,025	0,3
T. Laminado	0,01	0,32	0,24
T. Partículas seco	0,05	0,05	0,7
T. Partículas	0,03	0,04	0,5

⁸⁹ Datos obtenidos de PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 69.

húmedo			
T. OSB 2	0,03	0,04	0,7
T. OSB 3	0,02	0,03	0,5
T. OSB 4	0,02	0,03	0,5
T. Fibras MDF	0,15	0,05	0,7

(*) Según especie de madera y coeficiente de contracción volumétrica en sus direcciones radial y tangencial.

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) Pág. 69.

Podemos observar, que el tablero MDF sufre una baja variación de su estabilidad dimensional por la acción de la humedad en su longitud y anchura, sin embargo y en comparación con el resto de tableros, sufre una variación algo mayor en su espesor. En total un 0,90%, teniendo en cuenta la suma de las cifras de variación dimensional de longitud, anchura y espesor.

9.2.4. Resistencia a la humedad.

Como dijimos, la humedad es el principal agente que afecta a las condiciones de la madera: su conservación, deterioro y estabilidad dimensional. En los tableros de fibras MDF, la resistencia a la humedad evalúa la calidad del adhesivo utilizado en su fabricación y las condiciones del tablero cuando se destina a ambientes húmedos o de exterior. En tableros MDF estándar, la resistencia a la humedad es relativamente baja, aunque actualmente se intenta mejorar este comportamiento mediante la incorporación de adhesivos específicos y otros aditivos.

Al estudiar los tableros derivados de la madera, podemos encontrar características físicas parecidas a las de la madera natural, aunque sus valores no sean exactamente iguales. En relación a la humedad de la madera (atmosférica y de saturación) los tableros tienen propiedades higroscópicas. A continuación mostramos una tabla en la que se puede apreciar la variación

dimensional de los tableros de fibras tras afectarle la humedad en comparación con la madera natural:⁹⁰

VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LOS TABLEROS POR LA HUMEDAD					
	Hinchazón o merma	Condición inicial de 25°C y 65%HR	Condición de 25°C y 30%HR	Condición de 25°C y 85%HR	Inmersión en agua
Madera natural	Madera de abeto	12%	6%	19%	
	Axial		0,06%	0,07%	
	Radial y tangencial		0,8 al 1,5%	1 al 1,7%	
	Volumétrica		1,2 al 1,7%	2,8%	
Tablero de fibras	T. de fibras	9 al 12%	7 al 9%	12 al 18%	12 al 15%
	Longitud y ancho		0,15 al 0,2%	0,15 al 0,2%	
	Espesor		2 al 2,5%	3 al 3,5%	
	Volumétrica		2,3 al 2,8%	3,3 al 3,8%	

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 278.

Al comparar los datos de variaciones del tablero de fibras con los de la propia madera natural, se observa que los movimientos de los tableros por la acción de la humedad son muy parecidos a los de la madera e incluso superiores, con la diferencia de que en el caso de los tableros de fibras, el movimiento o hinchazón se aprecia sobre todo en los cantos, o sea, en el grosor, mientras que en la madera natural el movimiento e hinchazón se percibe en las dos direcciones transversales de la pieza.

⁹⁰ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 278.

En los tableros MDF se realizan una serie de pruebas, que en puntos posteriores detallaremos y llevaremos a cabo, por medio de probetas sometidas a ensayo, consistentes en:

- Inmersión en agua.
- Traslación a estado de congelación una vez saturada a -18°C .
- Secado en horno a temperatura entre 70 y 100°C .

Cuando existe posibilidad de alteración o deterioro de la madera por la acción de la humedad y el agua, como en el caso del MDF, es recomendable para su preservación la aplicación de productos de protección para la madera.

9.2.5. Conductividad térmica.

Los tableros MDF, al igual que el resto de maderas, son materiales con un grado de conductividad térmica muy bajo, debido a la escasez de electrones libres y a su gran porosidad en comparación con otros materiales como los metales.

En la siguiente tabla, se puede apreciar los valores de coeficiente de conductividad térmica de los tableros MDF, comparados con el resto derivados de madera, expresados en kilocalorías por metro de espesor (Kcal/mh):⁹¹

⁹¹ Datos obtenidos de PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes gráficas Palermo, S.L. Madrid. Pág. 71, a su vez de la fuente EN 13.986.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		
TIPO DE TABLERO	Densidad kg/m³	Coefficiente de conductividad térmica kcal/mh °C=W (m.k)
Madera maciza y t. contrachapado	1.000	0,24
	700	0,17
	500	0,13
	300	0,09
T. Partículas	900	0,18
	600	0,12
	300	0,07
T. Virutas orientadas OSB	650	0,13
T. Fibras MDF	250	0,05
	400	0,07
	600	0,10
	800	0,14

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) Pág. 71.

En comparación con el resto de tableros, el MDF es el que menor índice de conductividad térmica tiene de acuerdo a las densidades reflejadas en la tabla.

9.2.6. Resistencia al vapor de agua.

En el interior de casi todos los materiales puede producirse condensación de vapor de agua, la resistencia a este fenómeno es necesario conocerla para preservar la integridad de la madera MDF. La resistencia al vapor de agua se expresa mediante la fórmula $R_v = e \cdot r_v$, siendo R la resistencia a la difusión del vapor, e el espesor del tablero y r la resistencia al vapor de agua en función de la densidad del tablero.⁹² Así podemos observar la siguiente tabla donde se

⁹² Ibíd. Pág. 72.

compara las resistencias al vapor de agua del tablero MDF en comparación con el resto de tableros derivados de madera:⁹³

RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA			
TIPO DE TABLERO	Densidad kg/m³	Coefficiente de resistencia al vapor de agua $\mu = \text{Hg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día/g}$	
		Seco	Húmedo
Madera maciza T. Contrachapados T. Laminado	300	150	50
	500	200	70
	700	220	90
	1000	250	110
T. Partículas	300	50	10
	600	50	15
	900	50	20
T. Virutas orientadas OSB	650	50	30
T. fibras MDF	250	5	2
	400	10	5
	600	20	12
	800	30	20

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de de F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) Pág. 73.

9.2.7. Patología de los tableros: La humedad como causa mayor.

Como ocurre en la madera natural, los tableros conglomerados de madera son susceptibles de ser atacados por insectos y hongos xilófagos. Pero este no es el factor de acción más directa al tablero, es la humedad la que presenta un efecto inmediato y degenerativo para el tablero, ya que el agua ejerce una acción de hidrólisis (una reacción ácido-base en la que el agua actúa como disolvente) sobre los adhesivos empleados en la fabricación del tablero. Los

⁹³ Ibíd. Pág. 73, a su vez de la norma UNE EN 13.986.

ambientes húmedos o la acción directa del agua provocan el deterioro del tablero, hasta el punto de ocasionar su inutilidad.

Encontramos así, que la norma EN 339-3 establece una relación de tipos de riesgo y las recomendaciones para el uso de los tableros. En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de modificación de la carga por causa de la humedad y el tiempo de de exposición:⁹⁴

COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE LA CARGA POR HUMEDAD Y TIEMPO						
TIPO DE TABLERO	HUMEDAD	TIEMPO DE DURACIÓN DE LA CARGA				
		Permanente >10 años	Larga de 10 a ½ año	Media ½ año a 1 semana	Corta < 1 semana	Instantánea segundos
T. contrachapado	<12%	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	12 al 20%	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	>20%	0,5	0,55	0,65	0,9	0,9
T. de partículas	<12%	0,25	0,3	0,4	0,65	1,1
	12 al 20%	0,2	0,2	0,25	0,45	0,8
T. fibras MDF	<12%	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1
	12 al 20%	-	-	-	0,45	0,8
T. fibras duro	<12%	0,25	0,3	0,4	0,65	1,1
	12 al 20%	0,2	0,2	0,25	0,45	0,8

- : sin riesgos

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 280.

Según autores como S. Vignote y I. Martínez, únicamente los tableros contrachapados del tipo WBP encolados por medio de colas fenólicas son resistentes a la humedad.

⁹⁴ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 280.

9.2.8. Comportamiento frente a los agentes biológicos.

En función de las condiciones ambientales en las que se encuentre el tablero MDF y de las clases de riesgo a que esté sometido, puede ser atacado por hongos e insectos xilófagos (termitas) A causa de sus componentes constitutivos, los tableros MDF no están expuestos a ataques de de larvas de insectos xilófagos (carcomas, polillas, etc.) Como es lógico y como resaltamos en anteriores puntos, el comportamiento frente a estos agentes de riesgo puede mejorarse mediante la protección superficial con productos específicos o por medio de la incorporación de productos aditivos en su fabricación.

9.3. CONTENIDO EN FORMALDEHÍDO.

En puntos anteriores de nuestra investigación, citamos que para la fabricación de los tableros derivados de madera y en concreto el de fibras MDF, la base catalizadora del adhesivo es el formaldehído. Así pues, dependiendo de la cantidad de formaldehído que se emplee en la fabricación del MDF habrá otra cantidad de este producto que se desprenderá de la madera hacia el exterior.

El contenido en formaldehído de los tableros puede calcularse por el método perforador que registra la norma UNE EN 120, por el método de la cámara reflejado en la norma UNE ENV 717-1 o por el método de análisis de gas que expone la norma UNE EN 717-2. En el caso del tablero MDF, en la norma UNE 622-1 que habla de las especificaciones generales del tablero MDF, se cita que la prueba del perforador es la adecuada, definiéndose las siguientes clases:

- Clase A: ≤ 9 mg/100 g
- Clase B: ≤ 40 mg/100 g

Sin embargo, en la norma UNE EN 13.986 que se ocupa de los tableros derivados de madera para la construcción, sus características, evaluación de conformidad y marcado, se especifican las siguientes clases determinadas con el método del perforador:

- Clase E1: $\leq 8 \text{ mg/100 g}$
- Clase E2: $> 8 \text{ mg/100 g e } \leq 30 \text{ mg/100 g}$

Como hemos señalado ya, los adhesivos utilizados en la fabricación de los tableros derivados de la madera contienen un alto grado en formaldehído que permite el correcto y rápido fraguado de las colas. La cantidad de este componente sobrante que no interviene en las reacciones se desprende del tablero de forma continuada, lo que provoca que en lugares de almacenamiento de los tableros exista una concentración del producto muy alta.

Según los datos reflejados por S. Vignote e I. Martínez, en concentraciones de formaldehído:

- Superiores a $0,33 \text{ mg/cm}^3$: podemos percibir olfativamente este producto.
- A partir de $0,59 \text{ mg/cm}^3$: se aprecian molestias en las fosas nasales.
- Tras los $0,81 \text{ mg/cm}^3$: a las anteriores molestias en fosas nasales se unen irritación en el interior de los ojos y lagrimeo.
- A partir de los 3 mg/cm^3 : es cuando aparece escozor en los bronquios, desapareciendo tras finalizar la exposición al producto.

La siguiente tabla describe el contenido de formaldehído y la emisión que deben tener algunos de los tableros conglomerados derivados de la madera utilizados en España.⁹⁵

⁹⁵ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 284.

CONTENIDO DE FORMALDEHÍDO SEGÚN TIPO DE TABLERO							
TIPO DE TABLERO		CLASE / CALIDAD					
		E1			E2		
T. contrachapado		Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-2
		≤ 3,5 mg/m ² h	≤ 5 mg/m ² h	≤ 0,14 mg/m ² h	3,5 a 8 mg/m ² h	5 a 12 mg/m ² h	> 0,14 mg/m ³ aire
T. partículas	Contenido	≤ 8 mg/100g de tablero			> 8 y ≤ 3 mg/100g de tablero		
	Emisión	≤ 0,124 mg/m ³ aire			> 0,14 mg/m ³ aire		
T. fibras	Contenido	≤ 8 mg/100 g de tablero			> 8 y ≤ 30 mg/100 g de tablero		

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 278.

Encontramos en el artículo publicado por F. Peraza *El desafío del formaldehído* en la revista de la AITIM (2008)⁹⁶, que el profesor Raniero Marutzky, del Instituto Fraunhofer para la Investigación de la Madera - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) en Braunschweig (Alemania), impartió una conferencia en Hannover sobre las “*nuevas regulaciones, ensayos y certificaciones, desarrollos, desafíos y experiencias sobre el formaldehído en Europa, Norteamérica y Japón.*” El contenido de formaldehído es un factor clave dentro de la industria de tableros de fibras MDF, donde desde 2006 y a nivel Europeo, existe el compromiso de que todos los fabricantes de Europa elaboren dichos tableros con bajo contenido en formaldehído. Esta regulación no debe suponer un problema en la fabricación de tableros MDF estándar, pero en aquellos resistentes a la humedad y los mejorados contra el fuego, supone un desafío mayor. En este artículo, F. Peraza hace referencia a los métodos de análisis de contenido en formaldehído, para afirmar que el método del perforador UNE EN 120 es uno de los menos fiables debido a la inexactitud de los ensayos

⁹⁶ PERAZA, F. (2008) *El desafío del formaldehído*. Boletín de Información Técnica de AITIM, nº 251. Pág. 72-74.

realizados en diferentes laboratorios, tanto oficiales como particulares. La especificación individual para un resultado según las normas es de 8 mg de HCHO / 100 g de tablero seco. El método de la cámara UNE ENV 717-1 es el más exacto, pero conlleva demasiado tiempo realizarlo suponiendo un gasto mayor para los ensayos y un retraso en la obtención de los resultados, que se necesitan de forma inmediata. El método de análisis de gas UNE ENV 717-2, ofrece unos resultados en los que el margen de variabilidad es más amplio que el del perforador aún suponiéndose que sería más efectivo.

F. Peraza resalta en su artículo que los fabricantes españoles están consiguiendo un producto con muy bajo contenido y emisiones de formaldehído, cercanas a 2mg/100g o inferiores. Esta es la tendencia a seguir y muestra de ello es que las grandes multinacionales del sector de fabricación y distribución del mueble comienzan a exigir resultados en los análisis que sean inferiores al contenido en formaldehído del tablero MDF- E1. Los riesgos que acarrea la emisión de formaldehído para la salud son considerables si atendemos a los resultados que ofrecen instituciones públicas de evaluación, como es el caso del Ministerio Francés de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MEDAD), que publicó hace unos años la Guía Francesa sobre Riesgos Medioambientales y Sanitarios. Los fabricantes franceses de la Federación Europea de Tableros realizaron un estudio de dicha guía, detectando que se asocia a los tableros derivados de la madera y la emisión de formaldehído con el riesgo de aparición de cáncer. Sin embargo, la Industria Europa de Fabricantes de Formaldehído organizó en 2008 una conferencia sobre los beneficios socio-económicos de este producto en la Unión Europea, exponiendo que no es muy popular y que no se es consciente de que el formaldehído es un producto de la naturaleza.⁹⁷

Años antes, la Agencia Internacional de Investigaciones del Cáncer (IARC), recalificó al formaldehído como sustancia cancerígena que afecta a los humanos. Encontramos otro artículo en la revista AITIM, *Los peligros del*

⁹⁷ El cuerpo humano y otros organismos naturales producen pequeñas cantidades de formaldehído de manera natural.

formaldehído, publicado en 2005⁹⁸, que nos hace referencia a este dato: “Se había demostrado que a altos niveles de exposición el formaldehído afectaba a ratones, ahora se ha demostrado que también puede afectar a los humanos, aunque en un tipo poco común de cáncer (nasofaríngeal)” Debemos señalar, que numerosos productos emiten cantidades de formaldehído, ya que esta sustancia es una “molécula orgánica formada por un átomo de carbono que está unido a dos átomos de hidrógeno y a uno de oxígeno (CH₂O)”. A una temperatura normal, es un gas que se disuelve en agua, llegando hasta concentraciones del 65%, aunque la concentración más normal es la de 37%, en este caso, se le conoce con el nombre de formalina. En forma polimerizada es sólido y se denomina para-formaldehído. En estado de gas se encuentra en el aire; la concentración de formaldehído a partir de las 0,05 partes por millón (ppm), a altas concentraciones produce irritación de nariz, ojos y garganta.

En los últimos años, las investigaciones que conducen al empleo alternativo de adhesivos de isocianato para mejorar las prestaciones del tablero con respecto a la humedad y que ofrecen la no emisión de formaldehído, están en una situación parecida a la mencionada con anterioridad. J. M. Martínez, Técnico de Prevención de Ibermuatur en Valencia, expuso en su artículo *Riesgos por exposición a isocianatos*⁹⁹, publicado en la revista de Ibermuatur sobre higiene industrial en septiembre de 2006, que la manipulación de compuestos que tengan isocianato producen riesgos para la salud de los trabajadores de aquellas empresas dedicadas al sector del mueble, la madera y los adhesivos industriales, viéndose potenciados los daños que afectan al sistema respiratorio, la piel y los ojos. Por ello se ha adoptado la medida de reducción de emisión del producto, como pasara con el formaldehído, a valores de 0,005 ppm.

⁹⁸ AITIM (2005) *Cuidado con el polvo de madera*. Boletín de información técnica. AITIM. Pág. 22.

⁹⁹ Revista electrónica consultada en la web oficial de Ibermuatur: http://www.ibermutuamur.es/revista_bip_antigua/26/pdf/16_higiene_industrial.pdf, el 25 de julio de 2011.

A pesar de esto, el formaldehído es una sustancia biodegradable que se descompone en el aire en pocas horas en su estado gaseoso y al estar disuelto en agua, se descompone en pocos días. Para que dichos efectos perjudiciales aparezcan en ambos casos (formaldehído e isocianato) ha de tenerse en cuenta la concentración de producto, el tiempo de exposición ante el mismo y la zona de contacto físico si la hubiere. Sin embargo, es la exposición repetida ante pequeñas dosis y la mala prevención, son las que crean el estado de alarma para estos productos.

9.4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA.

La propiedad elástica de la madera se traslada a los tableros de forma más acusada, permitiéndonos observar los valores de resistencia mecánica de los mismos. Esta resistencia mecánica variará dependiendo del tipo de tablero y del espesor o grueso de éste. En la siguiente tabla se muestran los valores de resistencia a esfuerzos de los principales tableros derivados de madera utilizados en España, expresados en kg/cm^2 , realizando el análisis sobre un espesor de 19 mm:¹⁰⁰

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LOS TABLEROS								
TIPO DE TABLERO	FLEXIÓN (kg/cm^2)		COMPRESIÓN (kg/cm^2)		TRACCIÓN (kg/cm^2)		CORTANTE/ CIZALLADURA (kg/cm^2)	
	R	E	R	E	R	E	R	E
T. contrachapado	234	62.780	210	62.780	115	66.940	15	1.800

¹⁰⁰ Datos obtenidos de VIGNOTE, S. y MARTÍNEZ, I. (2006) *Tecnología de la madera*. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pág. 280.

T. de partículas	125	29.400	105	17.000	79	17.000	61	8.300
T. fibras MDF	210	30.000	125	27.000	125	27.000	65	8.000
T. fibras duro (*)	350	48.000	270	48.000	260	48.000	180	20.000

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de S. Vignote e I. Martínez (2006) Pág. 280.

R= Resistencia

E= Módulo de elasticidad.

(*)= Tableros de 4 mm de espesor.

Estos valores han de verse reducidos de acuerdo a las condiciones ambientales en las que se encuentren; a consecuencia de la humedad y del tiempo de exposición a las cargas, disminuyen en comparación con los valores que podemos encontrar en la madera maciza natural.

Se denomina módulo de elasticidad a la constante que se corresponde con la acción de los esfuerzos de tracción y la deformación producida. Si la constante se refiere a un esfuerzo de cizalladura o cortante, se le denomina módulo de cizalladura. Así, el módulo de elasticidad será proporcional a la variación de fuerza (tensión) que se produce al desplazar un átomo o ión a una distancia determinada, produciéndose así la deformación.¹⁰¹ El resultado que reflejan estos dos módulos dará como consecuencia los valores que definen la propiedad de rigidez de los materiales.

¹⁰¹ Información obtenida de GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 64.

9.4.1. Otras características de los tableros de fibras MDF frente a la madera natural.

Frente a la madera natural, S. Vignote e I. Martínez hacen hincapié en que se debería atender a otras propiedades o características de los tableros, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Medidas de superficie: Normalmente, las medidas de comercialización de los tableros oscilan entre 1,22x2,44 cm hasta 2,44x4,88 cm, en sus formatos mayores, además de una gran variedad de combinaciones posibles que permiten un gran aprovechamiento de la materia prima careciendo de uniones.
- Grueso: Los tableros conglomerados se comercializan en grosores desde los 3 hasta los 50 mm o más. De forma más frecuente, en los lugares de comercialización ordinaria, los grosores estándares son 6, 12, 16, 18, 19, 22, 15 y 30 mm, son una disponibilidad de grosores de 3 mm en tableros contrachapados y de partículas y hasta 2 mm en tableros de fibras.
- Calidad de superficie: Este tipo de tableros, tras pasar por el proceso de industrialización, obtienen un acabado lijado o revestido, por medio de lijas de grano 120 a 160 o láminas adhesivas plastificadas o de papel.
- Calidad de esquadría: Para los tableros, debe ser en todo caso igual o menor a 2mm/m.
- Calidad de los cantos: Los tableros adquieren una tolerancia de rectitud de los cantos de 1,5 mm/m a la hora de su comercialización, pero es la heterogeneidad de éstos la principal ventaja tras el proceso de fabricación. Los tableros de fibras MDF se caracterizan por adquirir la mayor regularidad en los cantos, puesto que al tener la fibra de constitución un tamaño idéntico en sus interior y exterior, la

distribución de la densidad no varía mucho (entre 0,7 y 0,9 gr/cm³). Siendo así, la calidad del tablero en cuanto a la regularidad de su fibra será superior cuanto menor variación disponga. De la misma forma que ocurre en la madera natural (madera maciza) este carácter de homogeneidad es lo que confiere al tablero MDF la posibilidad de mecanizar sus cantos y trabajarlos con la confianza en que no se astillen. Para el trabajo en escultura y la talla en madera, esta es una principal característica que equipara al MDF con otros tipos de madera empleadas normalmente en escultura.

9.5. DIMENSIONES COMERCIALES DE LOS TABLEROS MDF.

9.5.1. Espesor, anchura y longitud.

Como ocurre con todos los productos industriales que se destinan a la comercialización, la fabricación y en concreto la especificación dimensional de espesor o grueso, anchura y longitud de los tableros MDF se rige de acuerdo a la norma UNE EN 324-1. El espesor o grueso de cada tablero, en sus cantos, ha de medirse y comprobarse a unos 5 cm del borde hacia su interior, señalando para la comprobación, 8 puntos definidos por la norma anterior. La precisión de la medida ha de ser del 1% del grueso del tablero y nunca inferior a 0,1 mm, para dar un resultado de una exactitud con aproximación a 0,1mm.

La anchura y longitud se miden trazando paralelas al borde de los cantos y a una distancia de ellos de unos 10 cm hacia el interior del tablero. Como ocurre con la determinación de las medidas de espesor, la precisión de esta medida será del 1% del espesor del tablero, no inferior a 0,1mm, para dar un resultado final como media de las medidas, de una exactitud de aproximación de 1 mm. La norma UNE EN 326-1 rige las muestras de comprobación de las medidas de los tableros.

9.5.2. Escuadría y canteado.

Según la norma UNE EN 324-2, la escuadría y rectitud de los cantos ha de medirse con una escuadra de dos brazos de 100 cm \pm mm, debiendo tener una precisión de 0,2mm por cada 100cm, que colocándose en la esquina del tablero, determinará la distancia entre el borde del tablero y los brazos de la escuadra, por medio de una regla de acero graduado. El resultado se expresa en mm por metro de longitud (mm/m) con aproximación de 0,5 mm/m. Para la medición de la rectitud de los cantos, el proceso es similar: la colocación de unas reglas en los cantos determinará cualquier desviación que será comprobada por calibres graduados. El resultado en cuanto a anchura y longitud del tablero se expresa en mm/m de longitud.

Las tolerancias de las dimensiones nominales definidas en la norma UNE EN 622-1 son:

TOLERANCIA DIMENSIONAL SEGÚN NORMA UNE EN 622-1	
Espesor: <6 y de 6 a 19	$\pm 0,2$ mm
>19	$\pm 0,3$ mm
Longitud y anchura	$\pm 2,0$ mm/m con un máximo de ± 5 mm
Escuadría	2 mm/m
Rectitud de los cantos	1,5 mm/m

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos según norma UNE-EN 622-1.

10. ADHESIVOS INDUSTRIALES PARA LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DERIVADOS DE MADERA (MDF) Y PARA LA UNIÓN DE PIEZAS.

Aportando un enfoque funcional, entendemos como material a los sólidos, líquidos y gases que el ser humano necesita para crear o mejorar cosas. La ciencia que estudia los materiales (Ciencia de los Materiales) pretende hacer una aportación por medio del desarrollo de nuevos materiales, que bien pueden ser soluciones novedosas a problemas sociales y económicos que tienen que

ver con el ahorro energético y el aprovechamiento y respeto de los recursos naturales y el medio ambiente. De forma concreta, es la Ciencia de los Materiales la que estudia la relación entre estructura y constituyentes, propiedades e influencias en la elaboración de los materiales y los procesos a seguir para ello.

De forma paralela, la Ingeniería de los Materiales se ocupa del estudio de aquellos procesos más específicos de elaboración de materiales de un modo más concreto, además de hacer una selección y aplicación de aquellos materiales de acuerdo con las propiedades específicas que se busquen, desde un enfoque técnico-estructural.

En esta investigación resaltaremos las propiedades fundamentales de los diferentes tipos de materiales que nos ocupan, como materias primas de las maderas y derivados y los adhesivos que se emplean para la elaboración de tableros:¹⁰²

- Materiales poliméricos: Tienen comunes características:
 - Compuestos, generalmente orgánicos, adoptando formas de gran longitud.
 - Su densidad es baja.
 - Llegan a ser flexibles y/o elásticos.
 - Mediante las investigaciones de la Ciencia de los Materiales y la Ingeniería de los materiales se desarrollan polímeros sintéticos.
- Materiales híbridos:
 - Compuestos por más de un tipo de material.

¹⁰² GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 4.

- Los híbridos artificiales están diseñados para mejorar determinadas propiedades de los que no lo son. Un ejemplo es el tablero de madera de fibras MDF que ha sido diseñado para mejorar algunas propiedades de la madera natural.
- El objetivo común para su fabricación es la mejora en Ingeniería de Materiales como una aportación al desarrollo tecnológico y medioambiental.

10.1. LOS POLÍMEROS.

Entre la multitud de número y tipología de materiales, de acuerdo a sus características fisicoquímicas, existen algunos compuestos por moléculas gigantes que se les denomina de forma general sustancias macromoleculares, como es el caso de la madera y que no han sufrido durante años ningún tipo de modificación en su estructura molecular. Es a partir del siglo XX, cuando surgen otro tipo de materiales macromoleculares sintéticos, que repiten con regularidad ciertos principios estructurales y se les llama también materiales poliméricos. Químicamente, la macromolécula está formada por el enlace de muchas unidades repetitivas. Al proceso químico de encadenamiento que ocurre por la construcción de estas largas cadenas se le llama polimerización. Se denomina mero a un motivo estructural y si éste adquiere moléculas independientes, se le denomina monómero. Si las moléculas de los monómeros se entrelazan se produce otro elemento denominado polímero. La baquelita es el ejemplo más conocido, dentro del marco en que nos movemos, que fue producido por condensación. Estos materiales poliméricos industriales obtenidos por un proceso de síntesis, se constituyen por cadenas de subunidades largas, repetitivas y unidas por enlaces covalentes: los llamados altos polímeros, debido a su longitud y peso molecular.

Fue en 1832, cuando Berzelius creó el término “polímero” como oposición al de “isómero”, con el fin de designar aquellos compuestos de pesos moleculares

múltiples o de mismo peso molecular. Hoy día se entiende por polímero a las moléculas de pesos moleculares de entre 10^3 y 10^6 gr, en cuyas estructuras aparecen de forma repetitiva unidades simples denominadas “meros”.¹⁰³

La mayoría de las materias primas de las cuales se obtienen las sustancias poliméricas se clasifican en tres grupos:

- Productos naturales: tanto animales como vegetales, de los que se obtienen materias primas como la celulosa, caseína, etc.
- Carbón de hulla y petróleo: de los que el alquitrán y el coque son las materias primas obtenidas mediante la destilación de fracciones para separar diversos componentes como los aceites ligeros de los que se obtiene, por destilación nuevamente, el benceno, el tolueno y los xilenos (para la fabricación de resinas de poliéster), el fenol, el naftaleno, etc.
- Gas natural.

Atendiendo al origen de formación de los materiales poliméricos, podemos clasificarlos en:

- Polímeros naturales.
- Polímeros semi-sintéticos.
- Polímeros sintéticos.

Son estos últimos los que más nos interesan por realizarse a partir de sustancias modificadas en laboratorio que encontramos en los adhesivos industriales para la madera.

Los polímeros naturales son polímeros biológicos que podemos encontrar como constituyentes de las sustancias vivas, como las proteínas, alimentos,

¹⁰³ PREDEBÓN, L. (2008) *Posibilidades plásticas del polímero acrílico Paraloid B-72 utilizado como aglutinante pictórico*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 38.

madera y plantas, aminoácidos o resinas naturales. Las resinas naturales, de origen animal o vegetal (como la goma laca, trementina, colofonia, sandaraca, mástic, dammar, etc.) han sido empleadas directamente sin pasar un proceso de síntesis química, sin tener en cuenta los procesos de purificación y separación. Estas resinas naturales tienen propiedades comunes como:

- Contienen compuestos volátiles.
- Conforme pase el tiempo existe una tendencia a volverse insolubles en agua, pero sí en aceites, esencia de trementina, alcohol, etc.
- Su endurecimiento surge tras el proceso de polimerización y oxidación.
- Su proceso de curado es lento y la película de aplicación queda grasienta durante un tiempo.
- Al endurecer pueden ser quebradizas.
- Adquieren un color pardo tras el curado por oxidación que se intensifica conforme la resina envejece.

Según las reacciones que se dan en su formación o su polimerización, los polímeros naturales se pueden clasificar en:¹⁰⁴

- Polimerizados: Las macromoléculas se forman por la unión de moléculas monómeras¹⁰⁵ no saturadas con apertura de doble enlace, sin la necesidad de que haya separación de las moléculas más sencillas. Un ejemplo de este proceso de polimerización es el polietileno (PE) El número de monómeros que constituye una cadena polimérica se le denomina grado de polimerización, que será

¹⁰⁴ GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 154.

¹⁰⁵ Los monómeros son unas moléculas de pequeña masa molecular que unidas entre sí forman las macromoléculas de los polímeros.

proporcionalmente mayor en función de la masa molecular y la viscosidad del polímero.

- Policondensados: Al menos dos grupos de monómeros producen los enlaces bidimensionales, tridimensionales o multidimensionales (en algunos adhesivos que encontramos en el mercado los enlaces son tetradimensionales), separándose el H₂O, NH₃, HCl, etc.
- Poliaductos: La reacción tiene lugar al menos entre dos grupos polifuncionales sin la necesidad de que se separen moléculas sencillas, como ocurre en los policondensados. Por ejemplo los poliuretanos y resinas epoxi.

Las primeras resinas obtenidas por proceso de síntesis de polímeros fueron, como hemos señalado párrafos más arriba, por un proceso de condensación entre el fenol y el formaldehído, dando lugar a las llamadas novolacas o baquelitas. Según su comportamiento termoplástico, el cual da lugar a la atribución del término “resina” a los polímeros sintéticos, éstos pueden agruparse en:

- Elastómeros: Poseen elasticidad como en el caso del caucho, teniendo la capacidad de estirarse y recuperar su forma inicial al finalizar la tensión.
- Termoestables: Por acción del calor o por la adición de endurecedores, adquieren su dureza final de forma permanente e irreversible tras el enfriado. Su composición molecular es en forma de retícula y tras el curado o endurecido, esta retícula se vuelve más cerrada.
- Termoplásticos: Sus macromoléculas lineales forman una retícula no tan cerrada como la de los termoestables, así pues, por la acción del calor se vuelven más plásticos (reblandecen) pero esta vez sí de forma reversible, adquiriendo solidez y dureza al enfriarse.

Los procedimientos de polimerización necesariamente deben de pasar por tres fases distintas:

- Fase de inicio de la reacción.
- Fase de crecimiento o propagación.
- Fase de ruptura o terminación.

De forma industrial, las reacciones de polimerización de los polímeros sintéticos siguen idénticos procesos que los polímeros naturales:

- Polimerización propiamente dicha: Se produce por la adición de moléculas en cadena y sin que haya separación de moléculas sencillas.
- Polimerización por condensación: Los polímeros se forman por más de un tipo de monómeros dando lugar a un subproducto de poco peso molecular, como las resinas de formaldehído, poliamidas, poliésteres, etc. Consiste en la combinación de las moléculas de los cuerpos al reaccionar entre sí, eliminando moléculas de menor tamaño normalmente de agua.
- Polimerización por aducción: Siguen procesos similares a los anteriores, pero con la diferencia de que los grupos de monómeros que reaccionan entre sí no pueden encontrarse en la misma molécula, sin la necesidad de eliminación de ninguna otra.

Los materiales poliméricos de origen y aplicaciones industriales, se clasificaron como termoestables, termoplásticos y elastómeros de acuerdo a sus propiedades termomecánicas. Estos materiales, producto de la industria, se caracterizan por su baja densidad, aunque puedan aumentar por el grado de cristalización alrededor de $0,92 \text{ gr/cm}^3$ o menor¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Información obtenida de GONZÁLEZ-VIÑAS, W; MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Editorial Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona. Pág. 180.

Como en el caso de la madera natural y los compuestos derivados de ella, en concreto el tablero de fibras MDF, una de las propiedades químicas buscadas en la formación industrial de polímeros es su resistencia frente a la acción de agentes perjudiciales. Normalmente, estos materiales resisten al ataque de agentes químicos como los ácidos y bases en medios acuosos, pero sí son sensibles a disolventes orgánicos que produzcan su disolución o bien la plastificación e hinchazón, eliminando sus propiedades.

Los adhesivos empleados en la fabricación de tableros derivados de madera de base Urea formaldehído son adhesivos orgánicos sintéticos derivados de los polímeros:

“sustancias químicas de cadenas moleculares muy largas y elevado peso molecular, con propiedades físicas y químicas muy diferentes de las que poseen los cuerpos constituidos por moléculas sencillas.”¹⁰⁷

En función de los puntos de enlace molecular, la polimerización se clasifica por su estructura en:

- Polímeros lineales unidireccionales, con una larga cadena de átomos de hidrógeno y carbono enlazados entre sí, además de otros átomos, adquiriendo un peso molecular alto que es susceptible de ablandarse por el aumento de la temperatura. Este es un factor a considerar, puesto que puede llegar a la fusión del polímero, aunque tras el enfriamiento, éste vuelve a recobrar su estado sólido. Estos tipos de polímeros de estado rígido en frío (temperatura ambiente) capaces de ablandarse y ser flexibles con el aumento de la temperatura se les denomina Termoplásticos, y son la base de algunos adhesivos que se emplean en la unión de piezas de madera.

¹⁰⁷ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 19.

- Polímeros tridimensionales, que poseen un peso molecular notablemente bajo. Son sustancias duras, no solubles y resistentes al aumento de temperaturas debido a su estructura en forma de red que le confieren una fuerza de unión en los átomos muy elevada, otorgándole así una gran estabilidad térmica, evitando el estado de fusión. Estos polímeros Termoestables sin embargo, dotan a los adhesivos de gran fuerza, pero de una débil resistencia frente a los esfuerzos mecánicos, pudiéndose llegar a quebrar por no admitir deformaciones elásticas.

El desarrollo de las materias poliméricas tuvo su comienzo en los inicios del siglo XIX, sobre el 1836, con los procesos de transformación química de sustancias macromoleculares naturales, para dar como resultado una serie de productos industriales con características elaboradas a antojo. Hasta entonces el sistema funcionaba del modo de preferencias por descubrir un material novedoso y seguidamente asignarle una aplicación, pero a raíz de este desarrollo hay un giro a la inversa: primero se definen las propiedades deseadas y después se obtiene el producto que cumpla con esas propiedades. Pero no es hasta el siglo XX, cuando a través de la obtención de altos polímeros totalmente sintéticos de bajo peso molecular, el desarrollo científico y tecnológico de los materiales poliméricos cobró su verdadero impulso.

En orden de aparición cronológico, podemos observar a continuación, las aportaciones a este desarrollo industrial de los adhesivos poliméricos termoestables:

- 1820: Thomas Hancock inventa un molino que podía triturar el caucho, transformándolo así en una pasta moldeable, pero sin la capacidad de permanecer así.
- 1835: Regnault sintetizó el monómero de cloruro de vinilo para la posterior fabricación de cloruro de polivinilo o PVC.

- 1839: Charles Goodyear mezcla látex triturado con azufre y aplica calor para obtener un material moldeable que al enfriar, esta vez sí, mantenía la forma modelada manteniendo propiedades elásticas: el caucho vulcanizado.
- 1846: Christian Friedrich Schöbein transformó la celulosa del algodón en un material resistente y duro denominado nitrocelulosa, aunque su autoría se le atribuye a Alexander Parker, en 1861.
- 1846: Louis Nicolás Ménard disolvió algodón pólvora en una mezcla de alcohol y éter dando como resultado una película de celulosa lisa, dura y limpia que se conoce como colodión, con aplicaciones para lacas y barnices para pintura. Este hecho es el precursor de que hoy día se empleen los productos sintéticos en el campo de la creación artística, sustituyendo a las materias naturales, tanto en creación como en restauración.
- 1869: Piérre-Eugène-Marcellon Berthelot produce el estireno monómero a partir del etilbenceno.
- 1872: Adolph von Bayer realizó el primer experimento para la producción de fenol formaldehído condensado.
- 1884: Se da a conocer la Urea formaldehído, que fue patentada por Hans John en 1918 como adhesivo industrial.
- 1902: Se desarrolla la primera resina sintética llamada "Laccain" sustitutiva al "shellac".
- 1907: L.H. Backeland patentó el curado de resinas fenólicas por la aplicación de calor y presión.
- 1910: Se funda en Berlín la compañía Bakelite para la fabricación de componentes de moldeo y resinas industriales.

- 1912: aparecen los primeros éteres de celulosa, para que un poco después se desarrollen los ésteres polivinílicos a partir del acetileno.
- 1920: A partir de estos años se incrementa la producción de resinas vinílicas gracias a la obtención de materias primas a partir del caucho de butadieno y la adición de tioplastos.
- 1922: Se patenta por primera vez la producción de resinas urea formaldehído solubles en disolventes orgánicos (BASF).
- 1928: La casa Röhm & Haas obtuvo una producción a gran escala de las resinas acrílicas.
- 1929: William Chalmers consiguió un material duro y claro a partir del empleo de polímeros de etil-éster metacrilato y nitrito metacrilato, utilizado como vidrio sintético sustituto del vidrio natural.
- 1930s: Staudinger comenzó a hablar de macromoléculas para referirse a los plásticos y el caucho, además de descubrir la relación entre viscosidad de las soluciones diluidas de polímero y la masa molecular.
- 1931 y 1932: Comienza en Alemania la fabricación de resinas alquídicas y maleicas.
- 1934 Pierre Castan desarrolla la resina epoxi.
- 1935: Se desarrollan las resinas de melamina formaldehído.
- 1936: C. Ellis descubre el curado de poliéster instaurado por presencia de polietileno.

- 1939-45: Hay un desarrollo vertiginoso de los plásticos de policarbonatos y poliacetales en Alemania y los Estados Unidos.
- 1942-45: Los Estados Unidos desarrollan una enorme producción de todo tipo de cauchos sintéticos.
- 1945: Blyche y Hoffman dan explicación al proceso de polimeración del estireno expuesto a la luz solar que inventara el profesor P.L. Simon en 1839.
- 1948: H. Hönel patenta la producción de resinas termoestables solubles en agua.
- 1960: Introducción de las resinas furano en la fundición industrial.
- 1964: Desarrollo de componentes para moldeo por inyección.
- 1970-75: Introducción de resinas fenólicas y furano para la producción de materiales resistentes a altas temperaturas destinados a la industria aeroespacial en Estados Unidos.
- 1982: Desarrollo de resinas fenólicas enlazadas a polímeros reforzadores de fibra plástico (FRP) en la ingeniería aeronáutica y del automóvil.
- 1990: Empleo de las resinas epoxi-fenólica para “composites” en la industria del transporte.
- 1993: Empleo de taninos modificados en resinas para la producción de adhesivos para la madera.
- 1995: Empleo de resinas fenólicas para la producción de FRP por extrusión.

10.2. ADHESIVOS ORGÁNICOS SINTÉTICOS.

Como ocurre en infinidad de productos industrializados, los adhesivos naturales han sido sustituidos por resinas sintéticas de un modo imparable en casi todos los sectores de producción.

En función de las características de los polímeros que resaltamos en puntos anteriores, los adhesivos orgánicos sintéticos pueden agruparse en:

- Termoestables
- Termoplásticos

10.2.1. Adhesivos termoestables.

10.2.1.1. Adhesivos de Urea formaldehído.

La obtención de este tipo de adhesivo se logra a raíz de la polimerización por condensación de la Urea y el formaldehído, en un proceso que llega a interrumpirse cuando se alcanza un punto determinado de la reacción. La fase final de polimerización del adhesivo transcurre cuando se somete al proceso de curado, generalmente con la actuación de calor en procesos de fabricación de tableros de fibras MDF.

El formaldehído es el único compuesto carbonilo¹⁰⁸ empleado en la síntesis de resinas. Normalmente se encuentra en estado líquido con un aspecto incoloro, aunque puede pasar a estado gaseoso por evaporación. Su obtención proviene de la deshidrogenación del metanol, acompañado de un catalizador de hierro o plata, creando una reacción entre la mezcla del metanol y el aire, que actúa como oxidante del catalizador.¹⁰⁹ Actualmente, la industria emplea otros procesos para la obtención del formaldehído consistente en la mezcla de óxido

¹⁰⁸ En química orgánica, un grupo carbonilo es un grupo funcional compuesto por un átomo de carbono y otro de oxígeno mediante un doble enlace.

¹⁰⁹ ALONSO, M. (2005) *Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo "resol" con sustitución parcial por lignosulfatos modificados*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 13.

de hierro y óxido de molibdeno como catalizadores en la reacción con el metanol. A este proceso se le denomina Formox.

Aún pareciéndolo, no todos los adhesivos de base Urea formaldehído tienen la misma composición, como no todos los productos que se fabrican empleándolo tienen las mismas características. En consecuencia a la velocidad de reacción y el tipo de polímero resultante, interviene un tipo de relación molecular diferente de urea y formaldehído. Para ello se debe contar con la temperatura de reacción, el tiempo y la concentración de ambas sustancias y las consecuentes reacciones o comportamientos diferentes del adhesivo, de acuerdo a las necesidades específicas del tablero a fabricar.

El curado de estos adhesivos se lleva a cabo mediante la incorporación de un ácido o sustancia liberadora de ácido, empleándose sales amónicas que reaccionan muy bien aún curando a temperatura ambiente y que prolongan la vida de las resinas. Son los catalizadores, que añadidos antes de aplicar el adhesivo al sustrato o material, ayudan al curado acelerando el proceso y volviendo más reactivos los componentes.

En las ocasiones en las que no sea necesaria una retardación en el curado del adhesivo, pueden emplearse sustancias retardadoras. Ha de tenerse en cuenta entonces, que la liberación de ácido de la sal es inmediata.

La aparición de grietas por la aplicación de una capa excesivamente gruesa de este adhesivo tras someterse a fuerzas de tracción o flexión o por la propia naturaleza del producto, puede verse paliada y anulada mediante la adición de materia de carga, logrando así que se reduzcan las tensiones y esfuerzos en el curado y la contracción que provocaría el agrietado. Estas sustancias utilizadas como materia de carga suele incorporarlas el fabricante en la propia resina o en el endurecedor, en torno a un 10%. Además, el propio usuario puede incorporar cargas extendedoras para un mayor rendimiento del producto y su fácil aplicado, que son de tipo orgánico o mineral y entre las que se emplean harinas o almidones de tubérculos, de cereales (maíz, trigo, centeno...) Autores como F. Liesa o L. Bilurbina, mencionan la adición de productos

lignocelulósicos, como cáscaras de coco o nuez, que ayudarían a mejorar su comportamiento frente a la humedad. Los extendedores minerales son del tipo óxidos y silicatos, pero se emplean con menor frecuencia que los orgánicos.

Una característica importante, además de las que hemos citado ya, es que todas las resinas de Urea formaldehído tienen propiedades higroscópicas, por lo que la acción de la humedad puede afectarse principalmente en su envasado y almacenado, debiéndose controlar muy bien, a fin de preservar las condiciones del producto, la humedad ambiental de los lugares de almacenaje. La resistencia al agua de las resinas Urea formaldehído es excelente en aguas frías, pero se va debilitando en función de un incremento de la temperatura, llegando a anularse en aguas en estado de ebullición. La propiedad higroscópica de este tipo de resina es un complemento a la hora de unir piezas de madera o de conformar tableros, puesto que ambas partes, resina y madera, pueden regular su contenido en humedad y favorecer así su curado. No obstante, el que le afecte el agua en determinadas condiciones, supuso que se investigase y desarrollasen otros tipos de productos como las resinas fenólicas (resorcina o melamina) que mejoran las características de las de urea.

Tanto la resorcina como la melamina necesitan de la acción de calor en su reacción, por lo que se aplican en la fabricación de tableros MDF en seco mediante el prensado en caliente, pero no obstante, la resorcina puede curar a temperatura ambiente. Otras características interesantes de estos adhesivos son:

- Buena resistencia frente a disolventes orgánicos.
- No resiste la acción de ácidos y álcalis fuertes.
- Rigidez en las uniones entre piezas o entre fibras de tableros derivados de la madera.
- Admite aditivos y flexibilizantes para disminuir la rigidez.

- Resistencia frente al ataque de hongos.
- Resistencia frente al ataque de insectos xilófagos.
- Resistencia a termitas.
- Buena humectación.
- Poca sensibilidad al contenido de humedad de la madera (propiedad higroscópica)

En la tabla siguiente podemos observar la comparativa de resistencia de los adhesivos de Urea formaldehído frente a otras resinas de polimerización por condensación:¹¹⁰

TIPO DE ADHESIVO	Carga media de rotura (Kg)	Desviación estándar
Fenol formaldehído	400	106
Resorcina formaldehído de curado en caliente	455	12
Urea formaldehído de curado en caliente	405	85
Urea formaldehído de curado en frío	425	66
Tanino formaldehído	435	63

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de F. Liesa y L. Bilurbina (2009) Pág. 41.

10.2.1.2. Adhesivos de fenol formaldehído.

¹¹⁰ Datos obtenidos de LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 41.

Dentro del grupo de las resinas fenólicas encontramos dos tipos claramente diferenciados por el contenido en formaldehído en su composición y por el estado de aplicación de los mismos:

- Resoles
- Novolacas

Son fruto de la reacción de productos fenólicos y aldehídos, que dan lugar al fenol y el formaldehído. La primera reacción que sufrieron los productos fenólicos y los adhesivos fue la polimerización por condensación, realizada por Adolph von Baeyer en 1872, dando como resultado la primera resina fenólica sintética.

El fenol pertenece a la familia de los compuestos aromáticos en el que un grupo hidróxilo queda unido a uno aromático. Se obtiene principalmente del petróleo aunque también se encuentra en el carbón, destilando el alquitrán. En el momento en que la reacción fenol y formaldehído tiene una cantidad mayor de formaldehído y en presencia de un álcali fuerte, como hidróxido sódico o amónico, el resultado del producto es el Resol. En cambio, cuando en la reacción fenol y formaldehído existe una cantidad mayor del primero y en presencia de un ácido fuerte, como el ácido sulfúrico, oxálico, etc., se forma la Novolaca.

Atendiendo al proceso de curado de las resinas fenólicas y a la temperatura de éste, podemos clasificarlas en:

- Resinas fenólicas de curado en frío.
- Resinas fenólicas de curado en caliente.

Estas resinas de curado en caliente se emplean habitualmente en solución alcalina acuosa para la fabricación del tablero contrachapado, normalmente por pulverización o como adhesivos en forma de película. En la fabricación de tableros MDF destinados a su uso en condiciones climatológicas húmedas, altas temperaturas o para prevenir y mejorar las características del tablero frente a los ataques de microorganismos (insectos y hongos) se emplean adhesivos fenólicos generalmente como dispersiones alcalinas en agua y

utilizados junto a otros productos de protección de la madera. Similares características tienen los adhesivos de resorcina (fenol-resorcina) con la diferencia de que estos últimos pueden curar a temperatura ambiente de entorno a los 20° C.

En montajes de piezas de madera en los que la acción de calor no es factible, los adhesivos fenólicos de curado en frío son los más adecuados, aunque tienen menos aplicaciones que los de curado en caliente. Este proceso en frío se realiza mediante la acción de ácidos fuertes que actúan como endurecedores, quedando así presentado el adhesivo en dos partes: una de resina y otra de endurecedor. A pesar de tener menor cantidad de aplicaciones, una de las ventajas de estos adhesivos es su capacidad de resistencia aun cuando el curado se haga en frío o a bajas temperaturas.

Como ocurría en el tipo de resinas de Urea formaldehído, las fenólicas admiten materias de carga que mejoren sus prestaciones y cualidades, para así facilitar la aplicación y extendido del producto, reducir la absorción por capilaridad de la madera, aumentar el rendimiento y abaratar costes. Según autores como F. Liesa y L. Bilurbina, la cantidad de producto que actúa como materia de carga dependerá de las cualidades que se pretendan mejorar. Lo que no sería aconsejable sería el empleo en exceso de aquellas cargas orgánicas que se pueden incluir, porque pueden producir disminución de la resistencia a la humedad del adhesivo y por tanto, suponer un problema para la integridad del tablero; además de una disminución de la resistencia al ataque de hongos.

A pesar de todo esto, los adhesivos de Fenol formaldehído son resistentes a los disolventes orgánicos y al agua, tanto fría como caliente.

A esta resina fenólica puede añadirsele otra de tipo epoxi para que haya un aumento de las propiedades adhesivas que pueden emplearse para otros materiales que no son la madera, como es el caso de la unión de metales. Esta adición de epoxi potencia las características de la resina de Fenol formaldehído, aumentando así su resistencia flexión y disminuyendo su fragilidad. Además, para alcanzar las exigencias de algunos ensayos, puede

añadirse un tercer componente: acetato de polivinilo en pequeñas cantidades.

Cabría señalar las características principales de los adhesivos de Fenol formaldehído empleados en la fabricación de tableros:¹¹¹

- Buena resistencia a altas temperaturas.
- Buena resistencia química y a la humedad.
- Baja contracción.
- Buena adhesión.
- Buena resistencia al choque, a la fatiga y a las vibraciones.
- Limitada vida de almacenamiento.
- Necesidad de presión y calor para un buen curado.
- Pobre resistencia al pelado y al desgarramiento.

Como alternativa a las resinas de Urea formaldehído y avance en el desarrollo industrial de los adhesivos sintéticos, surgió la necesidad de fabricar los tableros derivados de la madera empleando resinas de fenol formaldehído como adhesivo. Aunque son algo más caras, presenta mejoras en la resistencia al agua y dan lugar a una menor emisión de formaldehído, empleándose en la fabricación de tableros de fibras MDF resistentes a la humedad.

El mecanismo de unión del adhesivo con las fibras de madera, según autores como M. Alonso, consiste en la formulación de puentes de hidrógeno entre la estructura de la resina y los grupos de hidróxilo presentes en los compuestos

¹¹¹ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 44.

lignocelulósicos de las fibras de la madera. Los aspectos a tener en cuenta en la fabricación de tableros durante su proceso de fabricación son:

- Humedad de la madera.
- Aditivos y rellenos (materia de carga) del adhesivo.
- Presión, temperatura y tiempo de contacto.
- Tiempo o ciclo de presión: 6-12 s/mm de espesor del tablero.

10.2.1.3. Adhesivos de Urea-melamina formaldehído.

La obtención de este tipo de resinas sigue un proceso de polimerización muy parecido al de la obtención de resinas de Urea formaldehído pero a diferencia de éstas, las de melamina no ocupan un campo de aplicación tan extenso, viéndose destinadas como aditivo a las resinas de urea más que como adhesivos por sí mismos.

El estado de comercialización de estas resinas es en polvo, lo que conlleva a su disolución en solución acuosa, a pesar de ser poco estable en este médium y tiende a secar. La característica principal tras su aplicación y curado a unos 65° C, es su gran resistencia al agua caliente, por ello se destina como aditivo de refuerzo en otras resinas.

10.2.1.4. Adhesivos de resorcina/fenol formaldehído.

Frente a las resinas fenólicas empleadas en la fabricación de tableros, la resorcina muestra una ventaja: posibilidad de curado a temperatura ambiente causado por los grupos hidróxilo que incrementan la velocidad de reacción con el formaldehído, siempre y cuando se le añada formaldehído para evitar el empleo del catalizador ácido de fenol que sí necesita del calor para su curado. En el caso de unión de piezas de madera, este ácido de fenol debilita, las fibras adyacentes a la zona de unión o las juntas.

Como dijimos en el punto en el que se menciona el adhesivo de Fenol formaldehído, los adhesivos de resorcina soportan muy bien las inclemencias climatológicas, además de la resistencia al agua en estado de ebullición. El adhesivo tras pasar el proceso de curado se torna duro y vitrificado, lo que conduciría necesariamente a la incorporación de aditivos que reduzcan las tensiones de contracción y mejoren las propiedades de relleno, reteniendo así al adhesivo en la junta de unión.

En cuanto a su almacenamiento, al no estar completos hasta la incorporación del endurecedor, estos adhesivos pueden guardarse sin temor a las temperaturas cambiantes, evitándose en todo caso la exposición del producto a temperaturas muy elevadas y durante largos periodos de tiempo.

La principal aplicación de este adhesivo es en la fabricación de tableros derivados de la madera y vigas laminadas, entre otros productos o estructuras de madera destinados a un uso en exterior, incluso empleándose en recubrimientos melamínicos de tableros decorativos.

10.2.1.5. Adhesivos epoxi.

El desarrollo durante la segunda mitad del siglo XX de la industria y la química de los adhesivos hizo que aparecieran las resinas epoxi como adhesivos capaces de unir casi todos los materiales. Muestra de ello es la gran variedad de aplicación que tiene este tipo de resina, debido a su gran resistencia y fácil aplicación y manipulación, la destinan a múltiples fines ya sean estructurales o no.

Su estructura atómica está compuesta por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, que constituyen el grupo epoxídico. Atendiendo a esto, y a la mayor aplicación del producto en el campo de los adhesivos, son las resinas epoxi de tipo bisfenol-A a las que nos referimos, ya que este tipo contiene sustancias epoxi como la epíclorohidrina y una sustancia con átomos de

hidrógeno reemplazables como el bisfenol-A es presencia de sosa.¹¹² Como norma general, el curado de este adhesivo es mediante la aplicación de calor¹¹³, que le otorga mayor resistencia a los agentes químicos y al calor que si el curado fuese a temperatura ambiente. Siendo así, las resinas epoxi adquieren una resistencia a tracción que puede superar los 350 kg/cm², confiriéndole, posiblemente, la mayor resistencia de entre los adhesivos industriales del mercado.

Los adhesivos derivados de estas resinas son bicomponentes siempre y cuando la mezcla se haga a temperatura ambiente y justo antes de utilizarla: resina en estado líquido o sólido y un agente de curado (catalizador) que combina los grupos funcionales con los grupos epoxi, formándose así la polimerización, con la consecuente obtención de un polímero reticulado, termoestable, resistente y tenaz.¹¹⁴

Los adhesivos de resinas epoxi ofrecen una serie de ventajas en comparación a otras resinas, atendiendo a:¹¹⁵

- Adhesión: La gran capacidad de humectación, la baja viscosidad y la gran variedad de grupos funcionales polares y no polares de la resina epoxi la hacen apta para la unión de multitud de materiales diferentes entre sí sin la necesidad de que las superficies sean regulares.
- Cohesión: La resistencia frente a fallos de cohesión es muy buena, no produciéndose fallos en el adhesivo más que en los cuerpos a unir que puedan ser de poco espesor.
- Curado. Este tipo de resinas tienen unas ventajas frente a otras en cuanto a su curado que pueden ser:

¹¹² LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 46-47.

¹¹³ Según fuente de web oficial Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Resina_epoxi, consultada el 25 de julio de 2011.

¹¹⁴ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 47-49.

¹¹⁵ *Ibíd.*

- No existe liberación de agua u otros subproductos.
- No se aprecia contracción mayor a la de poliéster o acrílico.
- Curado a temperatura ambiente por catalizador y contacto entre los sustratos a unir ejerciendo una baja presión entre ellos, proporcionando unas excelentes y cómodas condiciones de trabajo.

- Resistencia a la humedad y a disolventes: La humedad no afecta gravemente a las calidades de este adhesivo, aunque en uniones de metal pueda disminuir algo su resistencia. Al exponerse a disolventes, compuestos alcalinos y ácidos débiles, la resistencia de la resina epoxi es excelente.

- Facilidad de modificación: Éstas resinas presentan compatibilidad con muchos modificantes, lo que permite reformular el compuesto para acortarlo a necesidades específicas:
 - Modificación de la resina o el agente de curado.
 - Adición de cargas, extendedores, diluyentes y aditivos especiales.
 - Combinación con otras resinas.

Considerando todas estas cualidades que otorgan a las resinas epoxi superioridad con respecto a otros adhesivos por su polivalencia, debemos indicar que no están especialmente recomendadas o su uso no es frecuente en la unión de madera o fabricación de tableros derivados de madera. Otros adhesivos y otras resinas ofrecen, para la madera, excelentes resultados con un coste menor. Sin embargo, para realizar uniones entre madera y otros materiales como el metal, este tipo de resinas es el que mejor resultado ofrece por la resistencia de la unión y la facilidad de aplicación del producto.

10.2.1.6. Adhesivos de poliisocianato.

Los adhesivos de poliisocianato presentan buenas características de curado a temperatura ambiente, ofrecen buena resistencia al agua y muestran una buena adherencia sobre la superficie de los cuerpos.

La reacción de los poliisocianatos con poliésteres dan como resultado los poliuretanos, que son sustancias polares que proporcionan una gran adherencia entre multitud de superficies, siendo una sustancia flexible y fuerte. Aún así, al compararlos con la resina epoxi, los poliuretanos no son tan buenos para la unión de metales, estando muy indicados para uniones de madera por presentar menor fragilidad y una gran resistencia si los comparamos con otros como los adhesivos de urea. De ahí que en estos últimos años se desarrollen los adhesivos de isocianato como alternativa a los de Urea formaldehído.

10.2.2. Adhesivos termoplásticos.

10.2.2.1. Acetato de polivinilo.

La polimerización por adición de componentes orgánicos monocelulares que contienen un doble enlace de vinilo o etileno no saturado, dan como resultado los polímeros de vinilo. Atendiendo al campo de los adhesivos derivados de este polímero, encontramos:

- Ésteres de polivinilo.
- Ésteres.
- Acetales.
- Alcohol polivinílico.
- Poliestireno.
- Del primero de estos grupos de adhesivos (ésteres de polivinilo) surge un adhesivo muy importante en la industria y el trabajo de la madera: el acetato de polivinilo, conocido por las siglas P.V.A. La presentación de este producto generalmente es en dispersión acuosa

preparada por emulsión en agua y posterior polimerización por calentamiento con la ayuda de un catalizador, adquiriendo así un 50% de contenidos sólidos y un 50% de contenido líquido. Al ser una emulsión dispersa en agua, la aplicación prioritaria del P.V.A es sobre cuerpos porosos y absorbentes que intervienen en la eliminación por absorción del agua que no se elimina por evaporación.

Como característica a destacar, el acetato de polivinilo no es tóxico, además de ser neutro y no corrosivo, no emite olor, ni sabor y su color tras el curado es transparente, no afectándole la luz solar. Es bastante estable a temperaturas elevadas, siempre y cuando éstas no superen los 100° C, aunque al aumentarla a unos 200 ó 250° C, el adhesivo puede descomponerse.

A diferencia de otros adhesivos termoestables, el acetato de polivinilo (P.V.A) posee cierta flexibilidad que se mejora con aditivos tipo látex de caucho. Además, en comparación con los termoestables, soportan una resistencia a cizalladura igual que los adhesivos de urea y fenol. Los esfuerzos de impacto no le afectan a no ser que éstos sean repetitivos.

Podemos encontrar los adhesivos P.V.A comercializados de las siguientes maneras: en solución, hot-melt, polvos secos redispersables y en emulsión, siendo esta última la forma más conocida y comercializada (cola blanca o cola de carpintero) debido a su fácil aplicación y limpieza y sus prestaciones para la unión de un gran número de materiales porosos y fibrosos, tanto lignocelulósicos como otros que no los son: madera, papel, cartón, textiles, cuero, incluso cerámica y hormigón, etc.

En la siguiente tabla se muestra la relación de propiedades físicas del acetato de polivinilo:¹¹⁶

Densidad a 20° C	1,19 g/ml
Índice de refracción a 20° C	1,466
Absorción de agua	2%
Coeficiente térmico de la expansión lineal	8,6x10-5 por °C
Conductividad térmica	38x10-5
Calor específico	0,39 cal/g/°C
Momento dipolar químico (*)	1,85 unidades Debye
Resistencia dieléctrica a 30° C (**)	1.000 v/mil

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de F. Liesa y L. Bilurbina. (2009) Pág. 55.

(*) Medida de la intensidad de la fuerza de atracción entre dos átomos y usualmente se expresa en unidades Debye¹¹⁷, empleadas en física atómica y química.

(**) Se denomina material dieléctrico a aquel que no tiene la propiedad de conducir electricidad.

El acetato de polivinilo está especialmente indicado para la unión de piezas de madera o la formación de bloques macizos a partir de varias fracciones de tablero, como el embón, técnica empleada en la preparación de la madera para el trabajo en escultura. La rapidez de agarre del adhesivo al contacto con las superficies de unión es otra ventaja, siendo necesaria la fricción entre las piezas, resta ejercer presión sobre éstas y dejar el tiempo oportuno hasta el curado total.

¹¹⁶ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 55.

¹¹⁷ En honor al físico Peter Debye (1884-1966)

10.2.2.2 Adhesivos de poliamidas.

Pueden obtenerse dos clases principales de resinas de poliamidas para su uso como adhesivos y se pueden obtener:

- Por reacción de ácidos dicarboxílicos, con diaminas de dos grupos anímicos, que dan lugar al conocido nylon.
- Por reacción del ácido dilinoléico con diferentes diamidas o poliamidas: conocidas por el nombre de versamidas.

Estas poliamidas pueden encontrarse en estado sólido o líquido, bastante fluido, y tienen las siguientes características:

- Puntos de fusión bajos y exactos.
- En estado de fusión su viscosidad es baja.
- Gran resistencia a la humedad y a posibles ataques químicos.
- Buena adherencia sobre gran cantidad de superficies.
- Flexibilidad.
- Compatibilidad para ser utilizadas con otros tipos de resinas termoestables como la epoxi, fenólica, etc. Además, en estas mismas resinas, las poliamidas pueden diluirse.

Las poliamidas (versamidas) en estado líquido suelen encontrarse generalmente mezcladas con otros tipos de resinas (como hemos visto) para que actúen como endurecedores, pero al presentarse en estado sólido deben destinarse a su aplicación mediante fusión en caliente o en solución. Una de las aplicaciones más comunes es para el encuadernado y encolado de hojas de papel. Por el contrario, los nylones en forma sustituida¹¹⁸ no brindan la oportunidad de preparar adhesivos en solución puesto que no son solubles en disolventes orgánicos. Para ello, los nylones deben ser sustituidos o emplear

¹¹⁸ El término sustituido significa que la sustancia a la que se refiere ha sufrido modificaciones químicas o sustituciones por otros componentes. Así el nylon no sustituido no sufre dichas modificaciones.

determinados copolímeros que tienen la propiedad de ser solubles en determinados alcoholes, mezclados incluso con agua.

Recordando la primera de las características de las poliamidas, encontramos que éstas tienen un punto bajo y exacto de fusión. En el caso del nylon, para asegurar su adhesión a los cuerpos y obtener buenas uniones, deben alcanzar una temperatura mínima al ser aplicadas en multitud de superficies, entre las que destaca la madera.

10.2.2.3. Adhesivos de fusión en caliente: Acetatos de vinilo hot-melt.

Las características propias de las resinas termoplásticas ofrecen la oportunidad de utilizar adhesivos de fusión en caliente o los llamados hot-melt. El acetato de vinilo es un material termofusible que encontramos en estado sólido y mediante la aplicación de calor se funde para incrementar su humectación y unir las superficies de los cuerpos, volviendo a su estado sólido tras el proceso y enfriar. Además, para mejorar sus prestaciones, a estos adhesivos pueden añadirse plastificantes, extendedores, antioxidantes, etc. Entre los tipos de resinas termofusibles hot-melt, encontramos:

- Polietileno.
- Polipropileno.
- Poliamidas.
- Acetatos de polivinilo.
- Poliestireno.
- Polivinil acetales.

Comercializados en formatos de barras sólidas, cordones continuos o pastillas, además de aplicación en película por calor para agilizar procesos y costos.

10.2.2.4. Adhesivos vinílicos en base de neopreno.

Los éteres de polivinilo, son resinas obtenidas a partir del acetileno resultante de la destilación de fracciones del petróleo y un alcohol, siempre que estén en presencia de un alcoholate alcalino. La gran ventaja de estas resinas es su prestación a ser solubles en multitud de disolventes industriales como cetonas, hidrocarburos y cómo no, los éteres, etc.

Cuando se encuentran en disolución, estas resinas abren una gran variedad de adhesivos, entre los que podemos encontrar aquellos sensibles al contacto o presión, gracias a su magnífica adhesión y estabilidad. Este tipo de elastómeros derivados del caucho (del que deriva a su vez el neopreno) poseen elasticidad, por lo que los adhesivos derivados de estas resinas son utilizados en la industria del calzado para la adhesión de las suelas y multitud de uniones que requieran un pegado casi inmediato. Una de las principales características es su amplio campo de aplicación en materiales porosos como la madera, entre otros, además de la capacidad de aplicación y curado a temperatura ambiente.

11. FORMACIÓN DE LA UNIÓN.

En la actualidad se dispone de una gran variedad de adhesivos para la unión de infinidad de materiales, algunos de ellos específicos y otros universales y polivalentes. Pero en común a todos, para la obtención de resultados óptimos es necesario considerar algunos de los aspectos que en los siguientes puntos destacaremos.

11.1 ADHESIÓN – ADHERENCIA, COHESIÓN – COHERENCIA.

Se entiende por adhesión la acción de las fuerzas de unión que se oponen a las fuerzas de separación de las moléculas pertenecientes a los distintos cuerpos a unir. Así pues, la adherencia se define como la acción de las fuerzas

oponentes a la separación de diferentes cuerpos¹¹⁹ o como propiedad de unión de diferentes cuerpos o materiales, así como la resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno deslice sobre otro.¹²⁰ Esta fuerza de unión entre el sustrato y el adhesivo depende del contacto intermolecular de ambos materiales y del grado de humectación.

Al referirnos a cohesión, encontramos que se entiende por ser la capacidad de unión entre las moléculas de un mismo cuerpo o cuerpo homogéneo.¹²¹ La coherencia es una propiedad física caracterizada por la acción de fuerzas que se oponen a la separación de las moléculas de un cuerpo heterogéneo y es la fuerza que prevalece entre las moléculas del adhesivo como causa de los propios enlaces poliméricos.

Es importante conocer estos términos para no confundir de aquí en adelante adhesión y cohesión, que aunque ambas se refieran a la acción de mantener unidas las relaciones entre moléculas, se refieren a cuerpos distintos.

11.2. ENERGÍA SUPERFICIAL: HUMECTACIÓN.

Uno de los factores prioritarios para la correcta unión entre el adhesivo y el cuerpo a unir es el estado de la superficie de contacto físico entre ambas partes. La energía superficial nos da el estado de excitación de los electrones superficiales, para así encontrar que las superficies con baja energía superficial en las que los electrones están en reposo no son polares y aquellas superficies con alta energía, suelen por lo general, ser polares. La polaridad química está estrechamente ligada a la propiedad molecular de acuerdo a las cargas eléctricas, como las fuerzas intermoleculares de unión o de enlace.

¹¹⁹ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 15.

¹²⁰ Definición del Diccionario de la Lengua Española. RAE. 21 Edición.

¹²¹ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 15.

La humectación está estrechamente ligada a la energía superficial de los cuerpos y su polaridad, ya que para que exista una buena unión, los adhesivos deben mojar bien la superficie de los cuerpos, además éstos deben ser polares y permitir el enlace molecular y para ello, los adhesivos deben tener una energía superficial igual o inferior a la del sustrato para conseguir realmente la humectación. La siguiente tabla muestra la tensión superficial de algunos adhesivos industriales, suponiendo que la superficie de los cuerpos sea lisa y pulida.¹²²

ADHESIVO	YLV (dinas/cm) (*)
Resina fenólica	78
Adhesivo de Urea formaldehído	71
Adhesivo de Fenol/resorcina	48
Adhesivo de caseína	47
Resina exposi	47
Látex de poliacetato de vinilo	38
Adhesivo de nitrocelulosa	26

Tabla elaborada a partir de los datos obtenidos de F. Liesa y L. Bilurbina. (2009) Pág. 17.

(*)¹²³: En física, una dina (de símbolo dyn) es la unidad de fuerza en el Sistema CGS¹²⁴. Equivale a 10 μN , o lo que es lo mismo, la fuerza que, aplicada a una masa de un gramo, le comunica una aceleración de un centímetro en cada segundo cuadrado o gal. Es decir:

$$1 \text{ dyn} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2 = 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10 \mu\text{N}$$

Tradicionalmente, los dina/centímetro se han usado para medir tensiones superficiales.

¹²² Datos obtenidos de LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 17.

¹²³ Definición obtenida de la página web Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Dina_%28unidad_de_medida%29; el 20 de julio de 2011.

¹²⁴ El sistema cegesimal de unidades, también llamado sistema CGS, es un sistema de unidades basado en el centímetro, el gramo y el segundo. Obtenido de Wikipedia, el 20 de julio de 2011.

Las siglas YLV se emplean para referirse a la energía libre superficial / unidad de superficie de las interfases sólido-aire, sólido-líquido y líquido-aire, respectivamente.

11.3. ESTADO SUPERFICIAL.

La importancia del estado superficial de los cuerpos a unir es clave para proporcionar un buen área de unión, puesto que no es lo mismo una superficie lisa y pulida que otra más porosa o con valles y asperezas provocadas por agentes agresivos ácidos. Estas irregularidades en la superficie infieren en que a la hora de la aplicación del adhesivo, se creen bolsas de aire entre ambas partes. Adhesivo y cuerpo. Este factor se agrava si el adhesivo es poco humectante y muy viscoso, uniéndosele un tiempo corto de curado.

Sobre estas superficies irregulares o con exceso de capilaridad y porosidad, otro problema que encontramos en cuanto a la fluidez del adhesivo reside más en éste, que en la superficie del cuerpo. Empleando un adhesivo muy fluido corremos el riesgo de pérdida por capilaridad como ocurriría en un sistema de filtrado. Así pues, la elección del tipo y estado de viscosidad del adhesivo es realmente importante de acuerdo a la calidad de la superficie de unión, aunque la experiencia demuestra que para obtener una buena resistencia de la unión en determinadas ocasiones es aconsejable que la superficie de los cuerpos muestre ciertas asperezas y rugosidades.

No hay que olvidarse del estado de contaminación o suciedad de las superficies, puesto que determinadas sustancias como grasas, óxidos o vapor de agua interfieren en la correcta unión de materiales.

11.4. ESPESOR DEL ADHESIVO.

Al igual que el estado de humectación y fluidez del adhesivo, debemos considerar el espesor de capa de éste en el momento de ser aplicado. Una capa delgada y uniforme será más adecuada que una muy gruesa por las siguientes razones:¹²⁵

1. Cuanto mayor sea la cantidad de adhesivo, mayor es la probabilidad de presencia de burbujas de aire o elementos extraños que debiliten la unión.
2. El esfuerzo necesario para deformar una película delgada es superior al necesario para deformar una película de un mayor espesor.
3. Las tensiones internas que se originan en el proceso de unión están relacionadas con el espesor de la película de adhesivo aplicado.
4. La posibilidad de que el adhesivo fluya o se cristalice es mayor conforme el espesor aumenta.
5. La película adhesiva aplicada a los cuerpos a unir debe tener el espesor justo (delgadez) para solventar las posibles irregularidades que se encuentren en las superficies de unión y la capilaridad producida por poros, vasos y grietas.

11.5 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIÓN.

Para una correcta unión entre sustratos de madera han de seguirse una serie de pasos:

¹²⁵ LIESA, F y BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona. Pág. 19.

- Extendido del adhesivo: Aplicación del adhesivo sobre las superficies a unir de modo que cubra toda la superficie de la madera desde el momento de la aplicación hasta el fraguado. Para que el extendido esté realizado correctamente, después de introducirse el adhesivo entre los poros de la madera, debe quedar una superficie continua que permita enlazar con la otra superficie del sustrato.
- Espesor del adhesivo: En relación al espesor que debe obtenerse en la aplicación del adhesivo, lo conveniente es que sea el menor posible para obtener mejor resistencia tras el curado.
- Presión: En la unión de piezas, es necesario, tras aplicar la capa de adhesivo extendida y con el espesor adecuado, ejercer presión entre los sustratos con el fin de facilitar el contacto entre los grupos polares de madera y del adhesivo.
- Temperatura: En aquellos adhesivos y resinas que permiten la aplicación de calor, éste influye en el aumento de la velocidad de reacción de las moléculas facilitando así el contacto entre los grupos polares, acelerando el curado.
- Tiempo: Para finalizar con el proceso de unión de piezas o con el de fabricación de tableros de madera, es necesario el transcurso de tiempo, en donde se establecerán las reacciones químicas necesarias hasta el curado final.

11.6. PROCESO DE CURADO DE LOS ADHESIVOS.

Se entiende por proceso de curado a la maduración o fraguado del adhesivo aplicado hasta que se logra una película sólida y resistente a partir del adhesivo en estado líquido o semilíquido. Se pueden seguir varios pasos para conseguir un correcto curado del adhesivo:

- Eliminación del disolvente del adhesivo una vez unidas las partes. Puede conseguirse a través de la propia capilaridad de los poros (si los cuerpos tienen esta característica, que en el caso de la madera sí) o por exposición al aire para conseguir la evaporación del disolvente, lo que se llevaría bastante tiempo.
- Curado por calor. Este procedimiento de fusión en caliente del adhesivo con posterior enfriamiento y solidificación es un proceso de polimerización tridimensional. Una gran cantidad de estos adhesivos pueden curar a temperatura ambiente, un proceso lento que se acelera con la aplicación de calor para una inmediata obtención del producto industrial.
- Un tercer procedimiento para el curado de los adhesivos es la incorporación de catalizadores químicos que logran transformar en más reactivos los componentes del adhesivo. Aceptan, además la aplicación de calor como acelerante del proceso, siempre y cuando los materiales o cuerpos a unir sean estables a altas temperaturas.
- Curado a temperatura ambiente, especialmente indicado para procesos de unión que no requieran de inmediatez de curado o para el empleo de adhesivos anaeróbicos que eliminan el oxígeno del aire por presión de la junta de unión.

11.7. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA MADERA.

En la aplicación de adhesivos para la unión de maderas, es importante, ante todo, la correcta elección del tipo de adhesivo dependiendo del tipo o especie de madera, si es natural o el tipo de tablero derivado de la madera; además de la elección del tipo de unión a realizar.

Como dijimos, en el apartado en que se habla de las propiedades de la madera, una característica importante a considerar es la capacidad

higroscópica. Una madera de alto índice de humedad puede conducir a una excesiva absorción del adhesivo, sin embargo, una madera seca con un bajo índice de humedad provocará una mala humectación y penetración del adhesivo.

La composición de la madera consta de tres elementos principales que ya conocemos, pero a los que debemos atender en el momento de la preparación de la unión: celulosa, lignina y hemicelulosa. Además, los subcomponentes que conforman y proporcionan las cualidades químicas a la madera como los ácidos resínicos, térpenos, ceras, taninos y otras sustancias de oxidación y coloración , que se encuentran en la madera de forma natural o que pueden añadirse en la fabricación de tableros, pueden provocar problemas de humectación en la unión.

Ha de ser imprescindible, en todo caso, que las superficies a unir estén limpias o lijadas si el mecanizado de la madera en operaciones de fabricación o manipulación deja residuos que causen una mala humectación.

CAPÍTULO QUINTO

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL CON EL MATERIAL SOMETIDO A PRUEBAS DE LABORATORIO.

12. COMPARACIÓN DEL TABLERO DE FIBRAS MDF CON TREINTA Y CINCO DE LAS ESPECIES MÁS UTILIZADAS EN ESCULTURA.

Mostramos treinta y cinco especies de maderas (entre tantas) de frecuente uso en escultura. La elección de ellas se debe a la clasificación que hemos realizado en el capítulo 3º donde nos referimos a aquellas maderas de aplicación en escultura. Las fuentes a las que recurrimos son diversas páginas web sobre estudios, federaciones, asociaciones, confederaciones y comercializadores de madera y tableros derivados que proporcionan información técnica de los productos que comercializan. Estos medios de información web consultados aparecen detallados en el apartado bibliográfico de esta investigación. No obstante, las tablas que reflejan datos sobre propiedades físicas del MDF que hemos mostrado en el capítulo 4º son las que nos sirven para establecer la comparación entre la madera natural de uso frecuente en escultura y el tablero de fibras MDF.

Cada una de las especies se desglosa en una ficha técnica que se refiere a:


- Denominación.
- Procedencia.
- Descripción visual (macroscópica) de la madera.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.
- Propiedades frente a ataques biológicos.
- Trabajabilidad o mecanización.
- Aplicaciones o usos a los que se destinan.

Comparamos a su vez con las propiedades físicas, mecánicas, de sensibilidad ante ataques biológicos, trabajabilidad y aplicaciones a las que son destinadas de los tableros de fibras de MDF de uso estándar.

Debemos resaltar, que las características y propiedades que a continuación se detallan del tablero de fibras MDF son en relación a pruebas realizadas por investigadores de reconocido prestigio sobre tableros de 19 mm. de grosor que

se describen también en el apartado donde se analizan las características y propiedades de este material en nuestra investigación, dato a tener en cuenta en la comparación con la madera maciza y que queda remarcado en cada tabla con el símbolo (*).

Debemos anticipar antes de introducirnos en estas comparaciones y a modo aclaratorio, que de acuerdo a la tabla de clasificación de las maderas según su dureza que encontramos en la página 39 de nuestra investigación, las frondosas de 3,0 a 6,0 kp/mm² se las clasifica como semiduras. Serían duras cuando sus valores oscilan entre el 6,0 y el 9,0. Así pues, los tableros MDF de durezas entre 4 y 5 kp/mm², se clasifican como duros porque la madera de la que están hechos procede mayoritariamente de coníferas, y éstas, se consideran duras cuando sus valores rondan entre 4 y 20 kp/mm². Entonces bien, pretendemos que el lector no se confunda al comparar los valores, tanto de una especie de madera como los del tablero, al ver que en frondosas con elevados valores se clasifican en semiduras o blandas, cuando estos valores, incluso, pueden superar a los del tablero MDF que se clasifica como duras.

CONÍFERAS: ABETO ROJO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Picea abies Karst
	Común	Abeto rojo
	PROCEDENCIA	Norte de Europa
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca amarillenta
	Duramen	Amarillo rojizo
	Fibra	Recta
	Grano	Medio a fino
Defectos o anomalías característicos	Abundancia de nudos pequeños sanos y saltadizos	
	ABETO ROJO	T. FIBRAS MDF
PROPIEDADES FÍSICAS		
Densidad	0,45 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,44%	0,90%
Dureza	1,5 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	710 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	110.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	450 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al ataque.	Sensible al ataque

Insectos	Sensible al ataque.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido con riesgo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Bueno.	Bueno.
Clavado y atornillado	Tiende a rajar. Poca resistencia al arranque.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros.
Acabado final	Tintado desigual en la aplicación de barnices y tintes. En la aplicación de policromía es homogéneo.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES		
	Carpintería de armar y de interior. Chapas decorativas.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural.

	Instrumentos musicales. Envases y embalajes. Listones para bastidores. Escultura.	Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	--	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

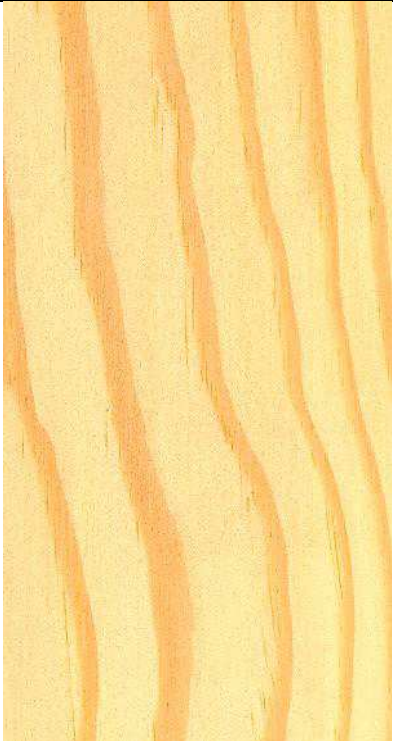
CONÍFERAS: CEDRO DEL PACÍFICO		
	DENOMINACIÓN	
	Científica	Thuya plicata D. Don
	Común	Cedro rojo del pacífico
	PROCEDENCIA	
	Costa oeste de América del norte	
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca
	Duramen	Entre rojizo y pardo
	Fibra	Recta
	Grano	Medio
	Defectos o anomalías característicos	Pequeños nudos
	PROPIEDADES FÍSICAS	
	CEDRO DEL PACÍFICO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,37 g/m ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,32% muy estable	0,90%
Dureza	1,3 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Resistencia a flexión	530 kg/cm ²	(*) 210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	80.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²

Resistencia a compresión	310 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Ofrece resistencia y durabilidad media	Sensible al ataque
Insectos	Resistencia media	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de atejado	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil	Fácil.
Encolado	Bueno	Bueno.
Clavado y atornillado	Fácil	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena recepción de tintes y barnices de forma homogénea	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa

		del soporte.
APLICACIONES	Carpintería, arquitectura revestimientos de exterior: pérgolas, etc. Construcción naval Envases y embalajes. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

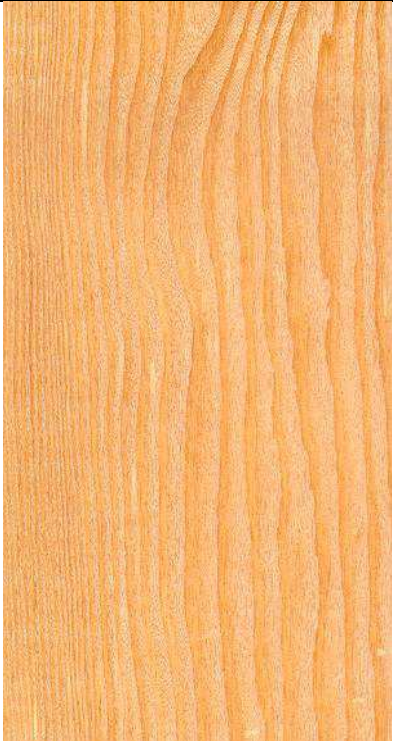
CONÍFERAS: PINO AMARILLO DEL SUR		
	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pinus taeda L.; P. elliotis Engelm, P. echinata Mill; P. palustris Mill.
	Común	Pino amarillo del sur; Pino melis; Pino movila; Pino tea.
	PROCEDENCIA	
	Sureste de Estados Unidos	
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillenta
	Duramen	Marrón rojizo
	Fibra	Recta, a veces ondulada
	Grano	
Defectos o anomalías característicos	Nudos, bolsas de resina, deformaciones.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
	PINO AMARILLO DEL SUR	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,51 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,41%	0,90%
Dureza	2,4 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)

PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	975 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	130.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	492 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensibilidad media	Sensible al ataque
Insectos	Sensible	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, con un exceso de resina	Fácil.
Secado	Rápido, con riego de aparición de pequeñas fendas y deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, con el riesgo de embotar la herramienta por el exceso de resina	Fácil.
Encolado	Problemático cuando aparece exceso de resina	Bueno.
Clavado y atornillado	Necesita pretaladros que sirvan de guía	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas

		de material si no hay pretaladros
Acabado final	Por la resina, es conveniente aplicar un fondo de imprimación que homogenice la madera.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	<p>Industria del mueble.</p> <p>Carpintería de armar: parques, puentes, embarcaderos.</p> <p>Revestimientos de interior y exterior.</p> <p>Chapas y tableros contrachapados.</p> <p>Escultura.</p>	<p>Industria del mueble.</p> <p>Decoración.</p> <p>Elemento estructural.</p> <p>Fabricación de bastidores y tableros para pintura.</p>

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; [http://www.anfta.es](http://www.anfta.es;); <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

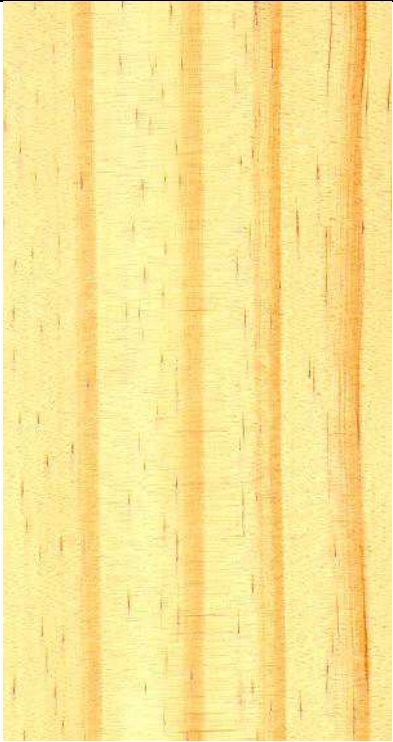
CONÍFERAS: PINO DE OREGÓN		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pseudotsuga menziessi Franco
	Común	Pino de Oregón; Abeto Douglas; Douglas
	PROCEDENCIA	Noroeste de América y Europa
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillo pálido
	Duramen	Marrón anaranjado
	Fibra	Recta
	Grano	Medio-grioso
Defectos característicos	Nudos adherentes gruesos	
PROPIEDADES FÍSICAS	PINO DE OREGÓN	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,53 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,41%	0,90%
Dureza	2,45 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	860 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	128 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	525 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	930 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible	Sensible al ataque
Insectos	Sensible	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil	Fácil.
Secado	Fácil con riesgo de aparición de pequeñas fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil	Fácil.
Encolado	Buen encolado	Bueno.
Clavado y atornillado	Buenas propiedades con alta resistencia al arranque de tornillos.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Apto para el tintado aunque conviene aplicar productos de imprimación para homogeneizar la madera.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Industria del mueble. Carpintería de armar. Revestimientos de interior y exterior. Fabricación de cerramientos. Chapas decorativas y tablero contrachapado. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
---------------------	--	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

CONÍFERAS: PINO INSIGNIS		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pinus radiata D. Don
	Común	Pino insignis o Pino monterrey
	PROCEDENCIA	Su área natural era el litoral de California y la zona suroeste de Sudamérica, aunque se ha extendido por todo el mundo. Se puede encontrar en Galicia, Cornisa Cantábrica y País Vasco
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca amarillenta
	Duramen	Pardo amarillento o marrón anaranjado
	Fibra	Recta
	Grano	Medio-basto
Defectos característicos	Nudos que por norma general son sanos y abundantes.	
PROPIEDADES FÍSICAS	PINO INSIGNIS	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,50 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,44%	0,90%
Dureza	2,15 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)

PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	874 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	90.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	434 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible	Sensible al ataque
Insectos	Sensible	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido con riesgo de aparición de pequeñas fendas	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil	Fácil.
Encolado	Bueno	Bueno.
Clavado y atornillado	Fácil con la ayuda de pretaladros	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Apto para la aplicación de tintes y barnices.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la

		preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Carpintería de armar de interior. Revestimientos de interior. Envases y embalajes. Fabricación de tableros contrachapados y alistonados. Fabricación de bastidores y tableros para pintura. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

CONÍFERAS: PINO LARICIO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pinus nigra Arn.
	Común	Pino laricio.
	PROCEDENCIA	Amplia área de distribución en toda Europa
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillenta
	Duramen	Rojo pálido
	Fibra	Recta
	Grano	Medio
Defectos característicos	Pequeños y medianos nudos algo abundantes, además de la formación de bolsas de resina.	
PROPIEDADES FÍSICAS	PINO LARICIO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,57 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,39%	0,90%
Dureza	2,35 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1169 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	96.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	456 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible	Sensible al ataque
Insectos	Sensible	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, pero los excesos de resina pueden embotar la herramienta.	Fácil.
Secado	Rápido con riesgo de aparición de fendas y exudaciones de resina.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil teniendo en cuenta las bolsas de resina.	Fácil.
Encolado	Problemático si hay exceso de resina.	Bueno.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de tintes y barnices, pero con problemas derivados del exceso de resina.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque

		se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Revestimientos de interior y exterior. Cerramientos. Carpintería de armar en interior y exterior. Elementos estructurales. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

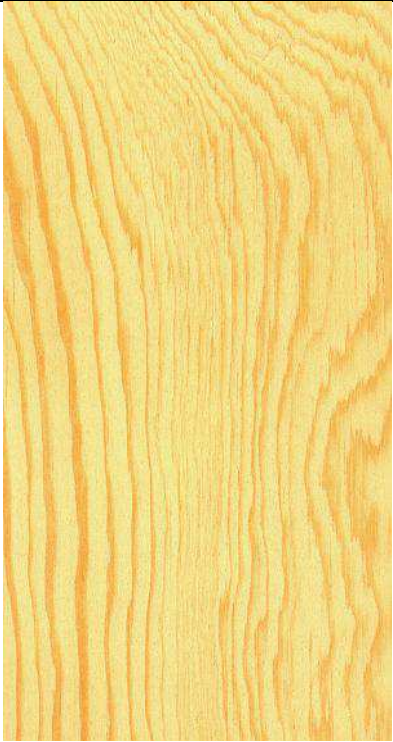
CONÍFERAS: PINO MARÍTIMO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pinus pinaster. Ait.
	Común	Pino marítimo.
	PROCEDENCIA	Amplia área de distribución en toda Europa y norte de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillenta.
	Duramen	Amarillo anaranjado.
	Fibra	Recta.
	Grano	Grueso a medio.
Defectos característicos	Abundancia de nudos de tamaño mediano y grande sanos y saltadizos. Bolsas de resina.	
PROPIEDADES FÍSICAS	PINO MARÍTIMO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,53 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,45%	0,90%
Dureza	2,45 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	795 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	74.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	400 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible	Sensible al ataque
Insectos	Sensible	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil salvo que se produzca embotamiento de la herramienta por el exceso de resina.	Fácil.
Secado	Rápido con riesgo de aparición de fendas y exudación de resina.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil con posibilidad de embotamiento de la herramienta por el exceso de resina.	Fácil.
Encolado	Problemático por la resina.	Bueno.
Clavado y atornillado	Bueno con la ayuda de pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros

Acabado final	Apto para la aplicación de tintes, barnices y pinturas, siendo conveniente aplicar productos que homogenicen la madera. Problemas con el exceso de resina.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Revestimientos de interior. Cerramientos. Fabricación de chapas decorativas y tableros contrachapados y alistonados. Elemento estructural. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


CONÍFERAS: PINO SILVESTRE / FLANDES		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pinus sylvestris L.
	Común	Pino silvestre; pino Valsain; pino rojo.
	PROCEDENCIA	Una gran parte de la extensión de Europa y Asia.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillo pálido.
	Duramen	Rojo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio a fino.
Defectos característicos	Nudos de varios tamaños, tanto sanos como saltadizos. Formación de bolsas de resina.	
PROPIEDADES FÍSICAS	PINO SILVESTRE	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,51 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,38%	0,90%
Dureza	1,9 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1057 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	94.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	406 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1020 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al ataque	Sensible al ataque
Insectos	Sensible al ataque	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido con la posible aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado si no interfiere el exceso de resina.	Bueno.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes, barnices y pinturas, con la debida preparación en el caso en que fuere necesario y de acuerdo con las bolsas de resina.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Industria del mueble. Revestimientos de interior y exterior. Cerramientos. Carpintería de armar de interior y exterior. Fabricación de chapas decorativas, tablero contrachapado. Fabricación de bastidores y tableros para pintura. Elemento estructural. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

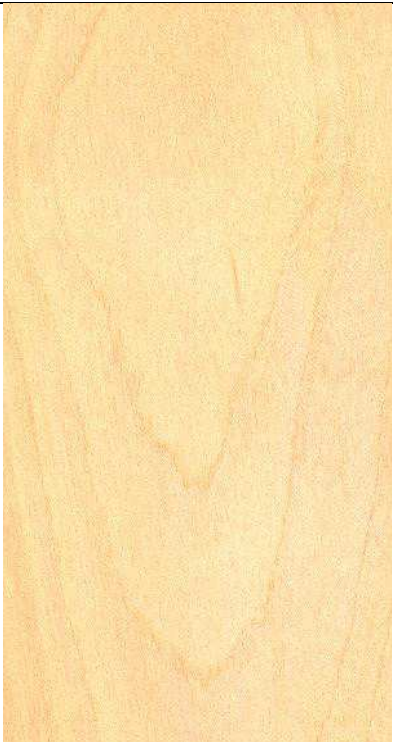
FRONDOSA: TILO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	<i>Tilia platyphyllos.</i>
	Común	Tilo. Tila europea.
	PROCEDENCIA	EE.UU, Europa y norte de España.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco.
	Duramen	Claro, marrón rojizo.
	Fibra	Recta y poco pronunciada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	Resistencias bajas a esfuerzos.	
PROPIEDADES FÍSICAS	TILO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,54 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	12,6 %	0,90%
Dureza	1,8 K p/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	600 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	102.500 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	340 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al	Sensible al ataque

	ataque.	
Insectos	Sensible al ataque.	Poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Bueno y rápido, con riesgo de torsión.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Bueno.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena recepción de tintes y barnices de forma homogénea.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Carpintería de interior, cerramientos, ebanistería,	Industria del mueble. Decoración. Elemento

	construcción de instrumentos musicales, torneado, talla y escultura.	estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	--	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS: ABEDUL		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Betula pendula Roth.; B. pubescens Ehrh.
	Común	Abedul.
	PROCEDENCIA	Europa, Oeste de Siberia, Este de Asia y Norte de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillento o anaranjado suave
	Duramen	Mimas características.
	Fibra	Recta y en ocasiones ondulada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	Pequeños nudos.	
PROPIEDADES FÍSICAS	ABEDUL	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,65 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,38%	0,90%
Dureza	3,1 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.548 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	170.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	526 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido sin apenas defectos.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Bueno, mejorado si se realizan pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Resultado irregular en la aplicación de tintes y barnices, pero con buen agarre.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Carpintería fina. Torneo y tallado. Revestimientos de interior. Chapas y tableros contrachapados. Soporte para pintura. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
---------------------	---	---

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

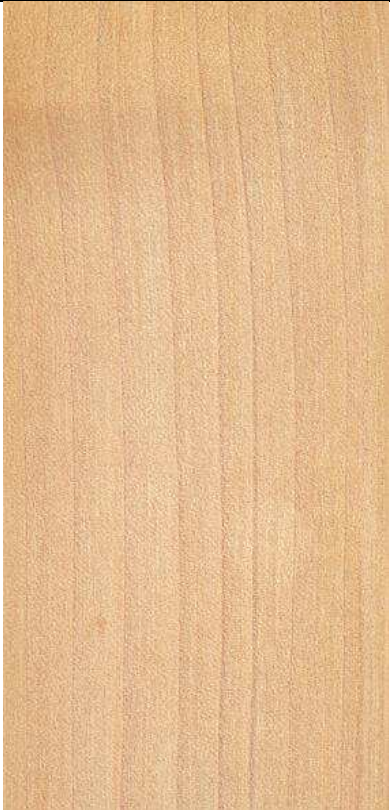
FRONDOSAS: ALISO ROJO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Alnus rubra Bong.
	Común	Aliso rojo; aliso americano; alder.
	PROCEDENCIA	Costa oeste de América del norte
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillento o marrón amarillento.
	Duramen	Igual.
	Fibra	Recta.
	Grano	Fino.
Defectos o anomalías característicos.	A priori no presenta defecto o anomalías debido a la homogeneidad de sus fibras.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
	ALISO ROJO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,45 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,41%	0,90%
Dureza	1,8 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	680 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	95.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	401 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido sin apenas defectos.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena admisión de tintes, barnices y pintura, recomendando en los casos necesarios, la preparación del soporte.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Carpintería fina de interior.	Industria del mueble.

	Torneo y tallado. Revestimientos de interior. Tableros contrachapados. Soporte para pintura. Escultura.	Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	---	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: ARCE EUROPEO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Acer pseudoplatanus L.
	Común	Arce europeo; sicomoro.
	PROCEDENCIA	Se encuentran en las zonas sur y centro de Europa, extendiéndose por el oeste de Asia. En España se encuentra en las cordilleras Cantábricas y Pirenaicas.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco o blanco amarillento.
	Duramen	Mismas características que albura tendiente al marrón.
	Fibra	Recta y a veces ondulada.
	Grano	Muy fino.
Defectos o anomalías característicos.	A priori no se definen anomalías.	
PROPIEDADES FÍSICAS	ARCE EUROPEO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,63 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,41%	0,90%
Dureza	4,7 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)

PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1100 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	105.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	540 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1150 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido pero con el riesgo a que cambie la coloración.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque

		se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Curvado, torneado y talla. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: CASTAÑO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Castanea sativa Mill.
	Común	Castaña.
	PROCEDENCIA	Prácticamente toda la geografía europea. En España suele encontrarse en la mitad norte y el centro de la península.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillenta.
	Duramen	Marrón asalmonado.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	Pequeños nudos y acebolladuras.	
PROPIEDADES FÍSICAS	CASTAÑO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,59 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,39%	0,90%
Dureza	2,5 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	710 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	100.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	460 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1280 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de aparición de fendas internas y externas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Al ser una madera ácida se corre el riesgo de reacción con colas alcalinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Necesidad de pretaladro.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Por su acidez, hay que tener muy en cuenta el producto a utilizar. Una preparación correcta puede derivar en	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa

	resultados favorables.	del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Revestimientos de interior y exterior. Cerramientos. Chapas decorativas. Tonelería. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: CEREZO AMERICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Prunus serotina Ehrth.
	Común	Cerezo americano; cerezo negro americano.
	PROCEDENCIA	Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Rosado blanquecino.
	Duramen	Marrón rojizo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	No presenta anomalías resaltables.	
PROPIEDADES FÍSICAS	CEREZO AMERICANO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,56 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,38%	0,90%
Dureza	3,2 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	850 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	103.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	490 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Presenta dificultades en el empleo de colas ácidas en caliente.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena recepción de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina.	Industria del

	Torneado y talla. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	---	---

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FONDOSAS: CEREZO EUROPEO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Prunus avium L.
	Común	Cerezo europeo.
	PROCEDENCIA	Toda le geografía europea, parte de Asia y costa norte de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Rosada.
	Duramen	Rosado a rojo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Muy fino.
Defectos característicos	Aparición de verdeado a consecuencia de ataques de hongos.	
PROPIEDADES FÍSICAS	CEREZO EUROPEO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,62 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,45%	0,90%
Dureza	4,3 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	980 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	102.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	490 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	980 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A		

ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensibles.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Secando lentamente se obtienen mejores resultados.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	El uso de colas ácidas en caliente no es recomendable.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Ebanistería fina. Torneado, talla y curvado. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
---------------------	---	---

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

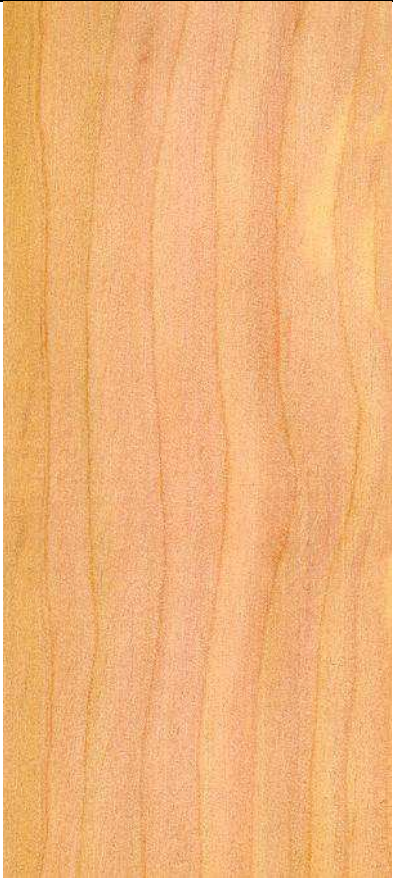
FRONDOSAS: HAYA		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Fagus sylvatica L.
	Común	Haya Europea
	PROCEDENCIA	Prácticamente toda la geografía europea a excepción de la mitad sur de España.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco anaranjado y rosáceo
	Duramen	Mismas características
	Fibra	Recta
	Grano	Fino
Defectos característicos	Puede presentar tensiones por el crecimiento y debido al ataque de microorganismos puede presentar rojeces en la médula.	
PROPIEDADES FÍSICAS	HAYA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,73 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,51%	0,90%
Dureza	4 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1100 kg/cm ²	210 kg/cm ²

Módulo de elasticidad	145.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	580 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1200 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al ataque	Sensible al ataque
Insectos	Sensible al ataque	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil	Fácil.
Secado	Proceso lento con riesgo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil	Fácil.
Encolado	Buen encolado	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Con facilidad	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes y barnizados con acabado homogéneo, además de pátinas y otras pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Industria del mueble. Ebanistería fina. Torneado, talla y curvado. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Tableros contrachapados. Soporte para pintura. Artículos deportivos. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

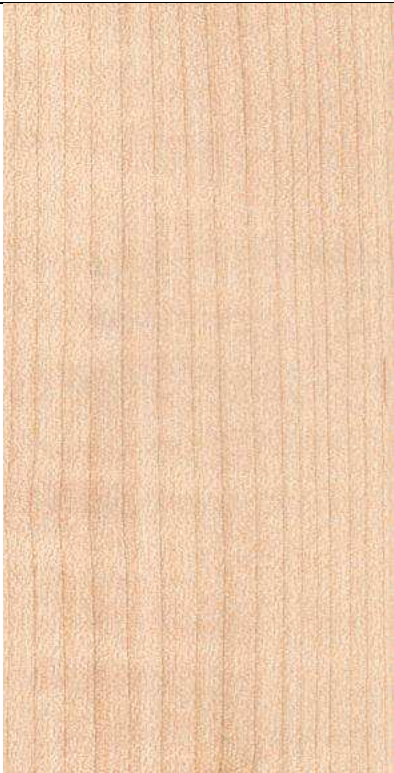
FRONDOSAS: LENGA		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Nocthofagus pumillo Kras.
	Común	Lenga o Cerezo de Chile.
	PROCEDENCIA	Chile
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca rosácea
	Duramen	Amarillo rosáceo
	Fibra	Recta
	Grano	Fino
Defectos característicos	No se advierten a priori.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
	LENGA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,54 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,42%	0,90%
Dureza	3,2 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	820 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	98.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	480 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al ataque.	Sensible al ataque

Insectos	Sensible al ataque.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Proceso lento.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Buen atornillado	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de diversos tintes, barnices, pátinas pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Ebanistería fina. Talla, curvado y torneado.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural.

	Revetimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	---	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: MAPLE BLANDO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Acer rubrum Marsh.
	Común	Maple blando o arce blando americano.
	PROCEDENCIA	Costa este y centro de Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca.
	Duramen	Rojizo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Fino.
Defectos característicos		
PROPIEDADES FÍSICAS		
	MAPLE BLANDO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,59 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,41 %	0,90%
Dureza	3,2 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	920 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	113.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	451 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de todo tipo de tintes, barnices, pátinas y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Carpintería fina. Torneado, curvado y talla. Revestimientos de	Industria del mueble. Decoración. Elemento

	interior. Chapas decorativas. Escultura.	estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	---	---

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales:
<http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>;
<http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

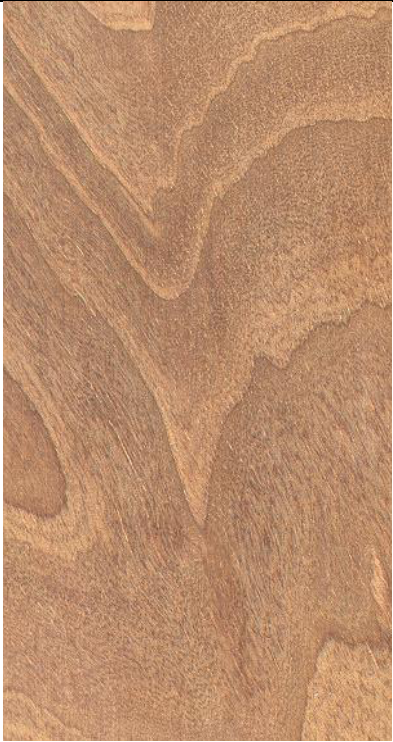
FRONDOSAS: MAPLE DURO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Acer saccharum Marsh.
	Común	Maple duro o arce duro americano.
	PROCEDENCIA	Costa este y centro de Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco rojizo.
	Duramen	Rojizo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Muy fino.
Defectos característicos	A priori no presenta defectos característicos.	
PROPIEDADES FÍSICAS	MAPLE DURO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,70 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,49 %	0,90%
Dureza	4,5 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.090 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	126.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	540 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, aunque debido a su densidad y dureza, necesita de maquinaria de potencia elevada.	Fácil.
Secado	Proceso lento.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, pero al igual que en el aserrado, se necesita algo más de potencia, lo que derivaría en un desgaste de las herramientas de desbaste y lijado y una aplicación mayor de energía.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil, aunque mejora con la realización de pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y

		provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena admisión de tintes, barnices, pátinas y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble y ebanistería fina. Torneado, curvado y talla. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: NOGAL EUROPEO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Junglas regia L.
	Común	Nogal europeo.
	PROCEDENCIA	Toda la geografía europea y parte de Asia.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Gris amarillento.
	Duramen	Grisáceo, con veteado oscuro.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	No presenta defectos o anomalías características.	
PROPIEDADES FÍSICAS	NOGAL EUROPEO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,65 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,34 %	0,90%
Dureza	3,8 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	970 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	113.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	590 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	970 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A		

ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible al ataque.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Presenta problemas con el uso de colas alcalinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes, barnices, pátinas y demás pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Carpintería fina. Torneado, curvado y talla. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales:
<http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>;
<http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS: NOGAL NEGRO AMERICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Junglans nigra L.
	Común	Cerezo negro americano.
	PROCEDENCIA	Costa este y centro de Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca amarillenta.
	Duramen	Rojo pardo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	No presenta.	
PROPIEDADES FÍSICAS	NOGAL NEGRO AMERICANO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,61 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,43%	0,90%
Dureza	3,6 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1010 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	116.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	523 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Lento.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Bueno.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Bueno.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de tintes, barnices, pátinas y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Carpintería fina. Revestimientos de interior. Curvado, torneado	Industria del mueble. Decoración. Elemento

	y talla. Chapas decorativas. Escultura.	estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	--	---

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales:
<http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>;
<http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS TROPICALES: EMBERO / NOGAL AFRICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Lovoa trichioides Harms.
	Común	Embero; Nogal africano.
	PROCEDENCIA	África central.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillento pardo.
	Duramen	Marrón grisáceo.
	Fibra	Recta y con frecuencia de fibra entrelazada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	No presenta.	
PROPIEDADES FÍSICAS	EMBERO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,54 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,40%	0,90%
Dureza	2,7 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	900 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	87.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	470 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	850 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque

MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Proceso rápido que puede provocar aparición de fendas y deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, salvo el repelo de las fibras como ocurre en aquellas maderas que tienen la fibra entrelazada.	Fácil.
Encolado	Fácil, aunque las colas alcalinas pueden provocar manchas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Es recomendable el uso de taladros previos.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena admisión de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Ebanistería fina. Torneado de la madera. Carpintería de interior y revestimientos. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS TROPICALES: UKOLA		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Tieghemella heckelii
	Común	Ukola; makoré; okola; douka.
	PROCEDENCIA	África Central.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Marrón anaranjado.
	Duramen	Rojizo grisáceo.
	Fibra	Recta y en ocasiones entrelazada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	Contenido en sílice que puede dañar las herramientas de corte.	
PROPIEDADES FÍSICAS	UKOLA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,61 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,40%	0,90%
Dureza	3,7 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.150 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	110.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	550 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, aunque el contenido en sílice pueda perjudicar.	Fácil.
Secado	Rápido.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, aunque repetimos que el contenido en sílice de esta madera puede dañar las herramientas.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes, barnices y pinturas, no resaltando la veta	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y

	en exceso.	pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble. Torneado y talla. Carpintería de interior y exterior. Revestimientos de interior y exterior. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

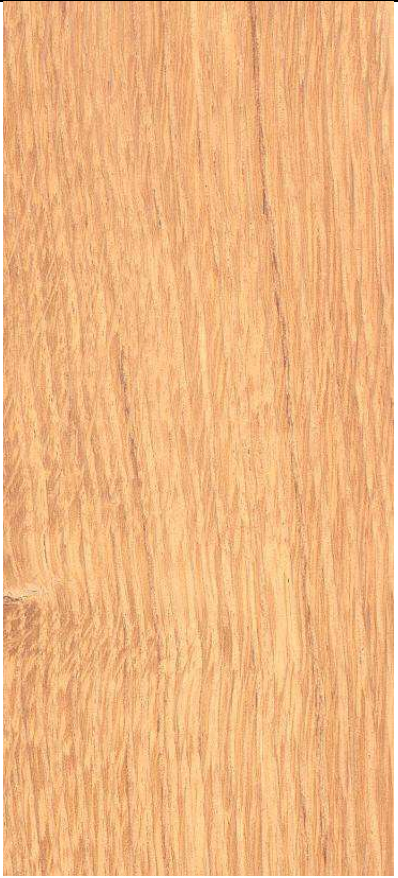
FRONDOSAS: ROBLE BLANCO AMERICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Quercus alba L.
	Común	Roble blanco americano.
	PROCEDENCIA	Costa este y centro de Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanco amarillento.
	Duramen	Marrón claro.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	No presenta.	
PROPIEDADES FÍSICAS	ROBLE BLANCO AMERICANO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,74 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,43%	0,90%
Dureza	5,1 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1050 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	123.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	513 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de alabeo.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, teniendo en cuenta las propiedades físicas de esta especie.	Fácil.
Encolado	Presenta problemas con las colas ácidas y alcalinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil-	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena aceptación de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y

		pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble de interior y exterior. Revestimientos de interior y exterior. Chapas decorativas. Tableros alistonados. Fabricación de toneles. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: ROBLE EUROPEO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Quercus robur L.; Q. petraea (Matts) Liebl.
	Común	Roble europeo.
	PROCEDENCIA	Toda Europa y parte de Asia.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillenta.
	Duramen	Marrón amarillento.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio
Defectos característicos	Se pueden encontrar pequeños nudos que apenas afectan.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
	ROBLE EUROPEO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,77 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,48%	0,90%
Dureza	5,8 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.070 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	115.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	580 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1.070 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, teniendo en cuenta la resistencia que ofrece su dureza y densidad y la necesidad de emplear maquinaria potente.	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, al igual que en el aserrado, se debe tener en cuenta las características físicas de la madera.	Fácil.
Encolado	Presenta problemas con colas ácidas y alcalinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil, a pesar de	Fácil, aunque en

	su dureza.	ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de tintes, barnices y pinturas que estén exentas de productos ácidos, ya que puede producir una reacción.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	<p>Industria del mueble de interior y exterior.</p> <p>Revestimientos de interior y exterior.</p> <p>Carpintería de armar.</p> <p>Chapas decorativas.</p> <p>Tablero alistonado.</p> <p>Fabricación de toneles.</p> <p>Escultura.</p>	<p>Industria del mueble.</p> <p>Decoración.</p> <p>Elemento estructural.</p> <p>Fabricación de bastidores y tableros para pintura.</p>

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS: ROBLE ROJO AMERICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Quercus rubra L.
	Común	Roble Rojo americano.
	PROCEDENCIA	Costa este y centro de Norteamérica.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillenta.
	Duramen	Rojizo.
	Fibra	Recta.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	No presenta en principio.	
PROPIEDADES FÍSICAS	ROBLE ROJO AMERICANO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,71 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,44 %	0,90%
Dureza	4,8 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	960 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	113.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	450 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1.600 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, como en el caso anterior, atendiendo a las características físicas de la madera.	Fácil.
Secado	Proceso lento.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, teniendo en cuenta las propiedades físicas de la madera.	Fácil.
Encolado	Presenta problemas con colas ácidas y alcalinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil, a excepción de su dureza.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena aceptación	Tintado

	de tintes, barnices y pinturas.	homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble y carpintería fina. Revestimientos de interior. Chapas decorativas. Fabricación de tableros alistonados. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS: OLMO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Ulmus glabra Huds.
	Común	Olmo de montaña; Olmo silvestre; Olmo montano.
	PROCEDENCIA	Gran parte de Europa Central y de Asia.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Marrón claro.
	Duramen	Rojizo grisáceo.
	Fibra	Recta/inclinada y a veces entrelazada.
	Grano	Medio.
Defectos característicos		
PROPIEDADES FÍSICAS	OLMO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,64 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,48%	0,90%
Dureza	5,3 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.145 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	108.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	408 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Difícil por su dureza, tendiendo a pinzar las sierras.	Fácil.
Secado	Rápido, aunque corre el riesgo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil si se realizan pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena recepción de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.

APLICACIONES	Industria del mueble. Carpintería de armar en ambientes húmedos. Torneado y curvado. Fabricación de tableros. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS TROPICALES: BOSSÉ		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Guarea cedrata Pellegr.
	Común	Bossé.
	PROCEDENCIA	Centro, costa oeste y zona este de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Marrón pálido.
	Duramen	Marrón rosado.
	Fibra	Recta y puede que entrelazada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	Exudación de resina con frecuencia.	
PROPIEDADES FÍSICAS	BOSSÉ	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,6 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,43%	0,90%
Dureza	3,6 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.100 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	109.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	510 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, pero como en el caso de la madera anterior, el contenido de sílice de esta madera puede dañar las hojas de las sierras.	Fácil.
Secado	Rápido, con riesgo de aparición de fendas y deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, a tener en cuenta el contenido en sílice y la exudación de resina que puede embotar la herramienta.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y

		provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de barnices, tintes y pinturas, teniendo en cuenta la exudación de resina.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte. Homogéneo en la aplicación de pátinas.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Torneado. Revestimientos de interior. Carpintería de exterior e interior. Fabricación de chapas decorativas y tableros contrachapados. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS TROPICALES: BUBINGA		
APARIENCIA 	DENOMINACIÓN	
	Científica	Guibourtia spp.
	Común	Bubinga.
	PROCEDENCIA	África central.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca rojiza.
	Duramen	Pardo rojizo.
	Fibra	Recta y en ocasiones algo entrelazada.
Grano	Fino.	
Defectos característicos	No presenta en principio.	
PROPIEDADES FÍSICAS	BUBINGA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,91 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,47%	0,90%
Dureza	8,4 Kp/mm ² (madera dura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.560 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	171.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	720 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque

MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, pero al igual que el resto de maderas duras, necesita de maquinaria de alta potencia.	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Algo costoso debido a las propiedades físicas de esta especie, que además, por su fibra entrelazada, puede causar separación y levantamiento de fibras (repelo)	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil siempre y cuando se realicen pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite todo tipo	Tintado

	de tintes, barnices y pinturas.	homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Curvado y torneado de la madera. Carpintería de interior y exterior. Chapas decorativas.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

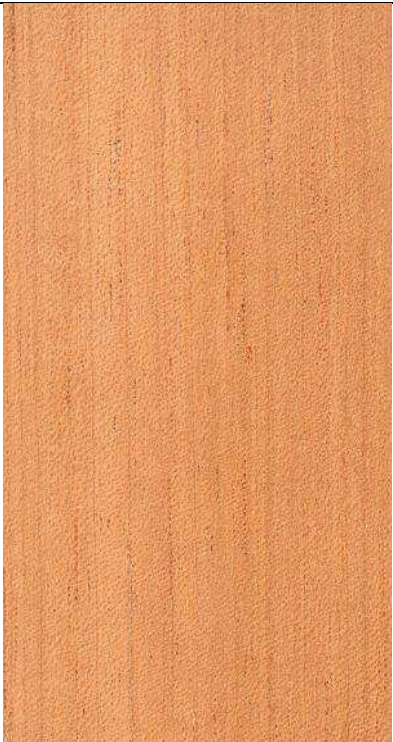
FRONDOSAS TROPICALES: CAOBA		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Sweietenia macrophylla King.
	Común	Caoba.
	PROCEDENCIA	América central, del sur y caribe.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca amarillenta.
	Duramen	Marrón rosado.
	Fibra	Recta y algo entrelazada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	No presenta.	
PROPIEDADES FÍSICAS	CAOBA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,57 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,22%	0,90%
Dureza	2,7 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	830 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	89.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	450 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque

Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Rápido con alguna posibilidad de deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite tintes, pinturas y barnices, siempre y cuando éstos últimos no sean de poliéster.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Industria del mueble. Torneado, tallado y curvado de	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural.

	madera. Carpintería de interior y exterior. Chapas decorativas. Fabricación de tableros contrachapados. Construcción naval. Escultura.	Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	---	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS TROPICALES: CEDRO AMERICANO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Cedrela odorata L.
	Común	Cedro americano; Cedro tropical.
	PROCEDENCIA	América central y tropical.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca rosada.
	Duramen	Marrón rosado y rojizo.
	Fibra	Recta y en ocasiones algo entrelazada.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	Exudación de resina.	
PROPIEDADES FÍSICAS	CEDRO AMERICANO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,49 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,34%	0,90%
Dureza	2,0 Kp/mm ² (madera blanda)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	753 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	90.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	415 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Lento, con riesgo de aparición de fendas y otras deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, pero como ocurre en maderas de otras especies de frondosas tropicales, se corre el riesgo de repelo de sus fibras.	Fácil.
Encolado	Buen encolado, excepto si hay exudación de resinas.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros

Acabado final	Admite tintes, barnices, pinturas y policromía preparando debidamente las superficies de la madera. Al existir riesgo de exudación de resinas, conviene limpiarlas con disolventes orgánicos si fuese necesario.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Talla. Carpintería de interior y exterior. Chapas decorativas. Fabricación de tableros contrachapados. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS TROPICALES: IROKO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Clorophora excelsa Benth.&Hooff.
	Común	Iroko; teca africana.
	PROCEDENCIA	África central.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Amarillenta.
	Duramen	Marrón amarillento que con la luz se torna rojizo.
	Fibra	Recta y ligeramente entrelazada.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	No presenta en principio.	
PROPIEDADES FÍSICAS	IROKO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,65 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,36%	0,90%
Dureza	3,9 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	955 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	105.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	540 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	800 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil, pero pueden formarse depósitos calcáreos que erosionen la herramienta.	Fácil.
Secado	Proceso lento, con riesgo de aparición de fendas y deformaciones.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil a excepción de ser una madera abrasiva que deteriore la herramienta. Puede producirse repelos.	Fácil.
Encolado	Buen encolado, pero las colas de caseína no son aconsejables.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión

		entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admite barnices, tintes y pinturas que no sean oxidantes o de poliuretano ya que los taninos pueden interferir en el secado.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Mobiliario de exterior tipo parques públicos y jardines. Carpintería de interior, exterior y de armar. Fabricación de chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS TROPICALES: PALO ROJO / ROSA		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Pterocarpus buettneri Taub.; P.Tinctorious Welw.
	Común	Palo rojo; Paduk de África.
	PROCEDENCIA	Costa oeste y centro de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanquecina.
	Duramen	Rojo con alta intensidad que se torna pardo por la acción de la luz.
	Fibra	Recta y ligeramente entrelazada.
	Grano	Medio.
Defectos característicos	Formación de depósitos blancos.	
PROPIEDADES FÍSICAS	PALO ROJO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,74 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,36%	0,90%
Dureza	6,9 Kp/mm ² (madera dura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.450 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	124.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²

Resistencia a compresión	650 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Difícil por su dureza y por ser abrasiva con las herramientas.	Fácil.
Secado	Proceso lento que produce aparición de pequeñas fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Difícil por sus características físicas y por el repelo que se produzca.	Fácil.
Encolado	Fácil, aunque puede verse afectado por los depósitos blancos y el exceso de aceites.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Es necesario realzarle pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y

		provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Admisión de tintes, barnices y pinturas siempre y cuando la exudación de aceites.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Ebanistería fina. Carpintería de interior, exterior y de armar. Chapas decorativas. Industria del mueble. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).


FRONDOSAS TROPICALES: SIPO		
APARIENCIA	DENOMINACIÓN	
	Científica	Entadrophagma utile Sprague.
	Común	Sipo; Assié.
	PROCEDENCIA	Centro-sur de África.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca rosácea.
	Duramen	Rojizo algo violáceo.
	Fibra	Recta y ligeramente entrelazada.
	Grano	Fino.
Defectos característicos	No presenta.	
PROPIEDADES FÍSICAS	SIPO	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,61 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,40%	0,90%
Dureza	3,7 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.150 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	110.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	550 kg/cm ²	125 kg/cm ²
Resistencia a tracción	1.050 kg/cm ²	125 kg/cm ²
PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		

Hongos	Poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Poco sensible.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil.	Fácil.
Secado	Proceso rápido.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, a pesar de la aparición de repelo.	Fácil.
Encolado	Buen encolado.	Buen encolado.
Clavado y atornillado	Fácil.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Buena admisión de tintes, barnices y pinturas.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble.	Industria del mueble.

	Ebanistería fina. Torneado. Revestimientos de interior. Carpintería de exterior. Chapas decorativas. Escultura.	Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.
--	--	--

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es/>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

FRONDOSAS TROPICALES: TECA		
	DENOMINACIÓN	
	Científica	Tectona grandis L. F.
	Común	Teca.
	PROCEDENCIA	América tropical y sudeste asiático.
	DESCRIPCIÓN DE LA MADERA	
	Albura	Blanca amarillenta.
	Duramen	Marrón amarillento grisáceo con veteado oscuro.
	Fibra	Recta.
Grano	Medio.	
Defectos característicos	Madera que desprende gran cantidad de aceite protector, con depósitos de cal y sílice.	
PROPIEDADES FÍSICAS	TECA	T. FIBRAS MDF
Densidad	0,69 g/cm ³	0,70 g/cm ³
Estabilidad dimensional	0,33%	0,90%
Dureza	4,1 Kp/mm ² (madera semidura)	4 a 5 Kp/mm ² (madera dura)
PROPIEDADES MECÁNICAS		(*)
Resistencia a flexión	1.020 kg/cm ²	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	110.000 kg/cm ²	30.000 kg/cm ²
Resistencia a compresión	630 kg/cm ²	125 kg/cm ²

PROPIEDADES FRENTE A ATAQUES BIOLÓGICOS		
Hongos	Muy poco sensible.	Sensible al ataque
Insectos	Muy poco sensible. El aceite que segrega sirve como protector frente a ataques biológicos.	Muy poco sensible al ataque
MECANIZACIÓN / TRABAJABILIDAD		
Aserrado	Fácil salvo que su contenido en sílice provoca un desgaste de la herramienta.	Fácil.
Secado	Proceso lento que provoca un riesgo mínimo de aparición de fendas.	No es necesario puesto que está seco antes de salir al mercado.
Cepillado, desbaste y lijado	Fácil, teniendo en cuenta la abrasividad del sílice.	Fácil.
Encolado	Las resinas oleosas que exuda hacen que se comporte mal en el encolado, sobre todo con	Buen encolado.

	adhesivos alcalinos.	
Clavado y atornillado	Fácil con el empleo de pretaladros.	Fácil, aunque en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pretaladros
Acabado final	Como en el caso del encolado, la exudación de aceites condiciona el dotar de un acabado caprichoso a esta madera.	Tintado homogéneo en la aplicación de barnices, tintes y pinturas, aunque se recomienda la preparación previa del soporte.
APLICACIONES	Industria del mueble, sobre todo de exterior. Ebanistería fina. Curvado y torneado. Recubrimientos de interior y exterior. Construcción naval. Chapas decorativas. Escultura.	Industria del mueble. Decoración. Elemento estructural. Fabricación de bastidores y tableros para pintura.

(*) Sobre un espesor de tablero de 19 mm.

Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las páginas web oficiales: <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>; <http://www.aidima.es/>; <http://www.feim.org/>; <http://www.anfta.es>; <http://www.confemadera.es/>; <http://www.europanel.org/>; <http://www.polanco.net>, además de los estudios realizados por los autores F. Peraza, F. Arriaga y E. Peraza (2004) y S. Vignote e I. Martínez (2006).

Aunque en un inicio alguna de las maderas que se han enumerado parezcan no estar indicadas para emplearse en escultura, si observamos sus características y alguna de sus aplicaciones como la talla, torneado, curvado, desbaste y cepillado, podemos asegurar (y los autores que citamos así lo hacen) la aplicación en escultura como otro de los usos de dichas maderas, por poder amoldarse perfectamente a las condiciones que se requieren. Estas maderas son aptas para el trabajo de la escultura, con el inconveniente mayor de algunas en su dureza y aquellas erosiones que puedan provocarse en las herramientas en los procesos de trabajo.

La comparación una a una de dichas especies nos hace resaltar la conclusión de que a pesar de estar constituidos por madera proveniente, en su mayoría, de coníferas, las características que podemos observar en los tableros de fibras MDF, en cuanto a propiedades físicas y mecánicas, homogeneidad de sus fibras y condiciones de trabajo que se muestran en las tablas, hacen que las propiedades de estos tableros se asemejen más a las especies de frondosas que a las coníferas.

La resistencia a tracción y compresión del tablero MDF que se aprecia en las tablas de comparación de las maderas, es idéntica (125 kg/cm^2) debido a que la distancia de las fibras, tanto en el centro del tablero como en los cantos es la misma. Así pues, los esfuerzos de empuje que comprimen y separan las fibras han de ser iguales, ya que es un material isótropo, al contrario que la madera natural que presentan cifras en dichas resistencias muy diferentes de acuerdo a la disposición de sus fibras y la dirección de los empujes.

13. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL SOMETIDO A PRUEBAS.

Para realizar un estudio más a fondo sobre las propiedades y el comportamiento del material, someteremos a pruebas y comparación de resultados obtenidos a diferentes probetas y embones de tableros de fibras MDF (de modo comparativo) y otras probetas de madera natural de haya, cedro, tilo y pino (Figura 11), por ser éstas últimas algunas de las maderas más utilizadas en escultura según las referencias de los autores que citamos en el capítulo 3º de nuestra investigación. Es importante conocer la reacción del MDF ante los test que se someterán, porque de ello dependerá el comportamiento que finalmente tendrá en el proceso de realización de la escultura, así como en su posterior conservación y durabilidad.



Figura 11. Imagen de elaboración propia (2012). Probetas.

13.1. TEST ACELERADO DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD.

Aún definiendo la normativa actual UNE-EN 317¹²⁶ la determinación de las dimensiones de las probetas a 50x50 mm para ensayos de hinchazón por absorción de humedad que sustituyó a la normativa UNE 56.713, la cual definía el tamaño de las probetas de 100x100 mm., hemos adoptado para nuestros test el segundo tamaño de 100x100x30 para cada una de las probetas de las diferentes maderas y así normalizar el estudio y los resultados. El objetivo de

¹²⁶Norma UNE-EN 317: Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua.

de los test es la demostración empírica del comportamiento del MDF ante condiciones ambientales adversas a fin de determinar las mejores condiciones de trabajo en escultura y su posterior conservación, comparándolo con otras probetas de especies de madera natural. No obstante y según se refleja en el artículo *Influencia del tamaño de la probeta en las propiedades de flexión e hinchazón de los tableros derivados de la madera*¹²⁷ escrito por Rune Zeithén y traducido por Gonzalo Medina, la diferencia de hinchazón entre probetas de 50x50 y 100x100 es prácticamente imperceptible. En el caso de las primeras, la absorción es ligeramente mayor durante el mismo tiempo de inmersión que en el caso de las segunda, lógico teniendo en cuenta que el volumen se duplica y por tanto es necesario más tiempo para alcanzar el mismo nivel de absorción de humedad que en el caso de la probeta menor.

13.1.1. Probeta de MDF.

Características de la probeta de MDF en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometida al test acelerado de absorción de humedad:

	Dimensiones / mm	Peso / gr
MDF	100 x 100 x 30	201

¹²⁷ ZIETHÉN, R. (1993) *Influencia del tamaño de la probeta en las propiedades de flexión e hinchazón de los tableros derivados de la madera*. Trad. Gonzalo Medina. AITIM nº 166. Madrid.



PROBETA MDF	
DIMENSIONES	
	
100 x 100 mm.	30 mm. de grosor.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas de la probeta.

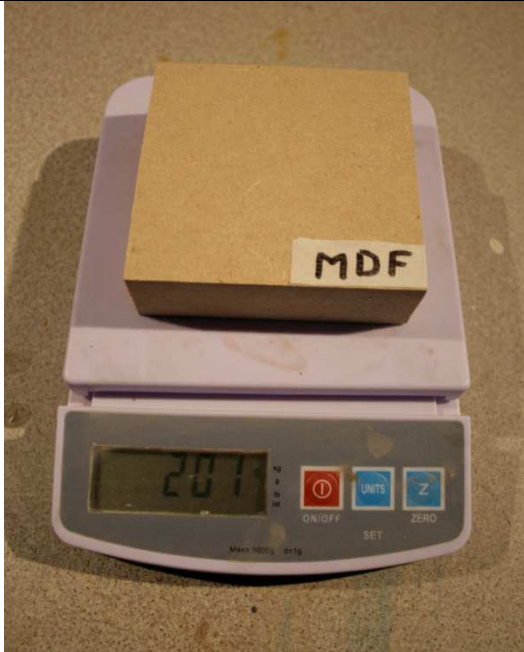
PROBETA MDF
PESO

201 gr.

Imagen de elaboración propia. Peso de la probeta.

Test acelerado de absorción de humedad:

El proceso consiste en sumergir la probeta en un recipiente con agua y comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones por la hinchazón. El cálculo de la hinchazón en espesor de la probeta, G_t , expresado en % se realiza mediante la siguiente fórmula:¹²⁸

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

t_1 = espesor en mm de la probeta antes de inmersión en agua.

t_2 = espesor en mm de la probeta después de inmersión en agua.

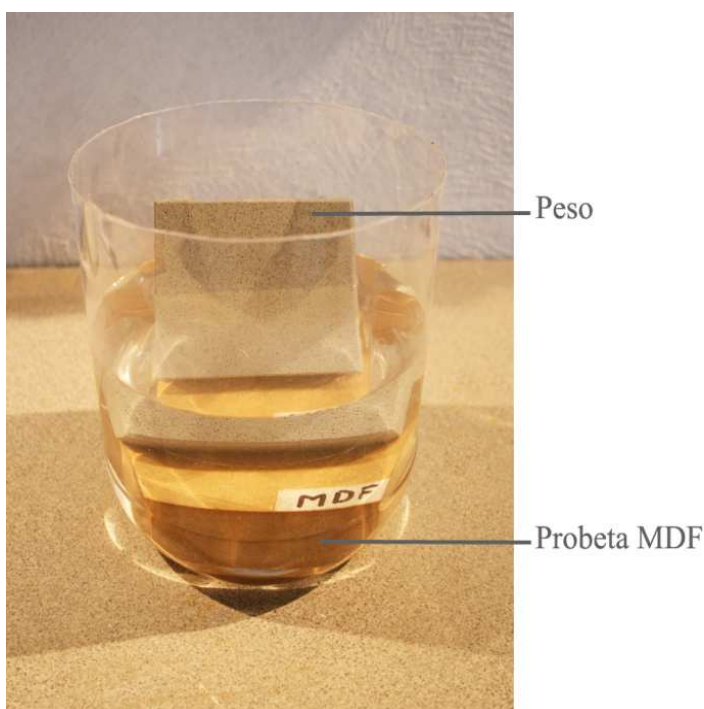


Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total de la probeta.

¹²⁸ Norma UNE-EN 317:1994 Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA MDF			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 30	201	0%
1 ^a	100 x 100 x 31	212	3,33%
2 ^a	100 x 100 x 31	219	3,33%
3 ^a	100 x 100 x 31	232	3,33%
4 ^a	100 x 100 x 32	247	6,66%
5 ^a	100 x 100 x 32	253	6,66%

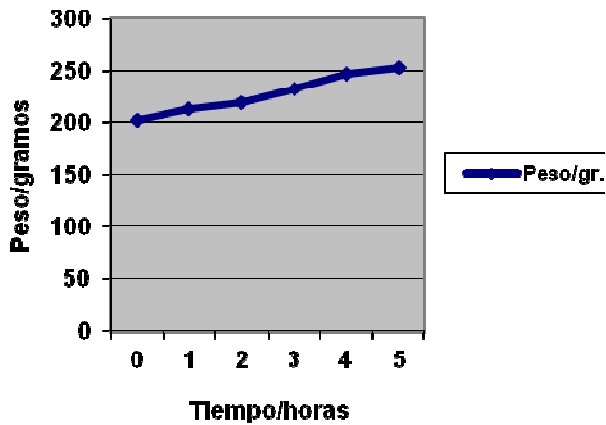
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, la probeta ha variado sus dimensiones en 2mm. en su grosor (6,66%) además de incrementar su peso en 52 gramos (25,8%). No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

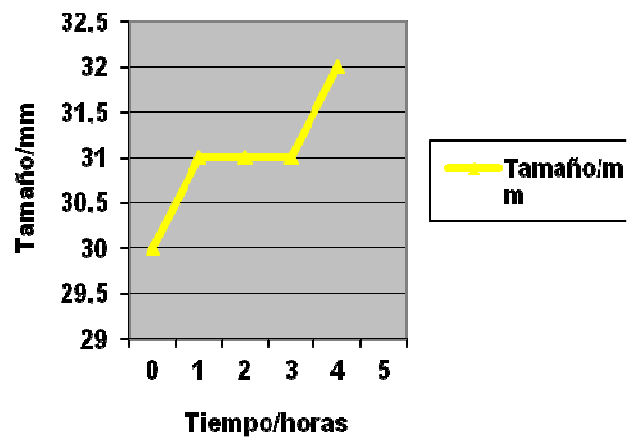
Gráficas de variables:

PROBETA MDF

VARIABLE DE PESO



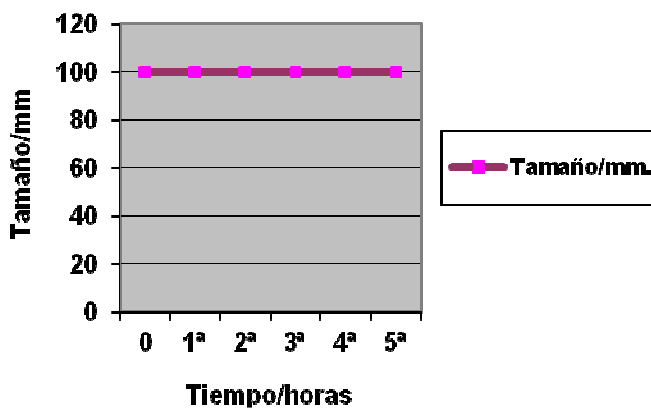
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



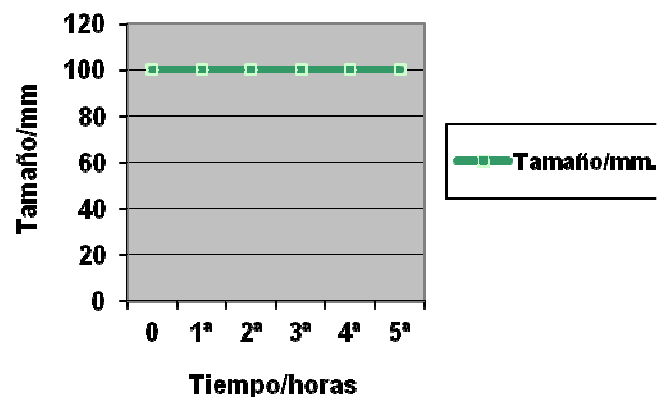
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO (*)



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO (**)



Gráficas de elaboración propia.

(*) Variable de tamaño/ancho referida a la dirección perpendicular a la fibra de cada probeta. No en el caso del MDF por carecer de dirección de fibras.

(**) Variable de tamaño/largo referida a la dirección paralela a la fibra de laca probeta. No en el caso del MDF por carecer de dirección de fibras.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

PROBETA MDF			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 32	253	6,66%
10 ^a	100 x 100 x 34	294	13,3%
15 ^a	100 x 100 x 35	331	2,94%
20 ^a	100 x 100 x 35	346	16,6%
25 ^a	100 x 101 x 36	352	20%
30 ^a	100 x 101 x 36	354	20%

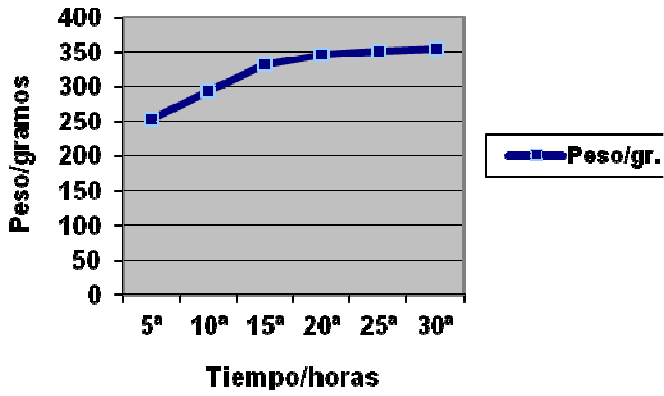
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo la probeta durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 101 gr. (76,1%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión. De igual forma, incrementa su tamaño en 4 mm. (20%) de grosor en los extremos de los cantos de la probeta, en una relación de 1 mm. cada 10 horas, y 1 mm. en su anchura.

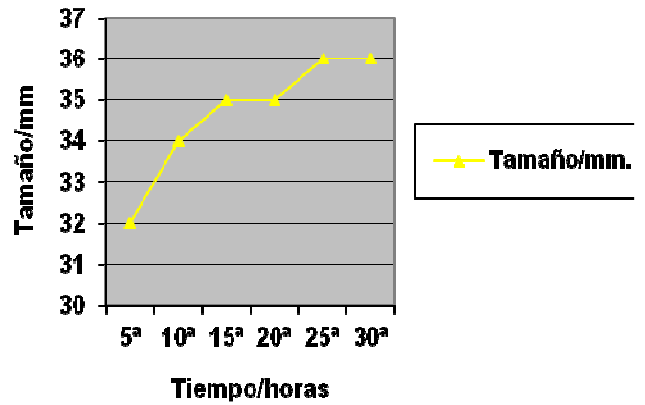
Gráficas de variables:

PROBETA MDF

VARIABLE DE PESO



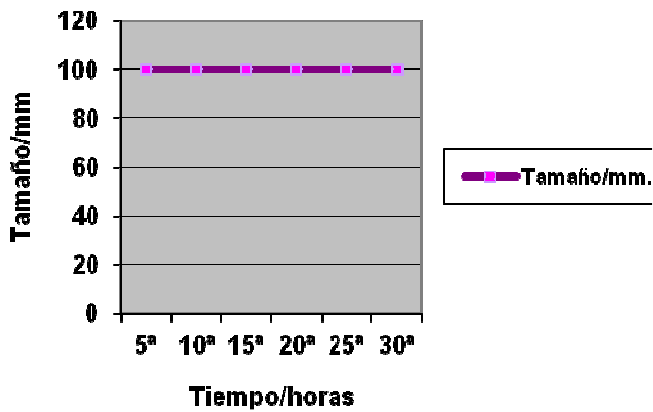
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



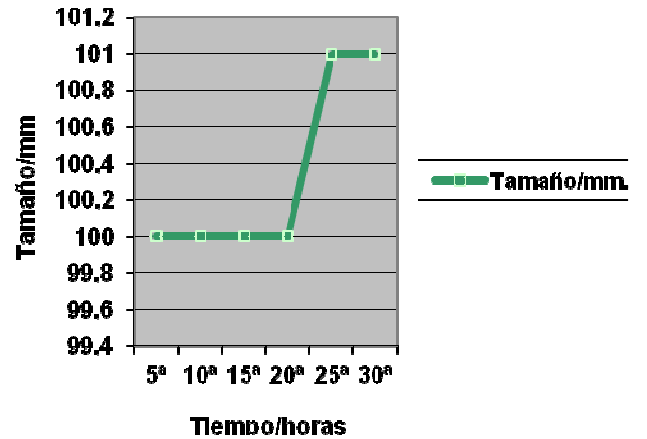
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.1.2. Probeta de madera de haya.

Características de la probeta de madera de haya en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometida al test acelerado de absorción de humedad:

HAYA	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 30	184


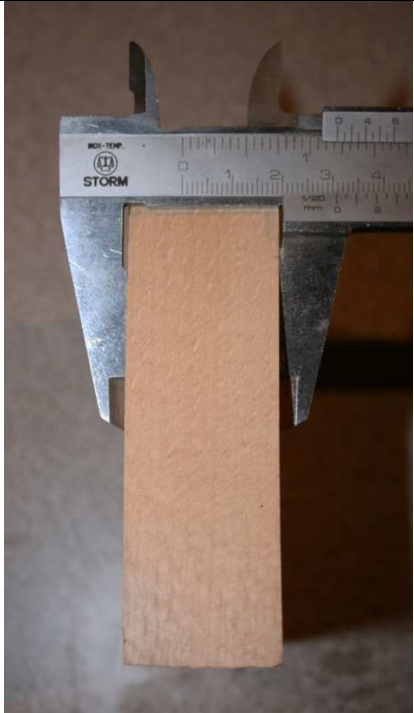
PROBETA HAYA	
DIMENSIONES	
	
100 x 100 mm.	30 mm. de grosor.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas de la probeta.

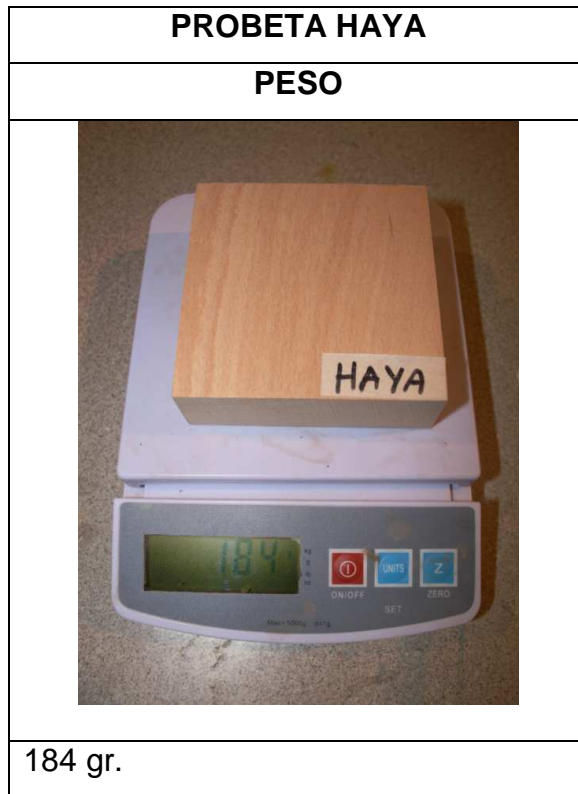


Imagen de elaboración propia (2012). Peso de la probeta.

Test acelerado de absorción de humedad:

El proceso consiste en sumergir la probeta en un recipiente con agua y comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones:



Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total de la probeta.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA HAYA			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 30	184	0%
1 ^a	100 x 100 x 31	203	3,33%
2 ^a	100 x 100 x 31	208	3,33%
3 ^a	100 x 100 x 31	210	3,33%
4 ^a	100 x 100 x 31	213	3,33%
5 ^a	100 x 100 x 31	214	3,33%

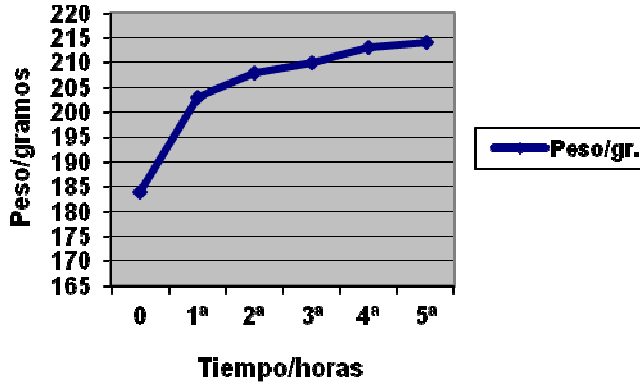
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, la probeta ha variado sus dimensiones en 1mm. (3,33%) en su grosor, además de incrementar su peso en 30 gramos. (16,3%) No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

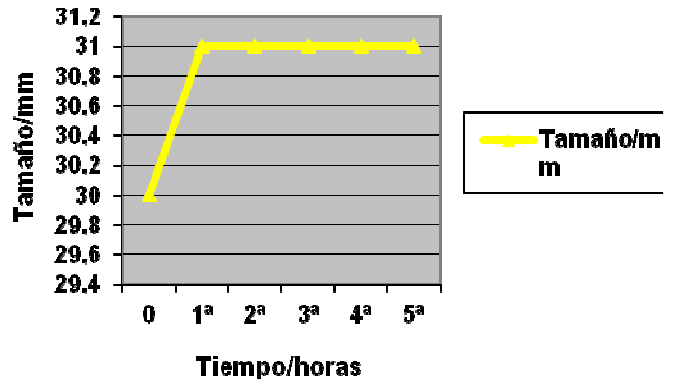
Gráficas de variables:

PROBETA HAYA

VARIABLE DE PESO



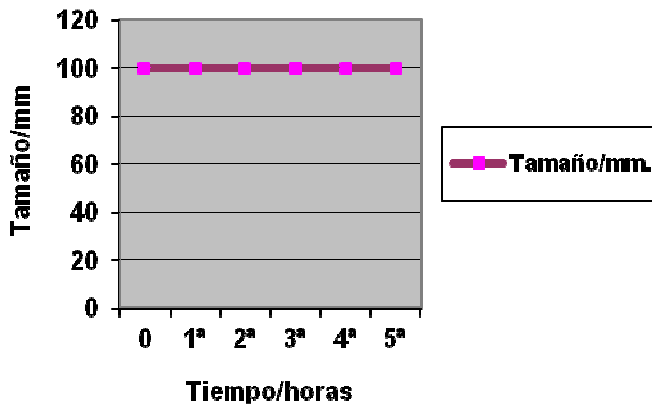
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



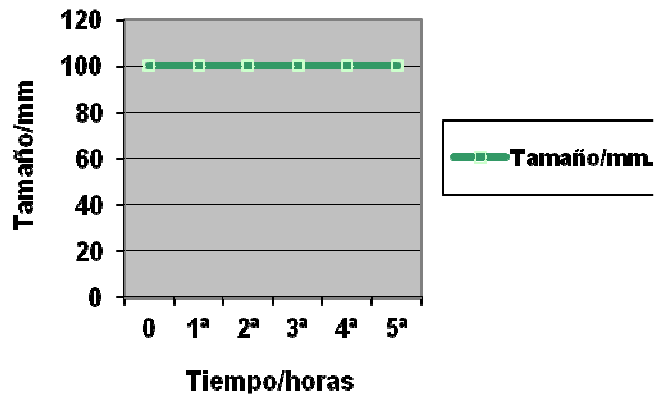
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

PROBETA HAYA			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 31	214	3,33%
10 ^a	101 x 100 x 32	223	3,22%
15 ^a	101 x 100 x 32	231	6,66%
20 ^a	102 x 100 x 32	238	6,66%
25 ^a	102 x 100 x 32	246	6,66%
30 ^a	102 x 100 x 32	248	6,66%

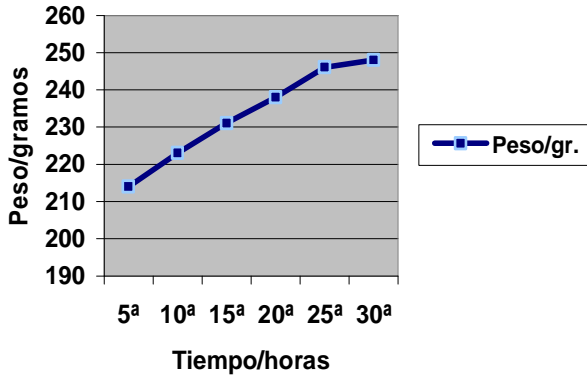
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo la probeta durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 34 gr. (15%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión. De igual forma, incrementa su tamaño en 2 mm. (6,66%) de grosor y 2 mm. (2%) en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) La dirección paralela a la fibra (largo) no sufre alteraciones dimensionales.

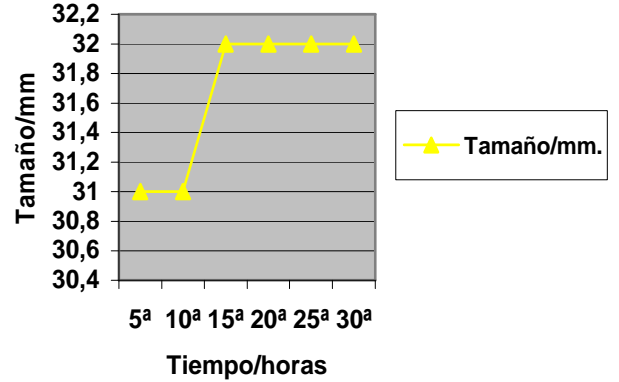
Gráficas de variables:

PROBETA HAYA

VARIABLE DE PESO



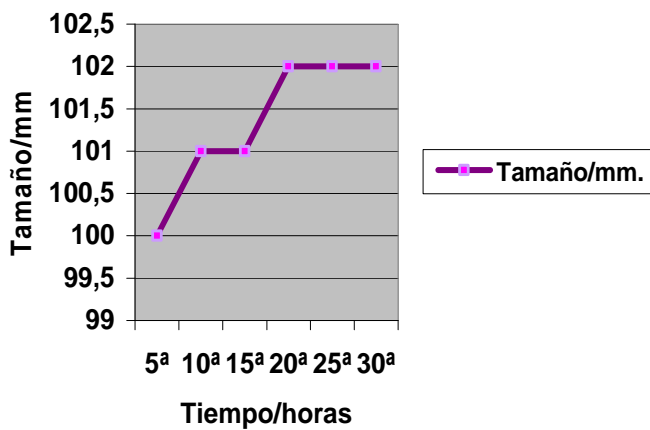
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



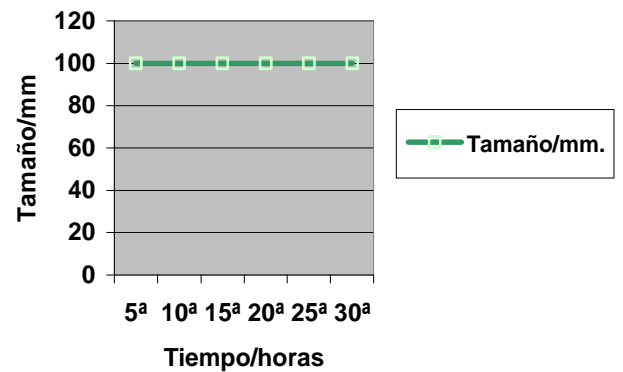
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.1.3. Probeta de madera de cedro.

Características de la probeta de madera de cedro en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometida al test acelerado de absorción de humedad:

CEDRO	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 30	144

PROBETA CEDRO	
DIMENSIONES	
	
100 x 100 mm.	30 mm. grosor.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas de la probeta

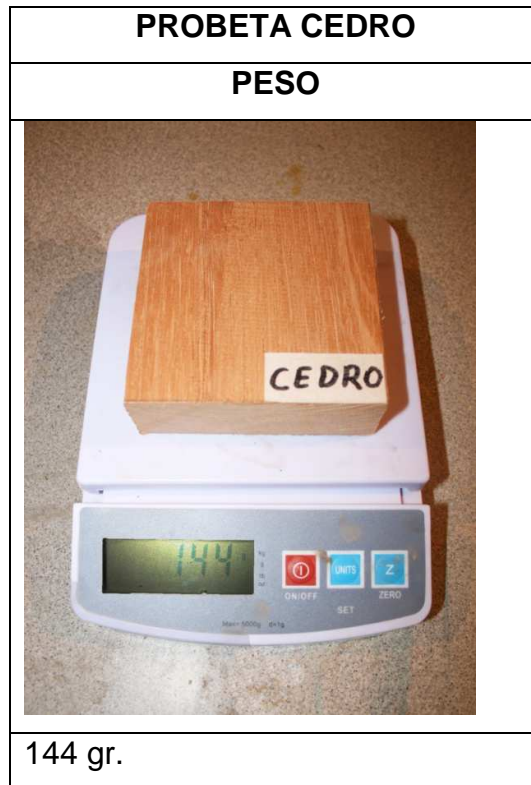


Imagen de elaboración propia (2012). Peso de la probeta.

Test acelerado de absorción de humedad:

El proceso consiste en sumergir la probeta en un recipiente con agua y comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones:

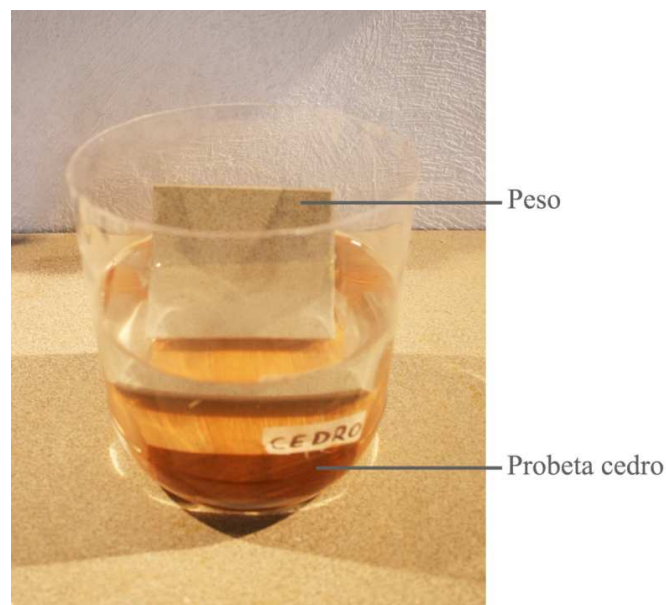


Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total de la probeta.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA CEDRO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 30	144	0%
1 ^a	100 x 100 x 31	147	3.33%
2 ^a	100 x 100 x 31	149	3.33%
3 ^a	100 x 100 x 31	149	3.33%
4 ^a	100 x 100 x 31	150	3.33%
5 ^a	100 x 100 x 31	150	3.33%

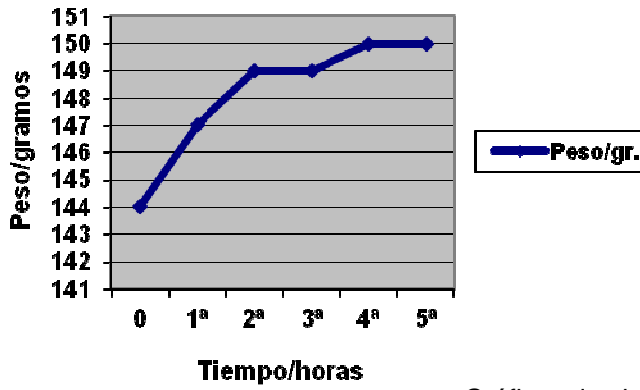
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, la probeta ha variado sus dimensiones en 1mm. (3,33%) en su grosor, además de incrementar su peso en 6 gramos (4,1%), lo que nos indica que este tipo de madera absorbe poca cantidad de humedad, reduciéndose a la cantidad de 1-2 gramos cada 2 horas. No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

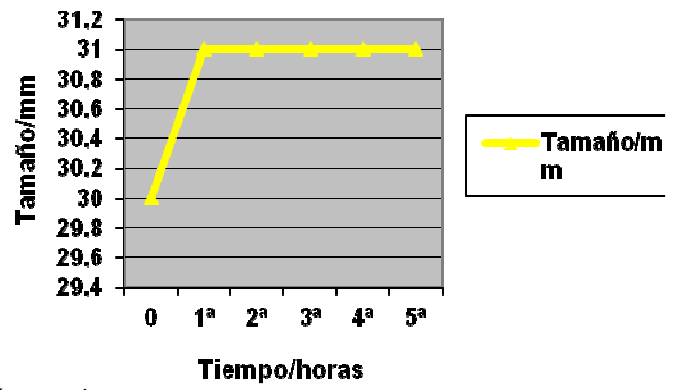
Gráficas de variables:

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE PESO



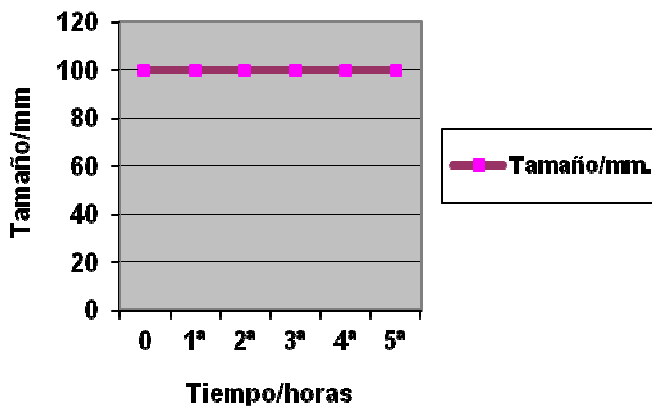
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



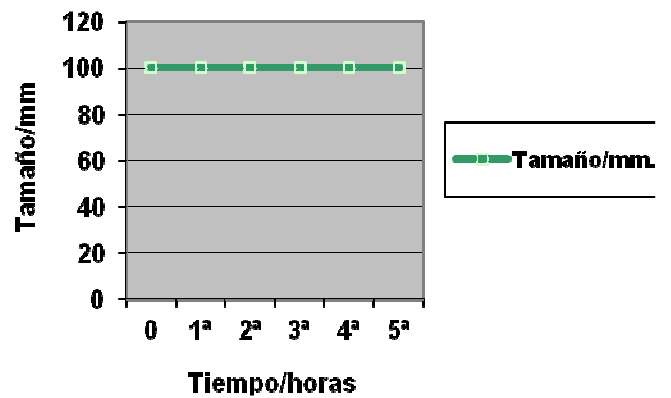
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

PROBETA CEDRO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	Volumen
5 ^a	100 x 100 x 31	150	3.33%
10 ^a	100 x 100 x 31	152	3.33%
15 ^a	100 x 100 x 31	154	3.33%
20 ^a	100 x 100 x 31	155	3.33%
25 ^a	101 x 100 x 32	156	6,66%
30 ^a	101 x 100 x 32	157	6,66%

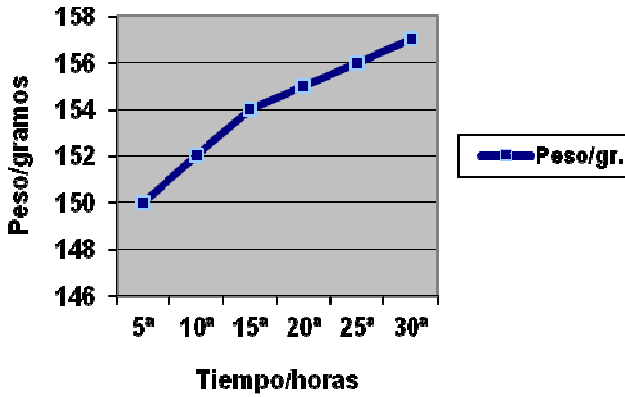
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo la probeta durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 7 gr. (4,6%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión, destacando la poca cantidad de peso adquirido: 1-2 gramos cada 10 horas. De igual forma, incrementa su tamaño en 2 mm. (6,66%) de grosor y 1 mm. (1%) en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) La dirección paralela a la fibra (largo) no sufre alteraciones dimensionales.

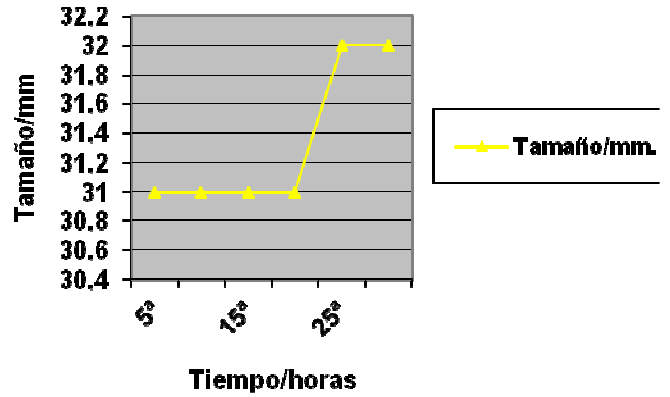
Gráficas de variables:

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE PESO



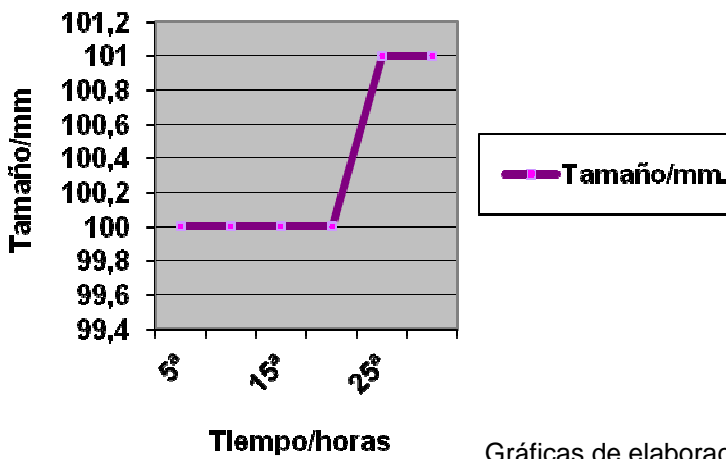
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



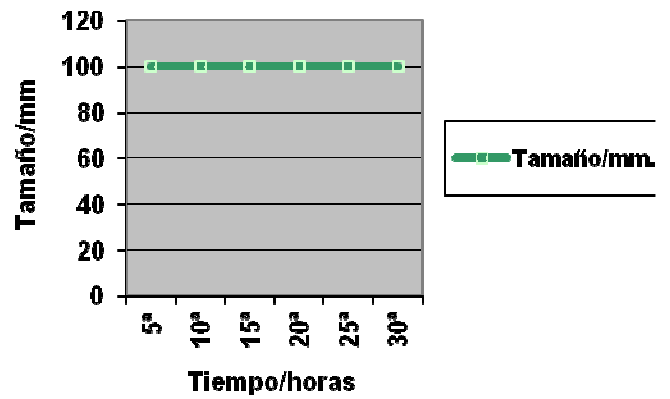
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.1.4. Probeta de madera de tilo.

Características de la probeta de madera de tilo en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometida al test acelerado de absorción de humedad:

TILO	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 30	154

PROBETA TILO	
DIMENSIONES	
	
100 x 100 mm.	30 mm. de grueso.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas de la probeta.

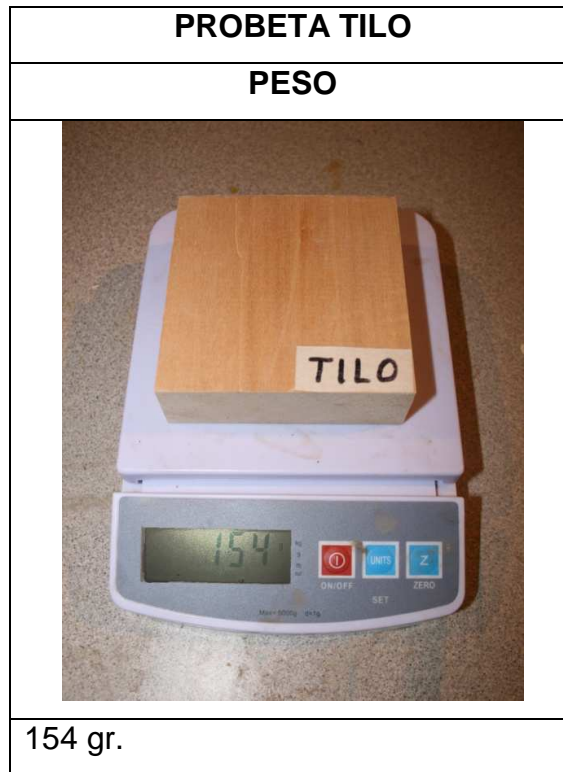


Imagen de elaboración propia (2012). Peso de la probeta.

Test acelerado de absorción de humedad:

El proceso consiste en sumergir la probeta en un recipiente con agua y comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones:

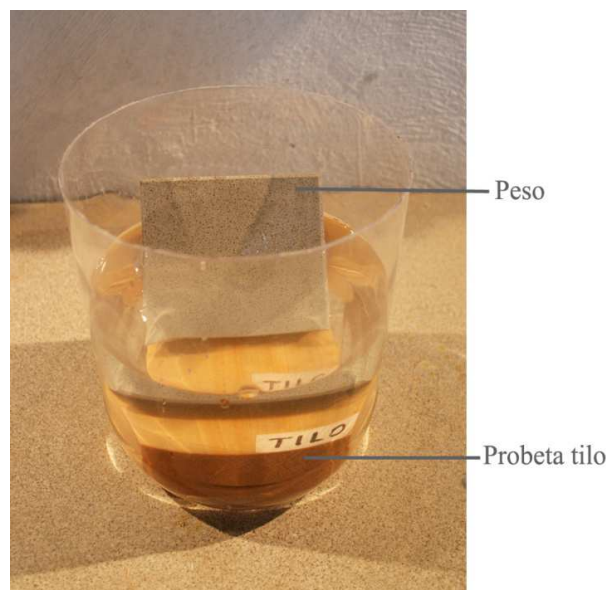


Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total de la probeta.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA TILO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 30	154	0%
1 ^a	100 x 100 x 31	165	3,33%
2 ^a	100 x 100 x 31	167	3,33%
3 ^a	100 x 100 x 31	169	3,33%
4 ^a	100 x 100 x 31	169	3,33%
5 ^a	100 x 100 x 31	170	3,33%

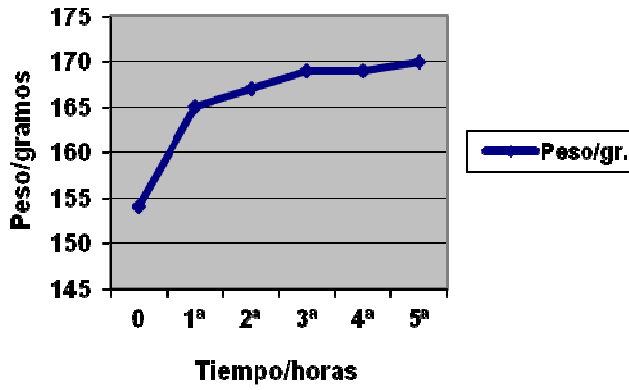
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, la probeta ha variado sus dimensiones en 1mm. (3,33%) en su grosor, además de incrementar su peso en 6 gramos (10,3%), lo que nos indica que este tipo de madera absorbe poca cantidad de humedad, reduciéndose a la cantidad de 1-2 gramos cada hora. No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

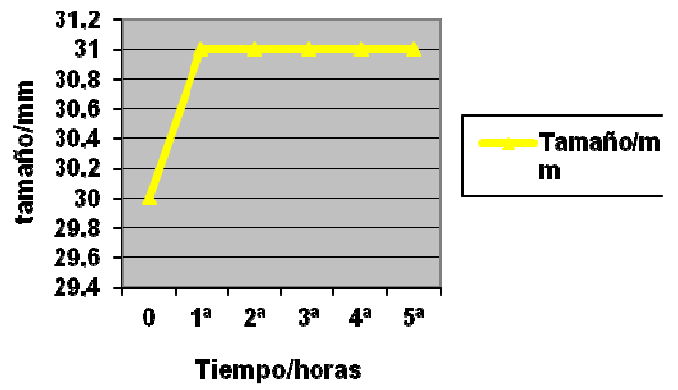
Gráficas de variables:

PROBETA TILO

VARIABLE DE PESO



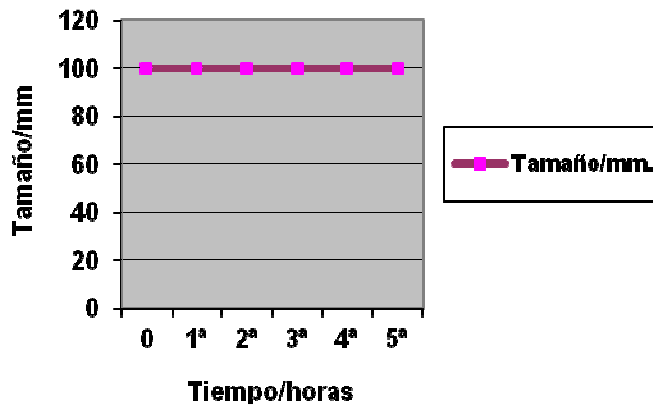
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



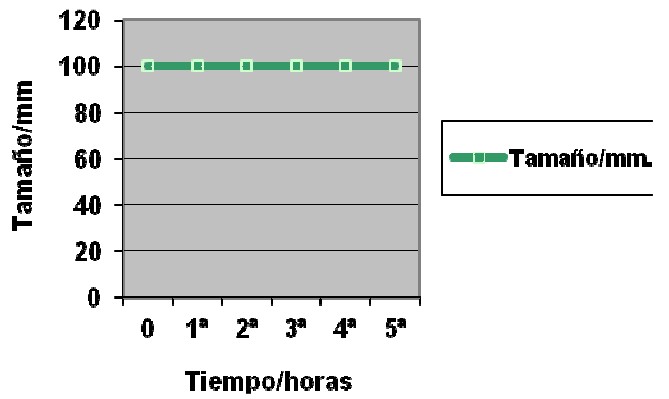
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

PROBETA TILO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 31	170	3,33%
10 ^a	100 x 100 x 32	175	6,66%
15 ^a	100 x 100 x 32	180	6,66%
20 ^a	101 x 100 x 32	185	6,66%
25 ^a	101 x 100 x 32	189	6,66%
30 ^a	101 x 100 x 32	192	6,66%

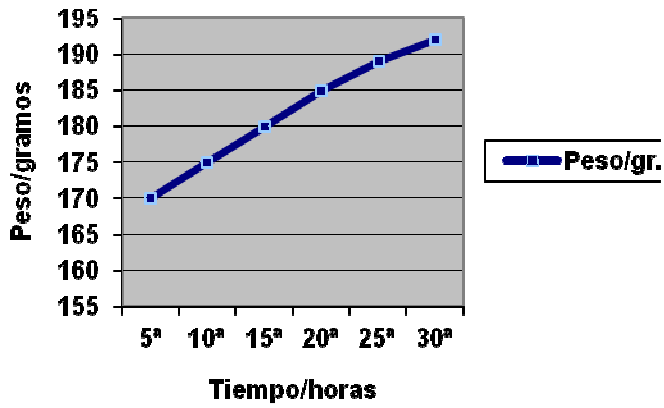
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo la probeta durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 22 gr. (12,9%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión, destacando forma regular de absorber humedad: 4-5 gramos cada 5 horas. De igual forma, incrementa su tamaño en 2 mm. (2%) de grosor y 1 mm. (1%) en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) La dirección paralela a la fibra (largo) no sufre alteraciones dimensionales.

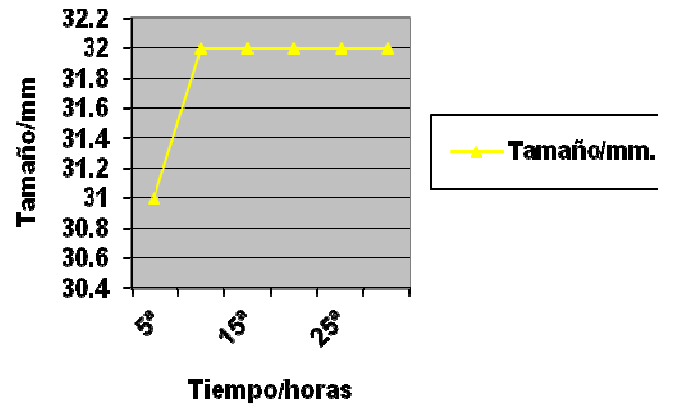
Gráficas de variables:

PROBETA TILO

VARIABLE DE PESO



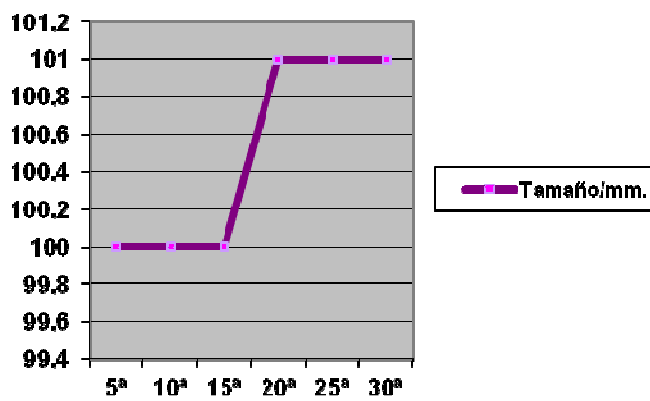
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



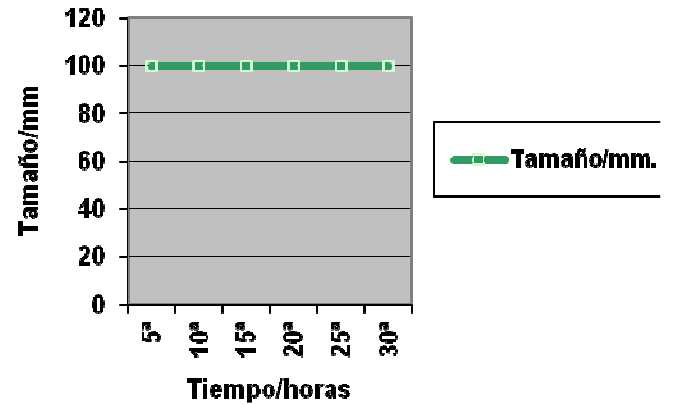
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.1.5. Probeta de madera de pino.

Características de la probeta de madera de pino en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometida al test acelerado de absorción de humedad:

PINO	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 30	209



PROBETA PINO	
DIMENSIONES	
	
100 x 100 mm..	30 mm. grueso.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas de la probeta.

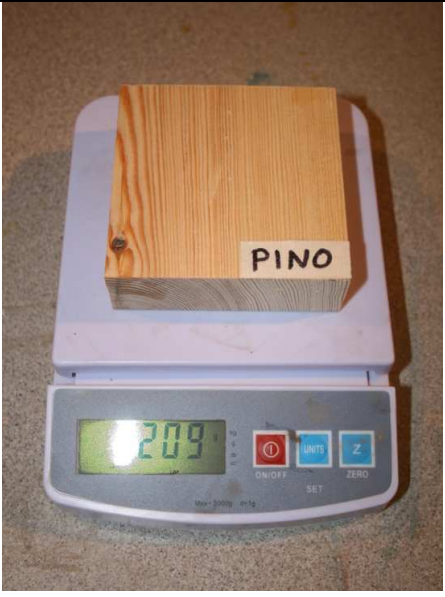
PROBETA DE PINO
PESO

209 gr.

Imagen de elaboración propia (2012). Peso de la probeta.

Test acelerado de absorción de humedad:

El proceso consiste en sumergir la probeta en un recipiente con agua y comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones:

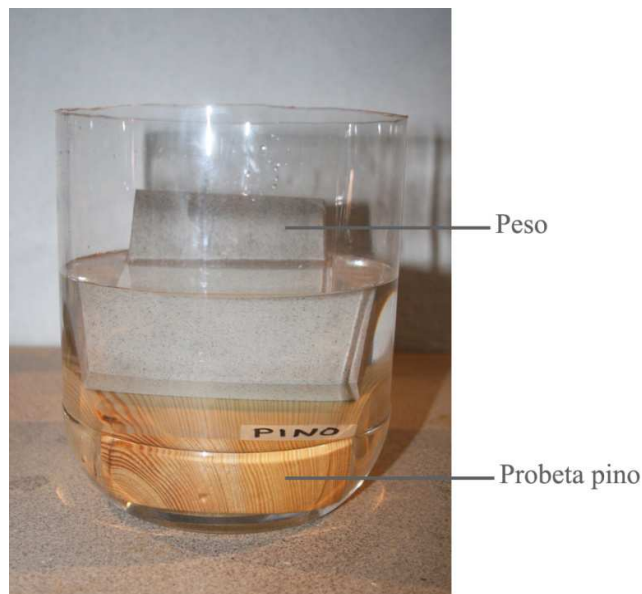


Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total de la probeta.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA PINO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 30	209	0%
1 ^a	100 x 100 x 31	224	3,33%
2 ^a	100 x 100 x 32	226	6,66%
3 ^a	100 x 100 x 32	227	6,66%
4 ^a	100 x 100 x 32	227	6,66%
5 ^a	100 x 100 x 32	228	6,66%

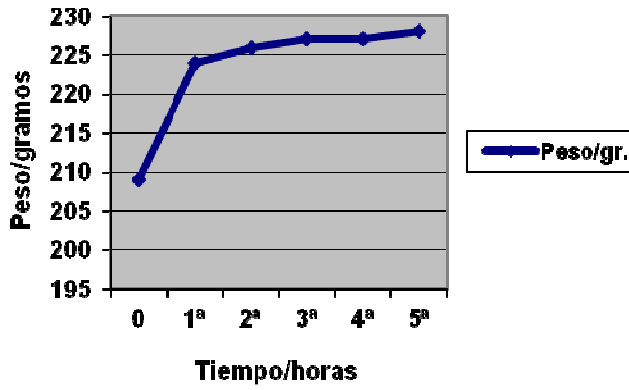
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, la probeta ha variado sus dimensiones en 2mm. (6,66%) en su grosor, además de incrementar su peso en 19 gramos (9%), de los cuales 24 han sido durante la primera hora de inmersión, lo que nos indica que este tipo de madera absorbe mayor cantidad de humedad al inicio de las pruebas, reduciéndose más tarde a la cantidad de 1-2 gramos cada hora. No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

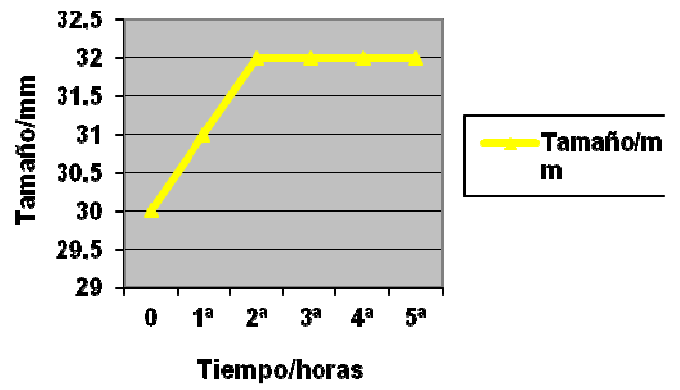
Gráficas de variables:

PROBETA PINO

VARIABLE DE PESO



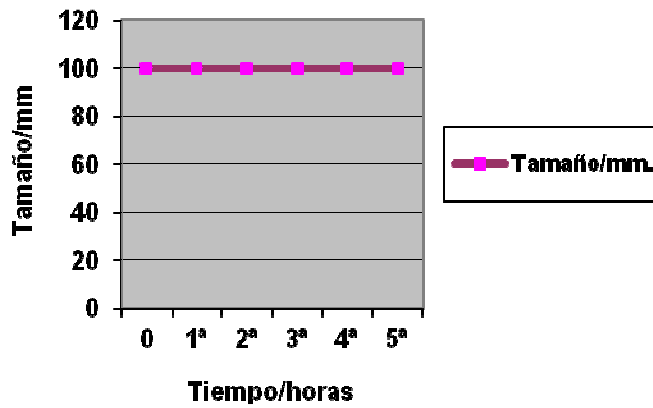
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



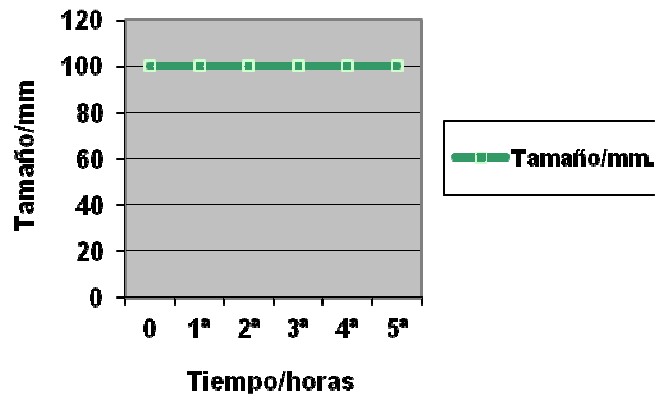
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

PROBETA PINO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 32	228	6,66%
10 ^a	100 x 100 x 32	230	6,66%
15 ^a	101 x 100 x 32	232	6,66%
20 ^a	101 x 100 x 32	234	6,66%
25 ^a	101 x 100 x 33	234	10%
30 ^a	101 x 100 x 33	235	10%

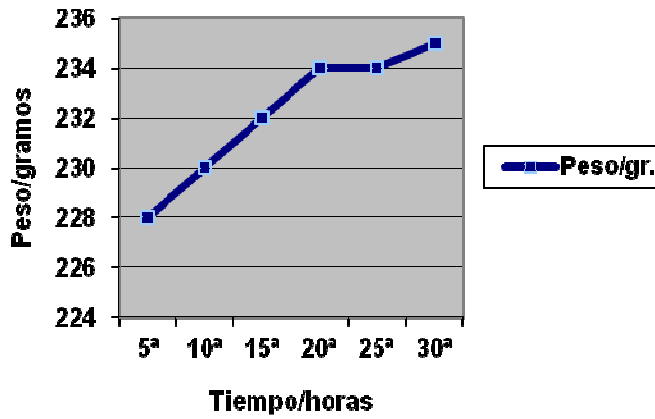
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo la probeta durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 7 gr. (3%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión, destacando la poca cantidad de humedad absorbida y reflejada en su peso en periodos de 5 horas: 1-2 gramos cada 5 horas. De igual forma, incrementa su tamaño en 1 mm. (10% en total) de grosor y 1 mm. (1%) en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) La dirección paralela a la fibra (largo) no sufre alteraciones dimensionales.

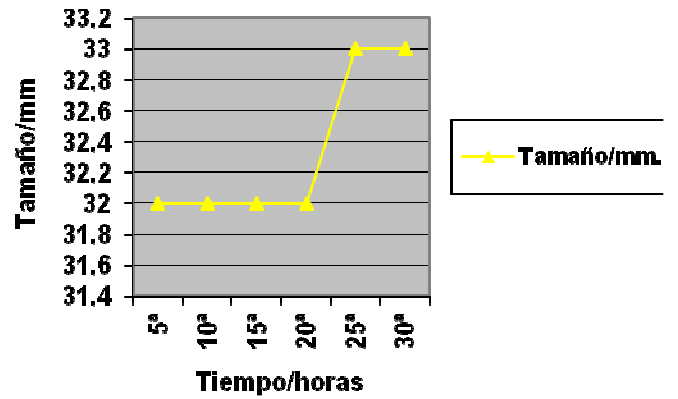
Gráficas de variables:

PROBETA PINO

VARIABLE DE PESO



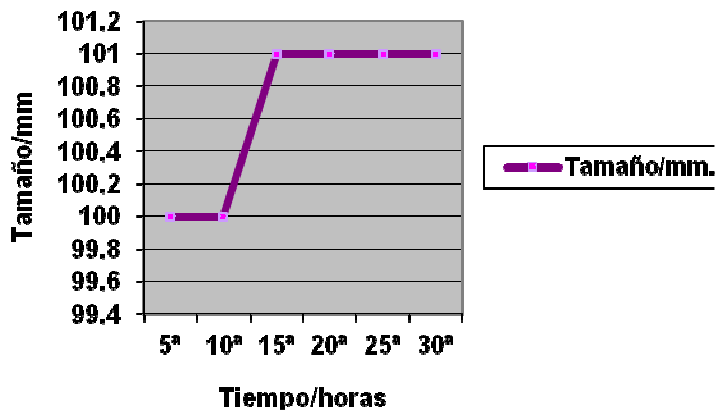
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



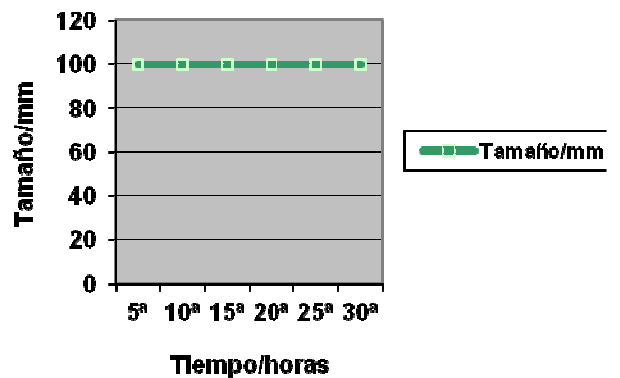
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Observaciones generales tras los test acelerados de absorción de humedad:

Si comparamos todos los procesos de absorción de humedad en las cinco probetas sometidas al test, podemos concluir que el tablero de fibras MDF tiene una capacidad de absorción mucho mayor que en el caso de la madera natural, independientemente de la especie que se trate. En este caso hemos comparado los resultados con cuatro de las especies usadas comúnmente en escultura y deducimos que, aunque los componentes adhesivos de urea y formaldehído empleados en la fabricación del tablero MDF tienen capacidades higroscópicas y resistencia al agua, las resinas naturales que contiene la madera natural no permiten una absorción tan notable como en este tipo de conglomerado. Aún así, el MDF no presenta desfibrado tras la hinchazón producida por absorción de humedad, manteniéndose lo compacto y homogéneo del material aunque sí presente deformaciones volumétricas irregulares centradas en el grosor del tablero y no en las direcciones perpendiculares y paralelas a la fibra, por carecer precisamente de direcciones marcadas como ocurre en la madera natural. Los porcentajes de deformación volumétrica en las diferentes probetas se reflejan en:

PROBETA	INICIO	PERIODO DE 5 HORAS	PERIODO DE 30 HORAS
MDF	0%	6,66%	20%
HAYA	0%	3,33%	6,66%
CEDRO	0%	3,33%	6,66%
TILO	0%	3,33%	6,66%
PINO	0%	6,66%	10%

13.2. TEST DE SECADO AL AIRE.

Tras comprobar las condiciones en las que se encuentran las probetas después de haberlas conducido al estado de saturación de humedad por inmersión y realizar un seguimiento periódico del comportamiento ante este test, las someteremos al test de secado al aire con una temperatura ambiente de entre 17 - 18° C sobre una superficie no porosa para evitar así que la capilaridad influya en el proceso natural de secado.

13.2.1. Probeta de MDF.

Condiciones en las que se encuentran la probeta saturada de humedad antes de realizar el test de secado al aire:

	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
MDF	101 x 100 x 36	354

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA MDF			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	<Volumen/ %
0	101 x 100 x 36	354	20%
1 ^a	101 x 100 x 36	354	20%
2 ^a	101 x 100 x 36	353	20%
3 ^a	101 x 100 x 36	352	20%
4 ^a	101 x 100 x 36	350	20%
5 ^a	101 x 100 x 36	350	20%

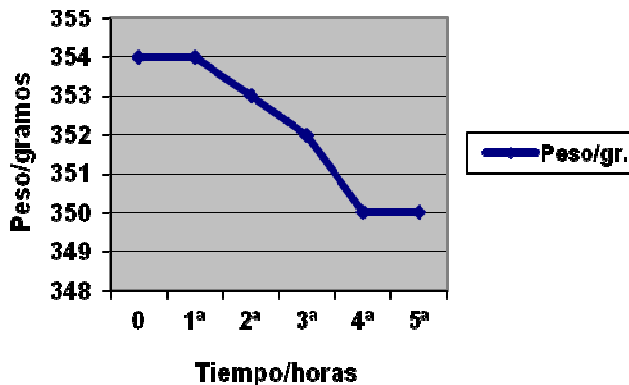
Observaciones:

De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado es progresivo y regular en su descenso de 4 gr. en total (1,1%), con una variable de entre 1 y 2 gr. por hora. En cuanto a las dimensiones, no existe modificación alguna en sus tres direcciones.

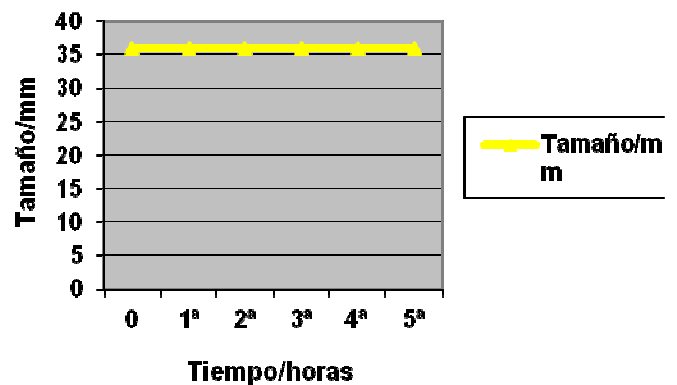
Gráfica de variables:

PROBETA MDF

VARIABLE DE PESO



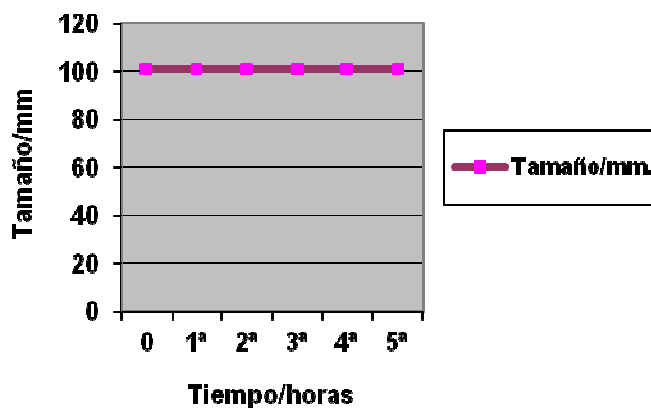
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



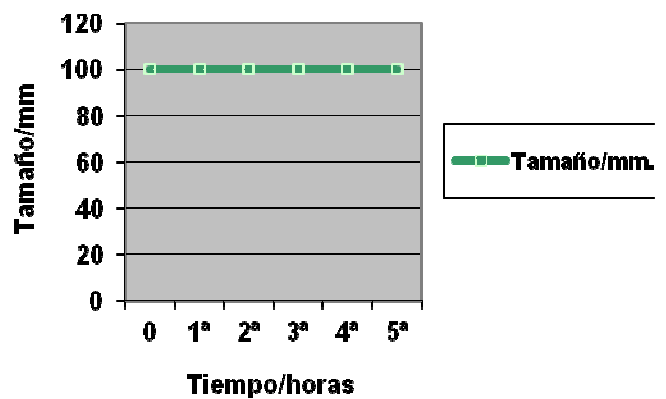
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse al secado total de la probeta, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

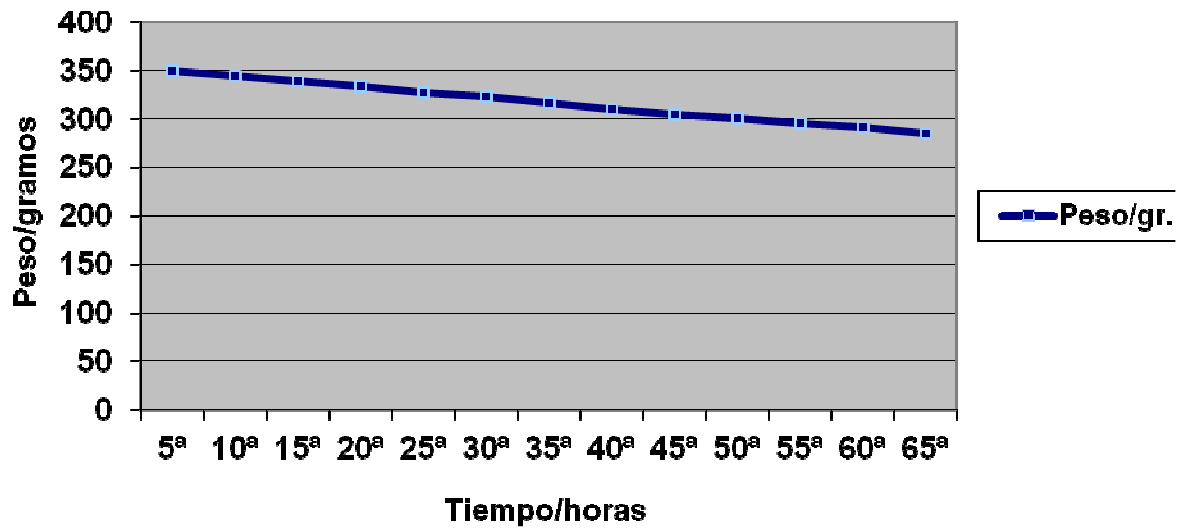
PROBETA MDF			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	101 x 100 x 36	350	20%
10 ^a	101 x 100 x 36	345	20%
15 ^a	101 x 100 x 36	339	20%
20 ^a	101 x 100 x 36	334	20%
25 ^a	101 x 100 x 36	327	20%
30 ^a	101 x 100 x 36	323	20%
35 ^a	101 x 100 x 36	317	20%
40 ^a	101 x 100 x 36	310	20%
45 ^a	101 x 100 x 36	305	20%
50 ^a	101 x 100 x 37	301	23,3%
55 ^a	101 x 100 x 37	296	23,3%
60 ^a	101 x 100 x 37	292	23,3%
65 ^a	101 x 100 x 37	285	23,3%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso en la cantidad de agua contenida en la probeta, de entre 5-7 gr. (18%) cada 5 horas, además de un aumento en el grosor de 1 mm (23,3%). a partir de la 50^a hora, producto de las deformaciones por hinchazón y secado, en las que la fibras del MDF se saturan de agua y se separan tras el secado.

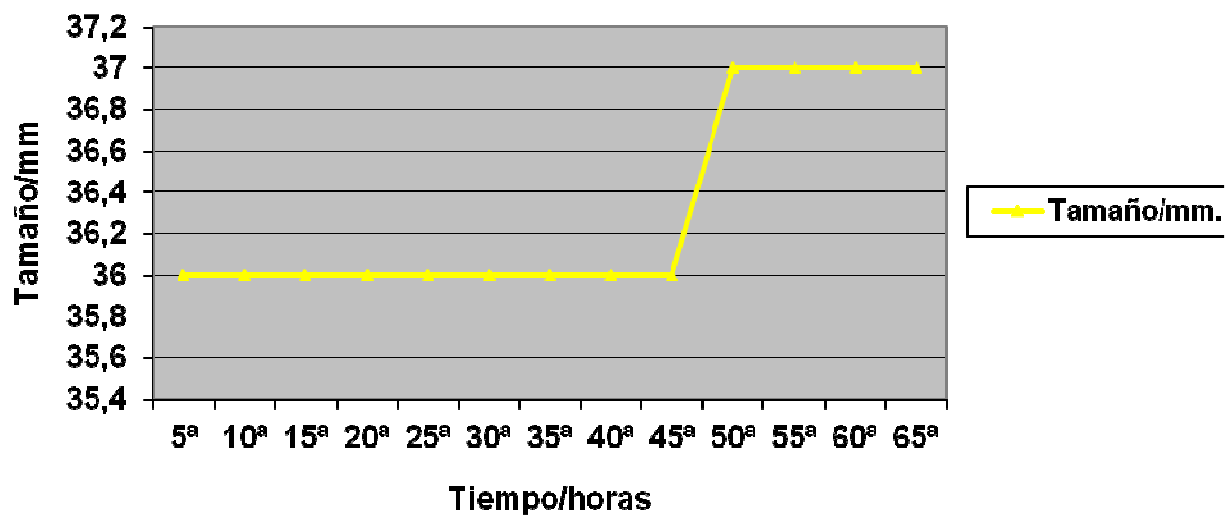
Gráficas de variables:

**PROBETA MDF
VARIABLE DE PESO**



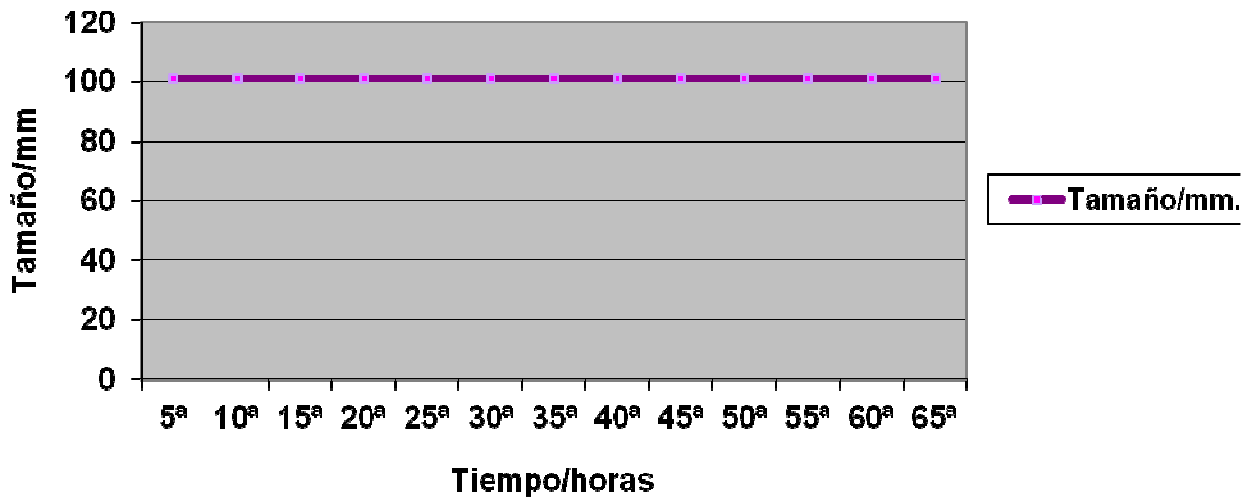
Gráficas de elaboración propia.

**PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR**



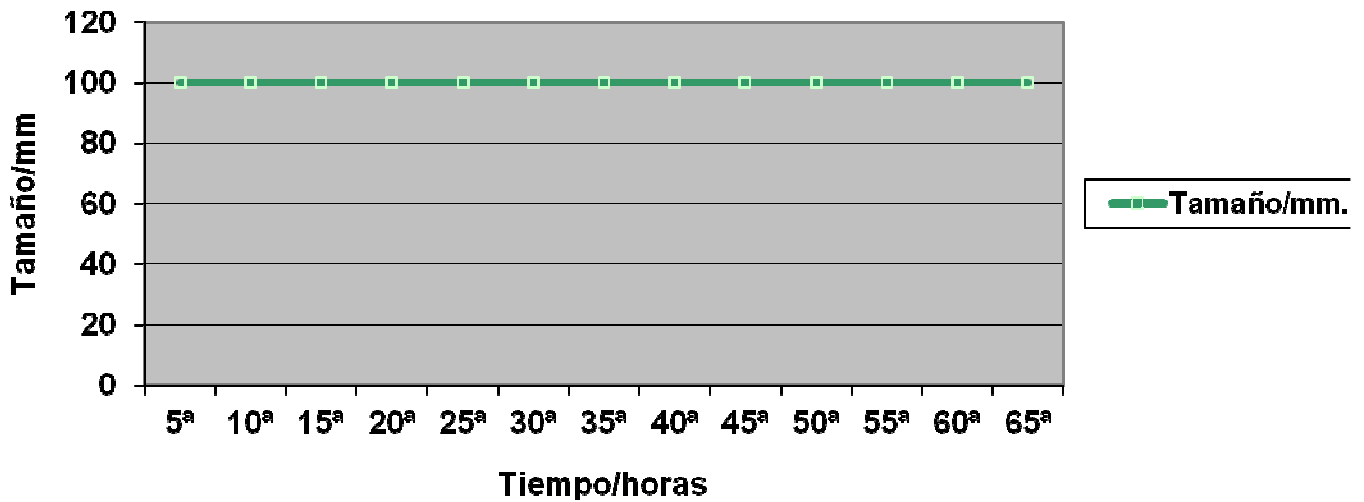
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.2.2. Probeta de madera de haya.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test de secado al aire y saturada de humedad:

HAYA	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	102 x 100 x 32	248

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA HAYA			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	<Volumen/ %
0	102 x 100 x 32	248	6,66%
1 ^a	103 x 100 x 32	248	6,66%
2 ^a	103 x 100 x 32	247	6,66%
3 ^a	103 x 100 x 32	246	6,66%
4 ^a	103 x 100 x 32	245	6,66%
5 ^a	103 x 100 x 32	245	6,66%

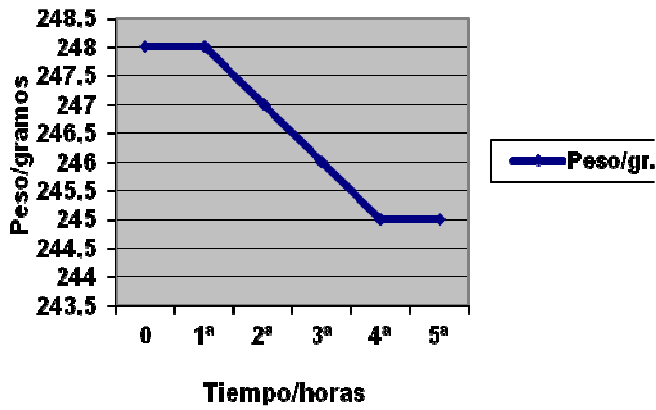
Observaciones:

De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado es progresivo y regular en su descenso en un total de 3 gr. (1,2%), con una variable de entre 0,5 y 1 gr. por hora. En cuanto a las dimensiones, aumenta en 1mm. (1%) el tamaño en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) producto, como dijimos, de la hinchazón y el secado de las fibras de la madera que tienden a separarse en una primera deformación.

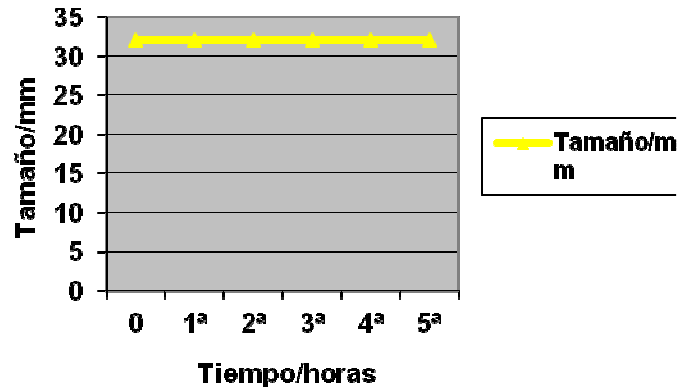
Gráfica de variables:

PROBETA HAYA

VARIABLE DE PESO



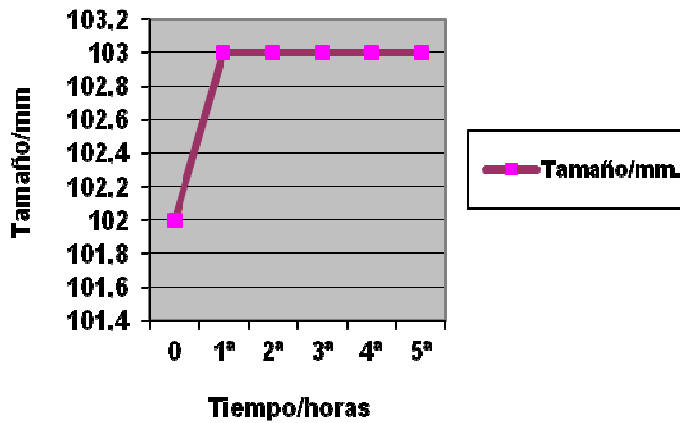
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



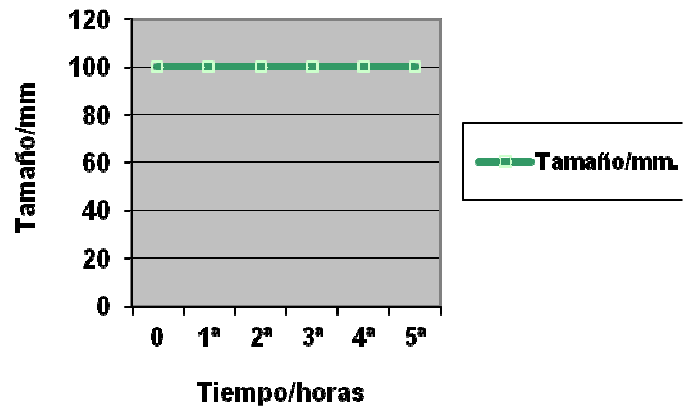
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse al secado total de la probeta, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

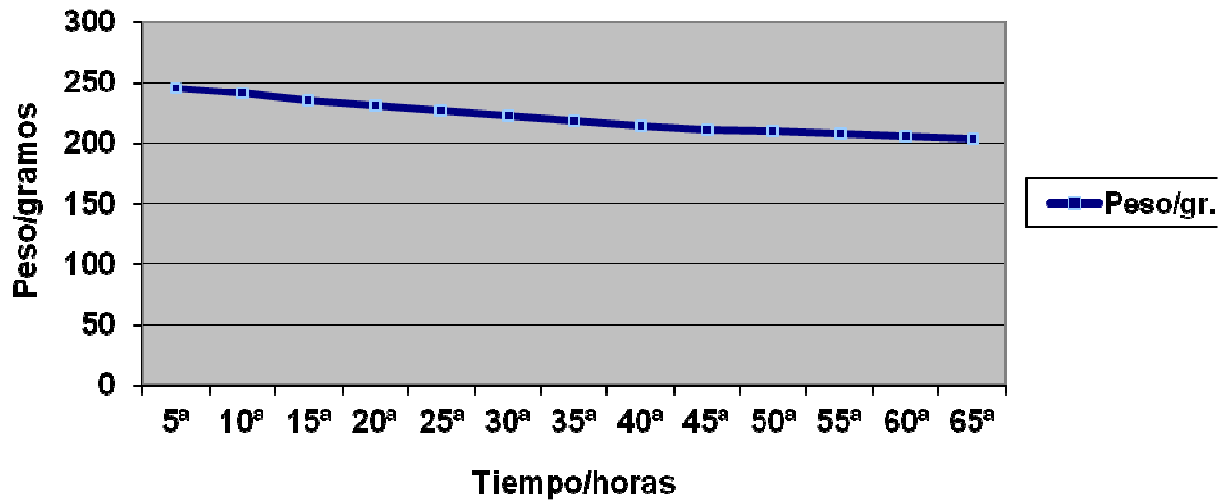
PROBETA HAYA			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	>Volumen/%
5 ^a	103 x 100 x 32	245	6,66%
10 ^a	103 x 100 x 32	241	6,66%
15 ^a	104 x 100 x 32	235	6,66%
20 ^a	104 x 100 x 32	231	6,66%
25 ^a	104 x 100 x 32	226	6,66%
30 ^a	104 x 100 x 32	222	6,66%
35 ^a	104 x 100 x 31	218	3,33%
40 ^a	104 x 100 x 31	214	3,33%
45 ^a	104 x 100 x 31	211	3,33%
50 ^a	104 x 100 x 31	210	3,33%
55 ^a	103 x 100 x 31	208	3,33%
60 ^a	102 x 100 x 31	206	3,33%
65 ^a	102 x 100 x 31	204	3,33%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso en la cantidad de agua contenida en la probeta, de forma irregular en los periodos de 5 horas, con un total de 41 gr. (16%). En cuanto a la variación dimensional, se aprecian alteraciones en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) y en el grosor de la probeta en 1mm. (3,33%), producidas por las alteraciones que la propia fibra de la madera sufre al hincharse y secarse. Sin embargo y como ocurre en el caso del test de absorción de humedad, las dimensiones de la probeta en la dirección paralela a la fibra no sufre alteraciones visibles.

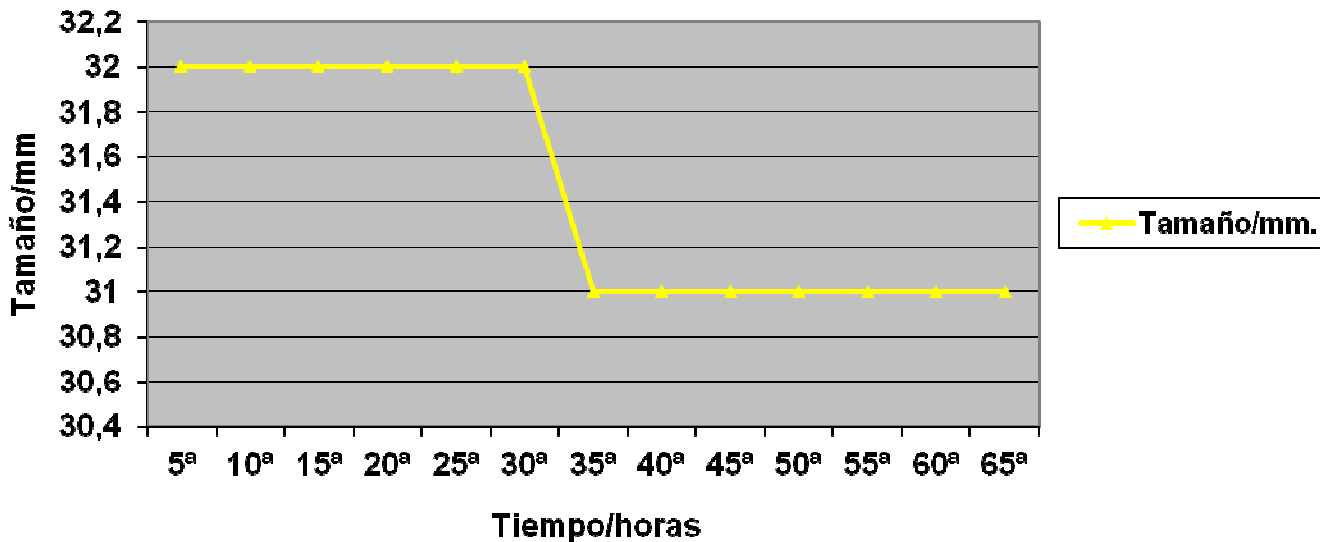
Gráficas de variables:

PROBETA HAYA
VARIABLE DE PESO



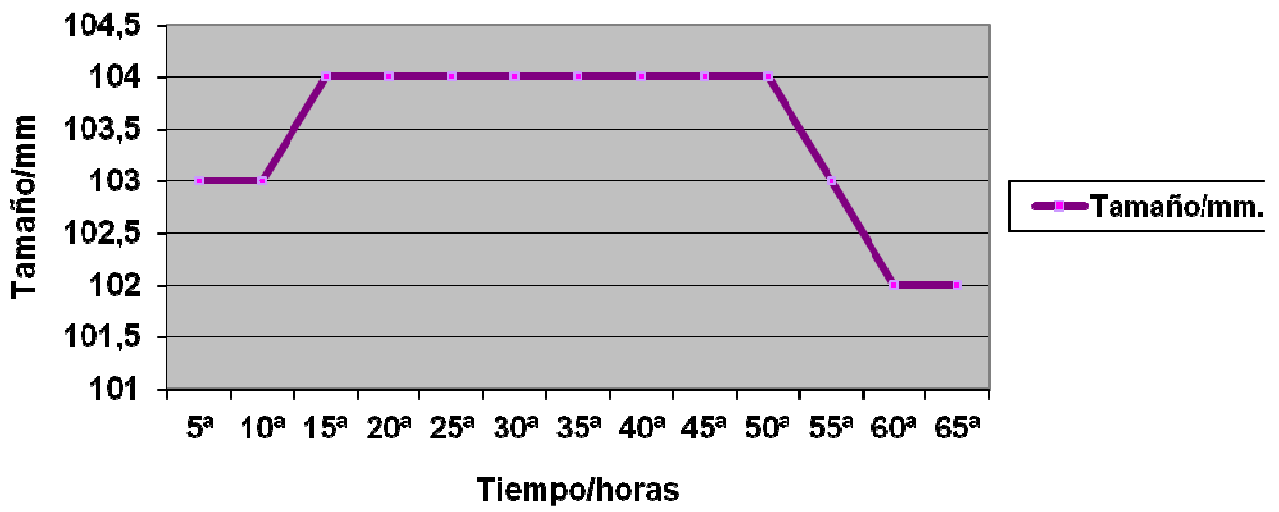
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



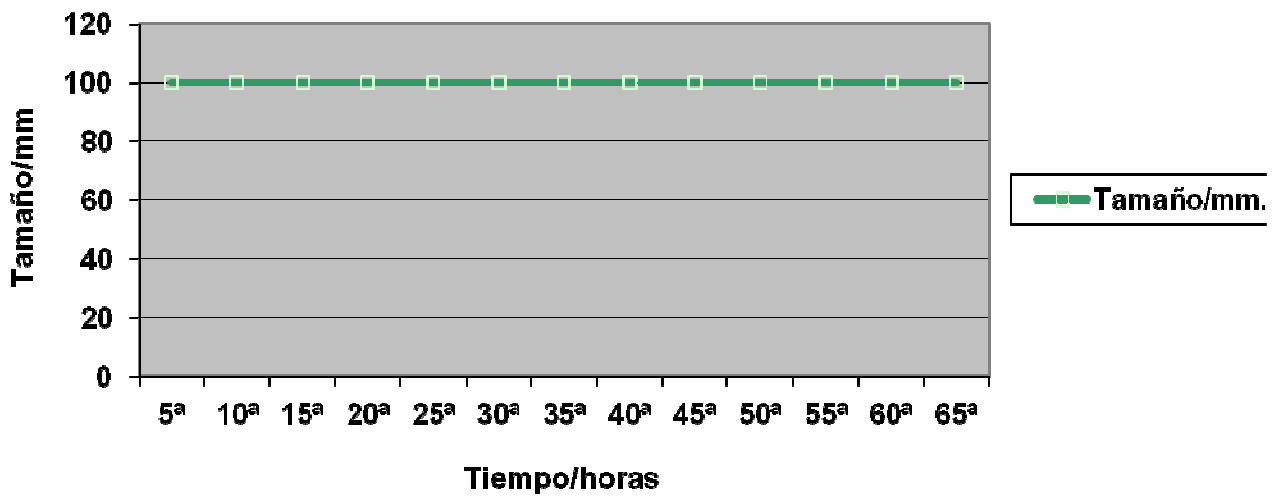
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.2.3. Probeta de madera de cedro.

Condiciones en las que se encuentra la probeta antes de realizar el test de secado al aire y saturada de humedad:

CEDRO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	101 x 100 x 32	157

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA CEDRO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	>Volumen/ %
0	101 x 100 x 32	157	6,66%
1 ^a	101 x 100 x 31	155	3,33%
2 ^a	101 x 100 x 31	154	3,33%
3 ^a	101 x 100 x 31	153	3,33%
4 ^a	101 x 100 x 31	153	3,33%
5 ^a	101 x 100 x 31	152	3,33%

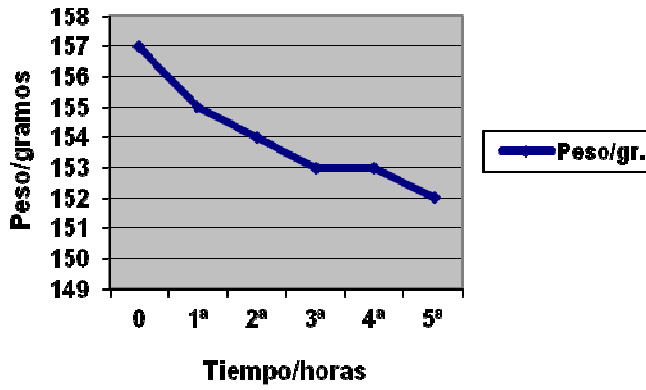
Observaciones:

De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado es progresivo y regular en su descenso en un total de 5 gr. (3,1%), con una variable de entre 0,5, 1 y 2 gr. por hora. En cuanto a las dimensiones, disminuye en 1mm. (3,33%) el tamaño en el grosor de la probeta. En este caso, el secado de las fibras no provoca un aumento del tamaño, si no una merma en el mismo.

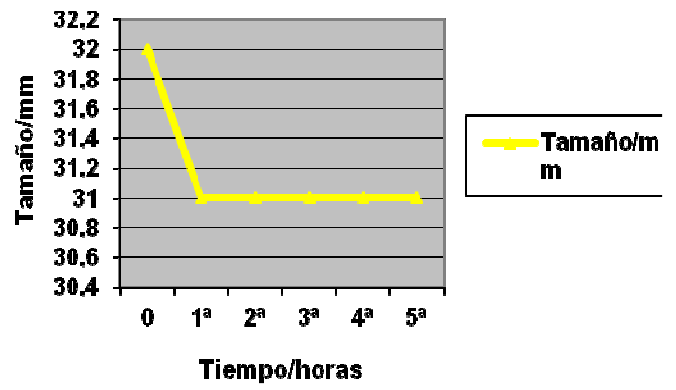
Gráfica de variables:

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE PESO



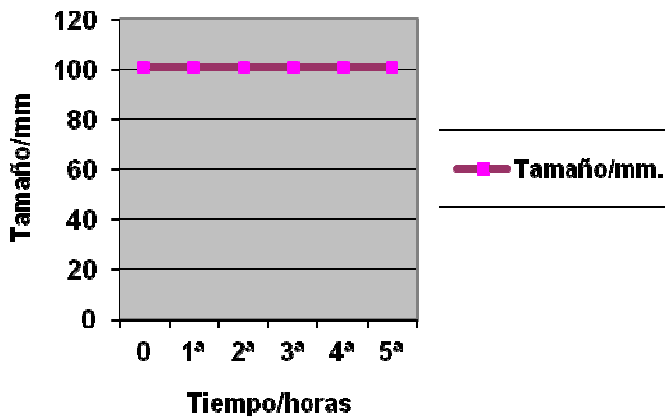
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



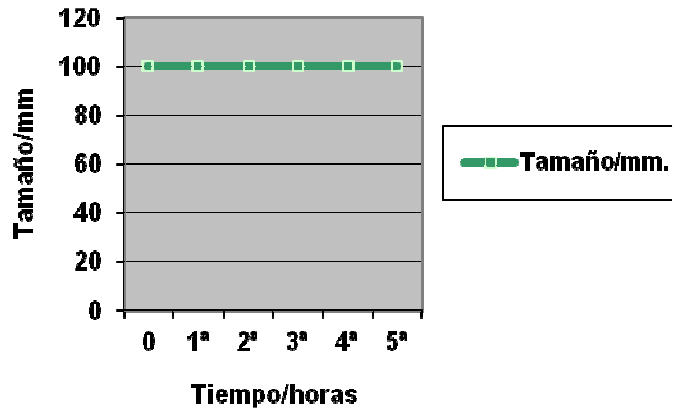
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 45 horas para aproximarse al secado total de la probeta, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

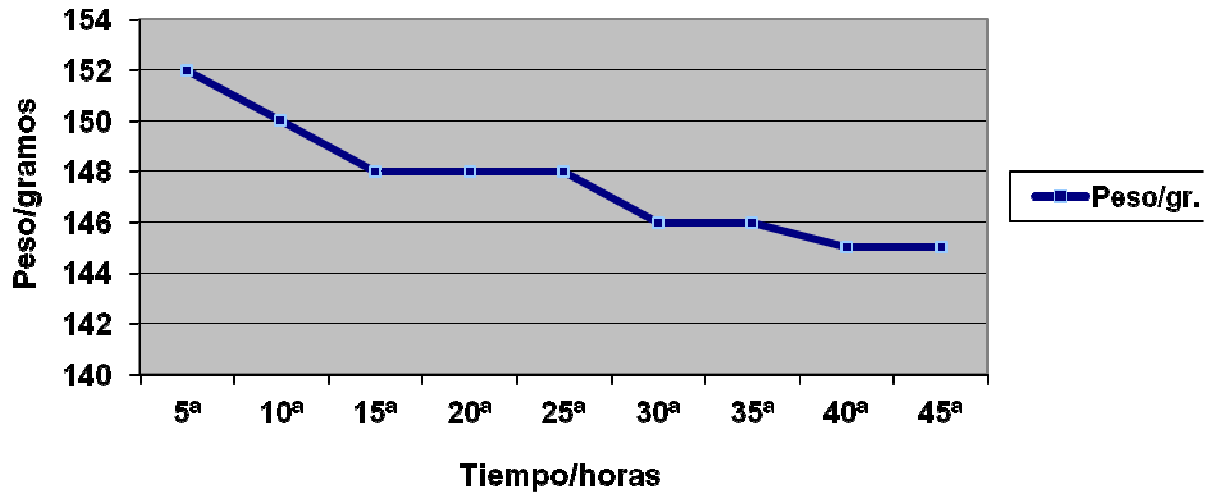
PROBETA CEDRO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	>Volumen/%
5 ^a	101 x 100 x 31	152	3,33%
10 ^a	100 x 100 x 31	150	3,33%
15 ^a	100 x 100 x 31	148	3,33%
20 ^a	100 x 100 x 31	148	3,33%
25 ^a	100 x 100 x 31	148	3,33%
30 ^a	100 x 100 x 31	146	3,33%
35 ^a	100 x 100 x 31	146	3,33%
40 ^a	100 x 100 x 31	145	3,33%
45 ^a	100 x 100 x 31	145	3,33%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire, hemos reducido el tiempo de medición a 45 horas debido que en la hora 40 de secado ya se había alcanzado el peso inicial de la probeta en estado de equilibrio higroscópico, por lo tanto el test debía de interrumpirse. Puede apreciarse un descenso en la cantidad de agua contenida en la probeta, con un total de 7 gr. (4,6%), de forma regular en cantidades de 2 gr. cada 10 horas, por lo que el proceso es lento pero produce una menor deformación de la madera. En cuanto a la variación dimensional, se aprecian alteraciones de 1mm. (1%) en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) y no en el grosor de la probeta y las dimensiones de la dirección paralela a la fibra no sufren alteraciones.

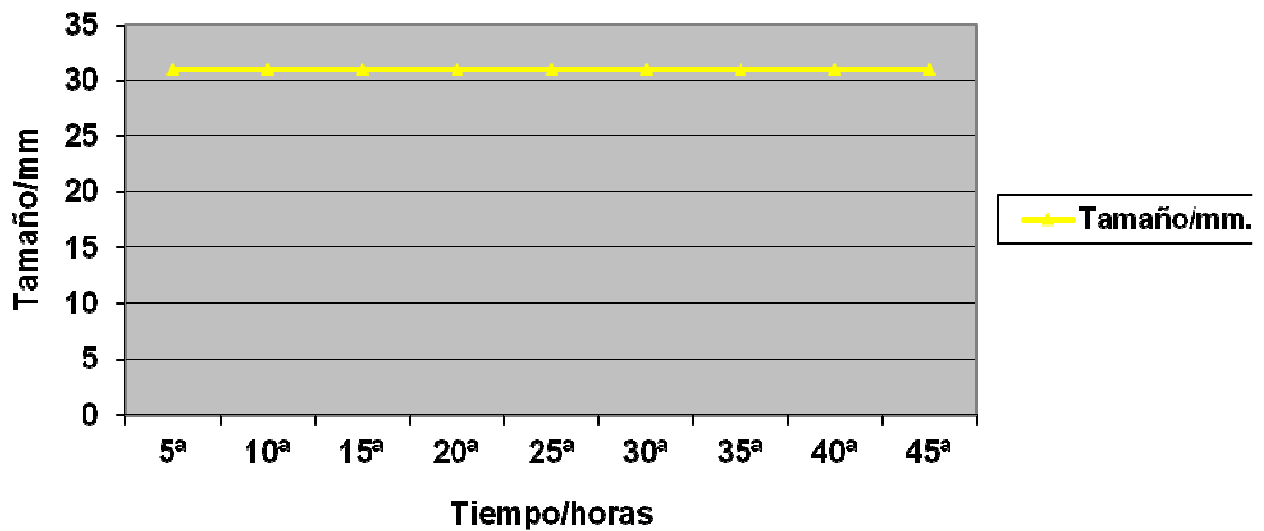
Gráficas de variables:

PROBETA CEDRO
VARIABLE DE PESO



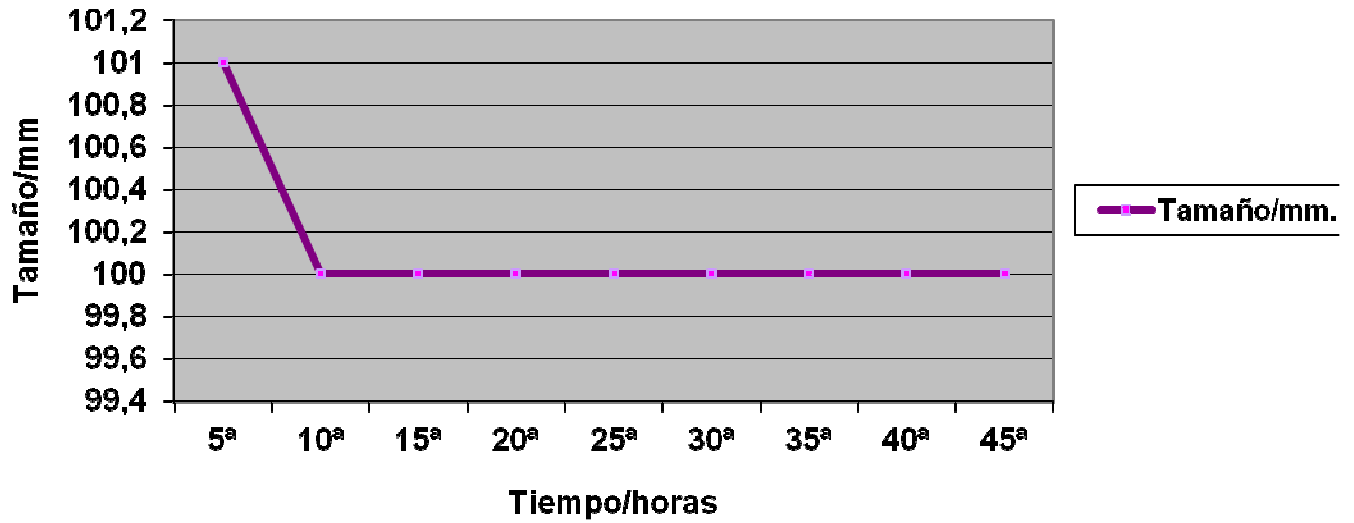
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



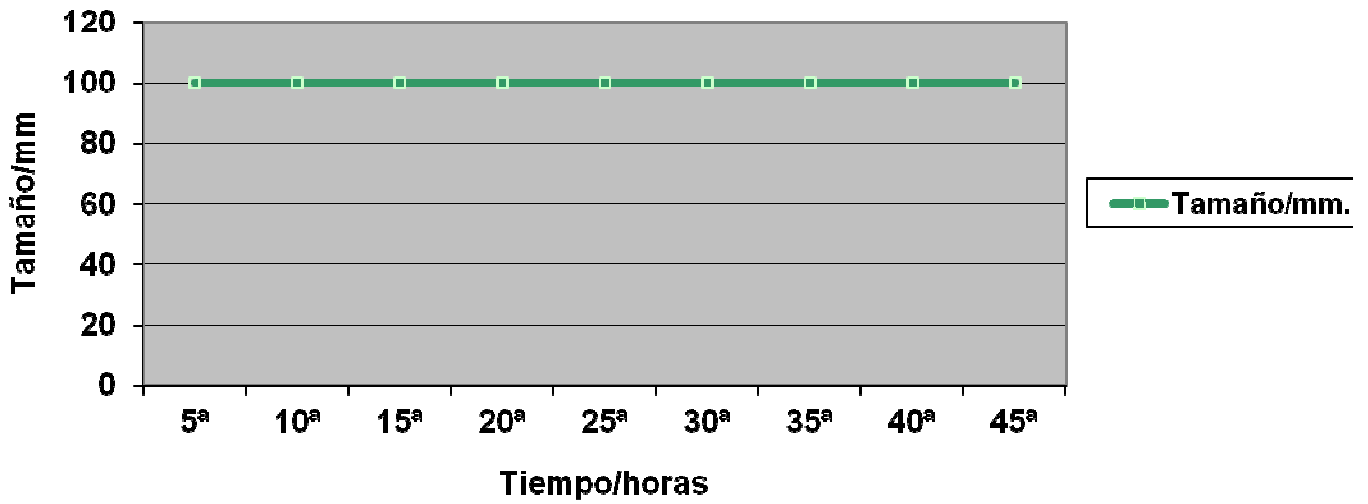
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.2.4. Probeta de madera de tilo.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test de secado al aire y saturada de humedad:

TILO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	101 x 100 x 32	192

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA TILO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	<Volumen/ %
0	101x 100 x 32	192	6,66%
1 ^a	102 x 100 x 32	191	6,66%
2 ^a	102 x 100 x 32	190	6,66%
3 ^a	102 x 100 x 32	189	6,66%
4 ^a	102 x 100 x 32	187	6,66%
5 ^a	102 x 100 x 32	187	6,66%

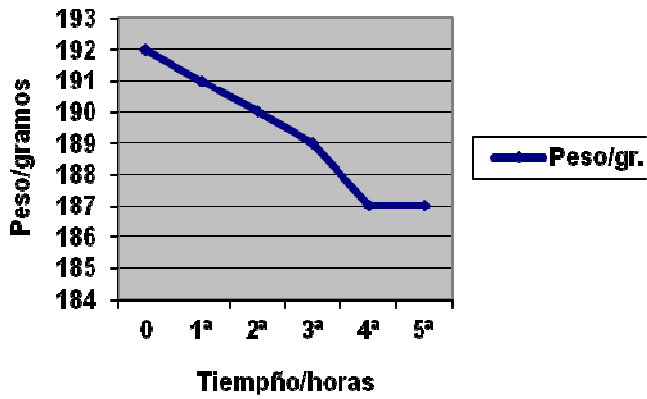
Observaciones:

El proceso de secado es progresivo y regular en su descenso con la pérdida de 5 gramos (2,6%) en total, con una variable de entre 0,5 y 1 gr. por hora. En cuanto a las dimensiones, aumenta en 1mm. (1%) el tamaño en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) producido de la hinchazón durante el secado de las fibras de la madera. El grosor y la dirección paralela a la fibra no sufren alteraciones.

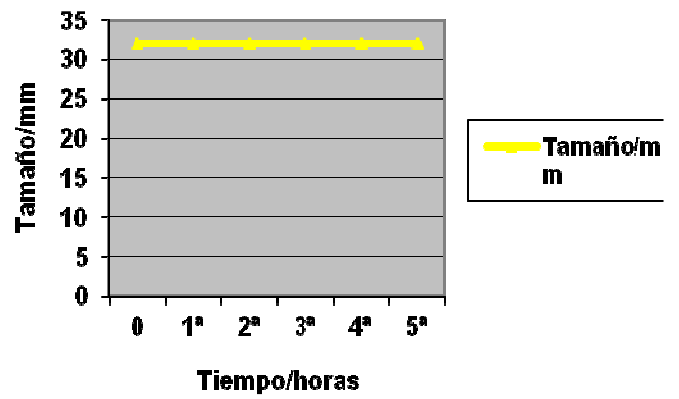
Gráfica de variables:

PROBETA TILO

VARIABLE DE PESO



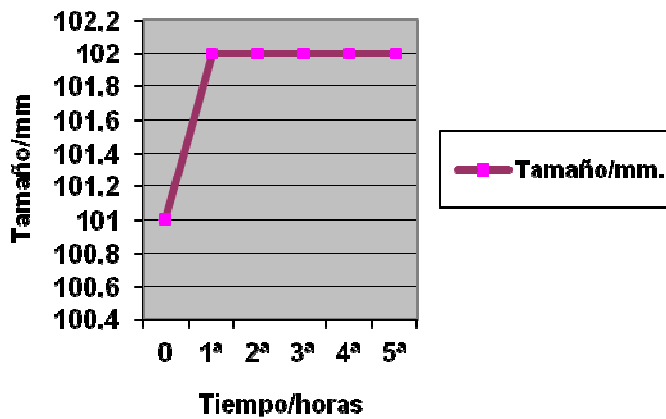
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



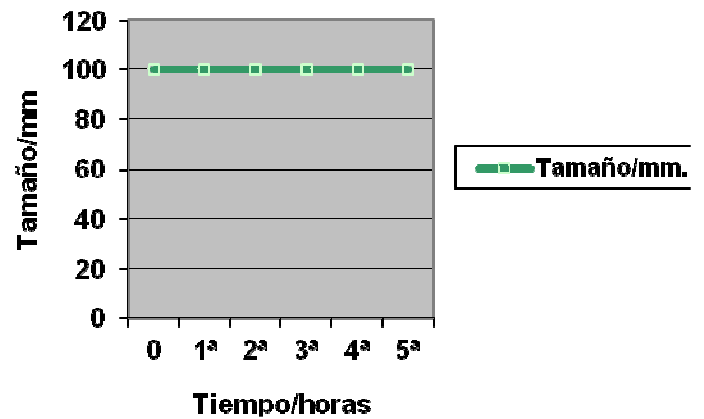
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse al secado total de la probeta, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

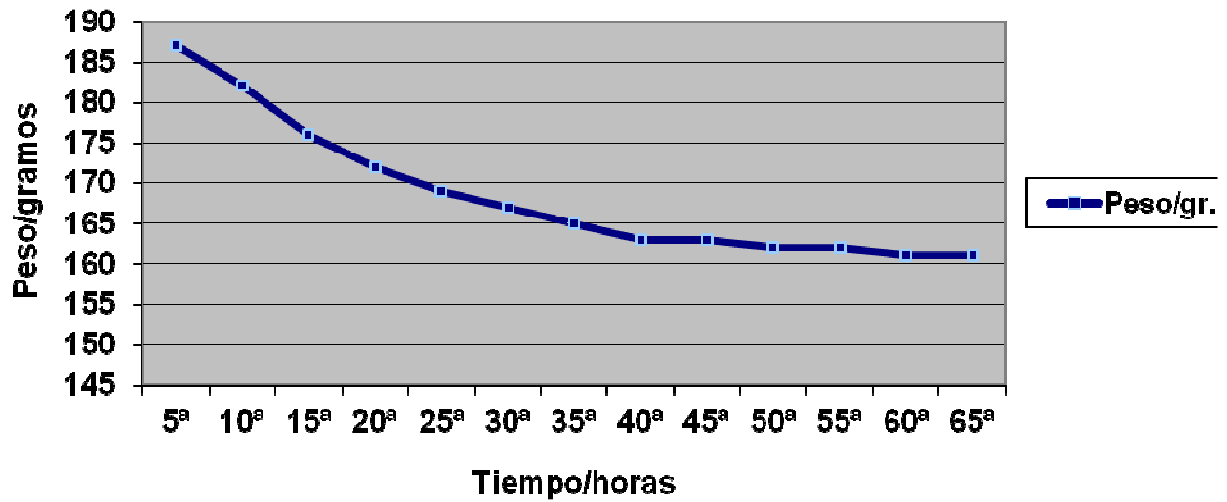
PROBETA TILO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	>Volumen/%
5 ^a	102 x 100 x 32	187	6,66%
10 ^a	102 x 100 x 32	182	6,66%
15 ^a	102 x 100 x 33	176	6,66%
20 ^a	102 x 100 x 32	172	6,66%
25 ^a	102 x 100 x 32	169	6,66%
30 ^a	102 x 100 x 32	167	6,66%
35 ^a	102 x 100 x 32	165	6,66%
40 ^a	102 x 100 x 32	163	6,66%
45 ^a	102 x 100 x 32	163	6,66%
50 ^a	102 x 100 x 31	162	3,33%
55 ^a	102 x 100 x 31	162	3,33%
60 ^a	102 x 100 x 31	161	3,33%
65 ^a	102 x 100 x 31	161	3,33%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso total de 26 gr. (13,9%) en la cantidad de agua contenida en la probeta, en un mayor grado durante las 15 primeras horas (un total de 11 gramos) y menos pronunciado (de 1 a 2 gramos) cada 5 ó 10 horas. En cuanto a la variación dimensional, no se aprecian alteraciones en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) ni en la paralela (largo) y sí en el grosor de la probeta en 1mm. (3,33%), producidas por las alteraciones que la propia fibra de la madera sufre al hincharse y secarse.

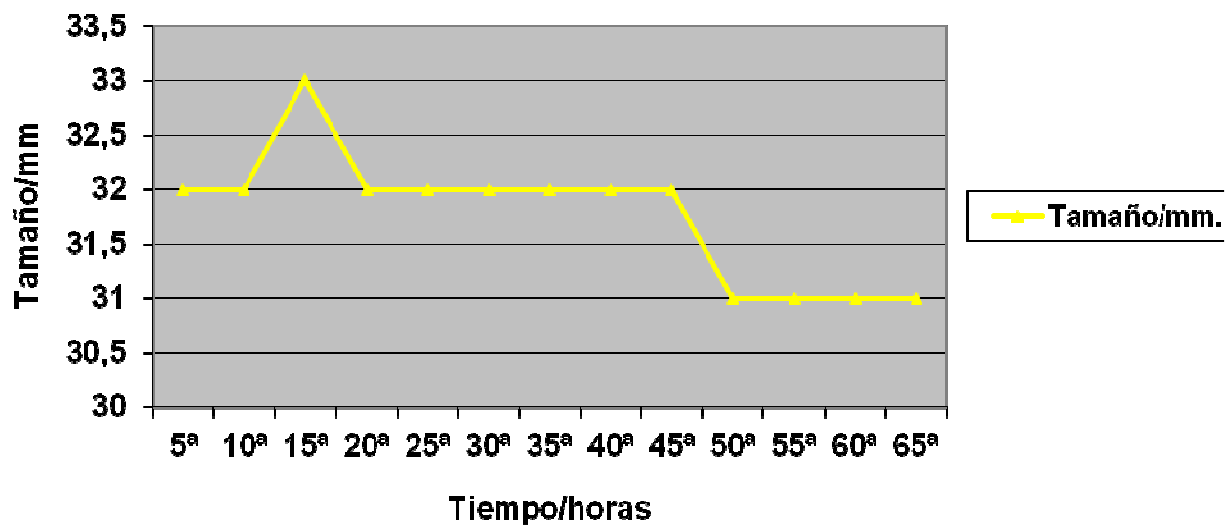
Gráficas de variables:

**PROBETA TILO
VARIABLE DE PESO**



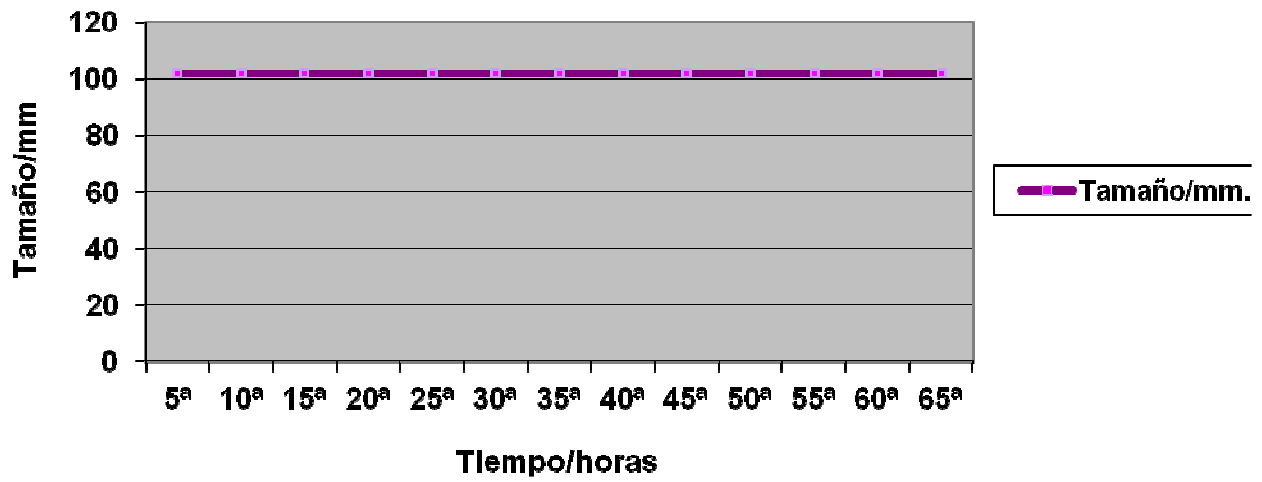
Gráficas de elaboración propia.

**PROBETA TILO
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR**



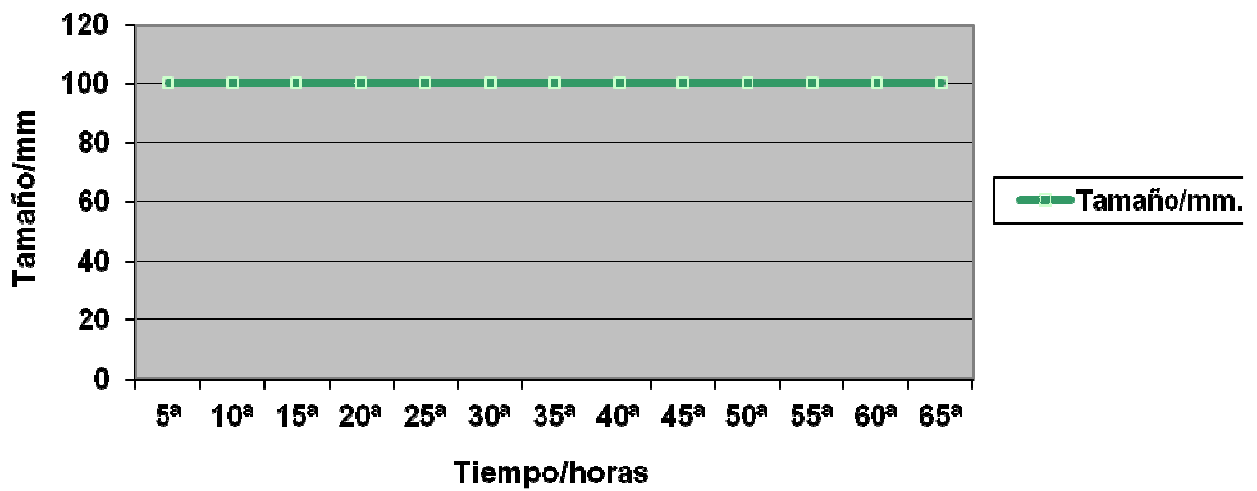
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.2.5. Probeta de madera de pino.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test de secado al aire y saturada de humedad:

PINO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	101 x 100 x 33	235

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

PROBETA PINO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	>Volumen/ %
0	101x 100 x 33	235	10%
1 ^a	101 x 100 x 32	234	6,66%
2 ^a	101 x 100 x 32	232	6,66%
3 ^a	101 x 100 x 32	232	6,66%
4 ^a	101 x 100 x 32	232	6,66%
5 ^a	101 x 100 x 32	231	6,66%

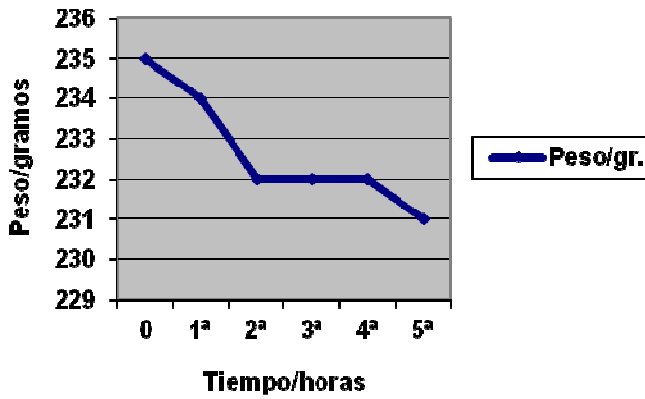
Observaciones:

El proceso de secado es progresivo y lento, con una variable irregular en un total de 4 gramos (1,7%). En cuanto a las dimensiones, disminuye en 1mm. (3%) el grosor en la primera hora de secado y las direcciones paralela y perpendicular a la fibra se mantienen inalteradas.

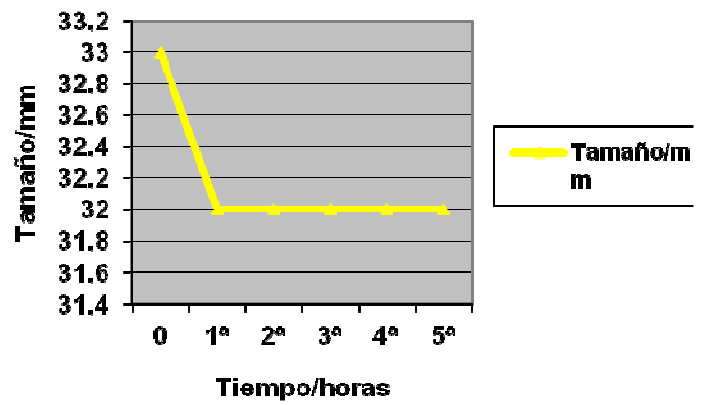
Gráfica de variables:

PROBETA PINO

VARIABLE DE PESO



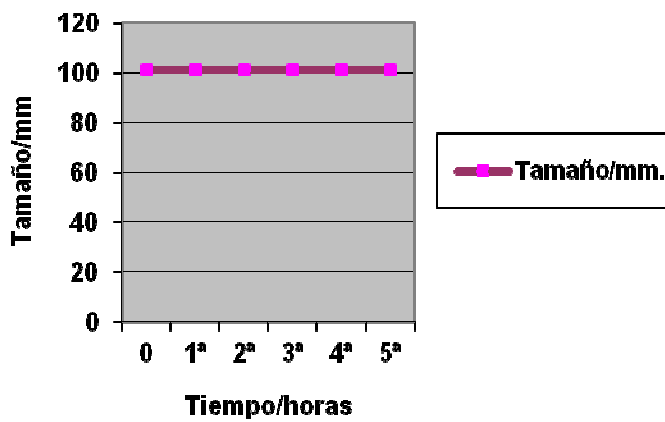
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



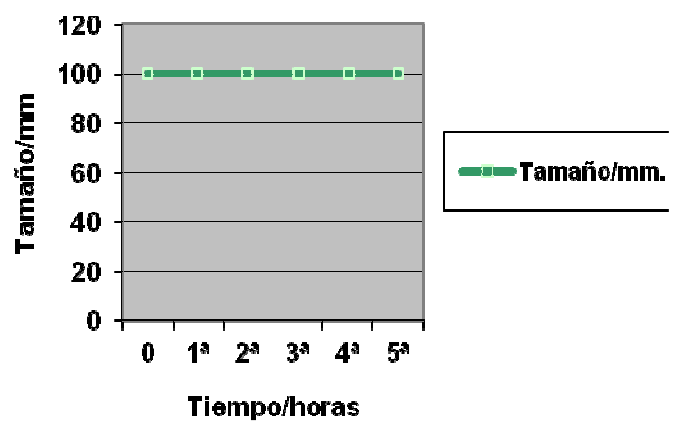
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse al secado total de la probeta, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

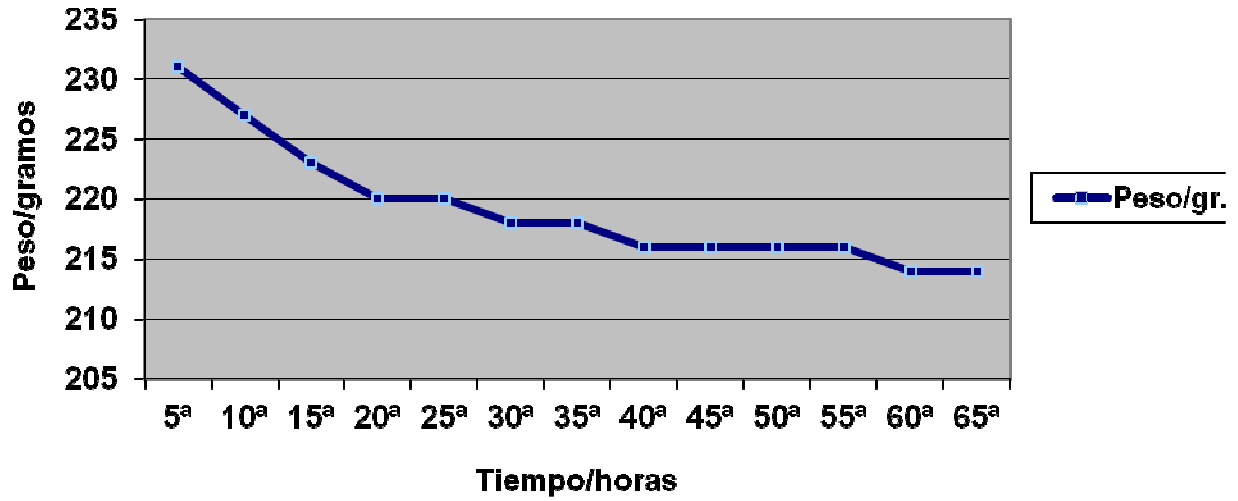
PROBETA PINO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	>Volumen/%
5 ^a	101 x 100 x 32	231	6,66%
10 ^a	101 x 100 x 32	227	6,66%
15 ^a	101 x 100 x 32	223	6,66%
20 ^a	101 x 100 x 32	220	6,66%
25 ^a	101 x 100 x 32	220	6,66%
30 ^a	101 x 100 x 32	218	6,66%
35 ^a	101 x 100 x 32	218	6,66%
40 ^a	101 x 100 x 32	216	6,66%
45 ^a	101 x 100 x 32	216	6,66%
50 ^a	101 x 100 x 32	216	6,66%
55 ^a	101 x 100 x 32	216	6,66%
60 ^a	101 x 100 x 32	214	6,66%
65 ^a	101 x 100 x 32	214	6,66%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso en la cantidad de agua contenida en la probeta en un total de 17 gr. (7,3%) en una mayor medida durante las 20 primeras horas. A continuación el descenso será menos pronunciado: de 2 gramos cada 10 ó 20 horas. En cuanto a la variación dimensional, no se aprecian alteraciones en la dirección perpendicular a la fibra (ancho) ni en la paralela (largo) y tampoco en el grosor de la probeta.

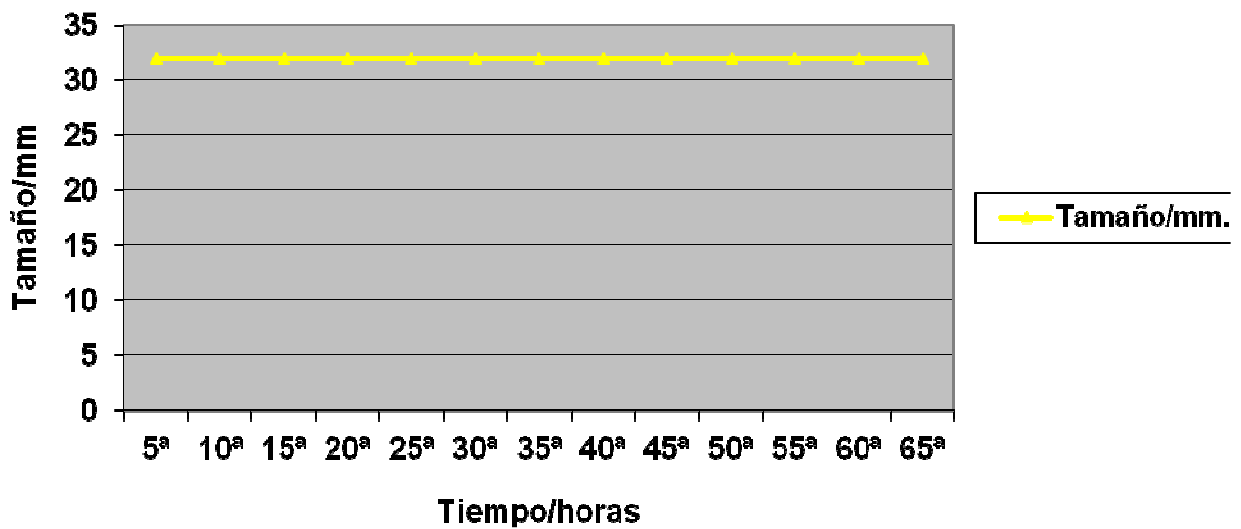
Gráficas de variables:

PROBETA PINO
VARIABLE DE PESO



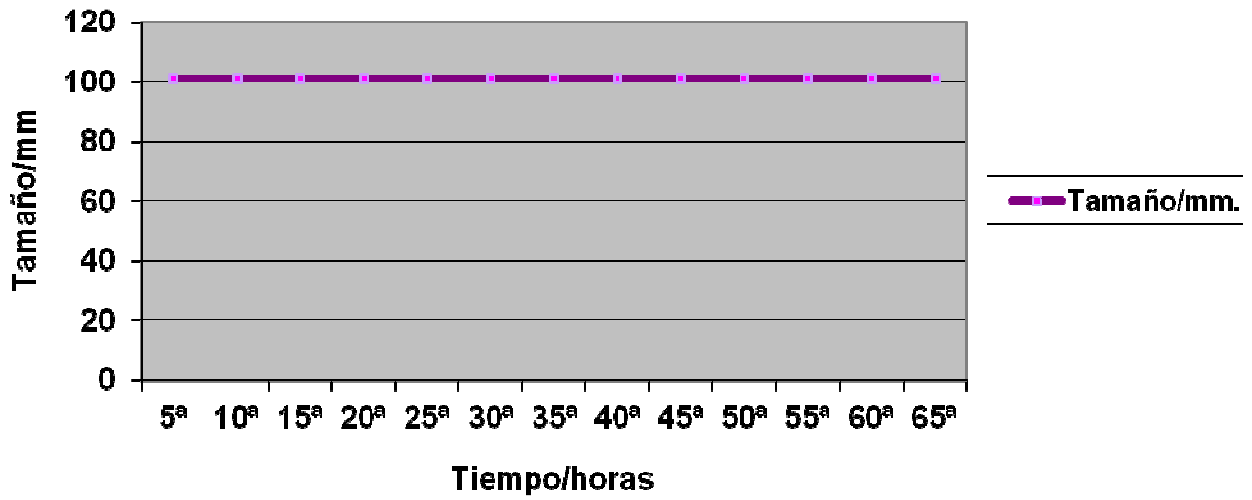
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



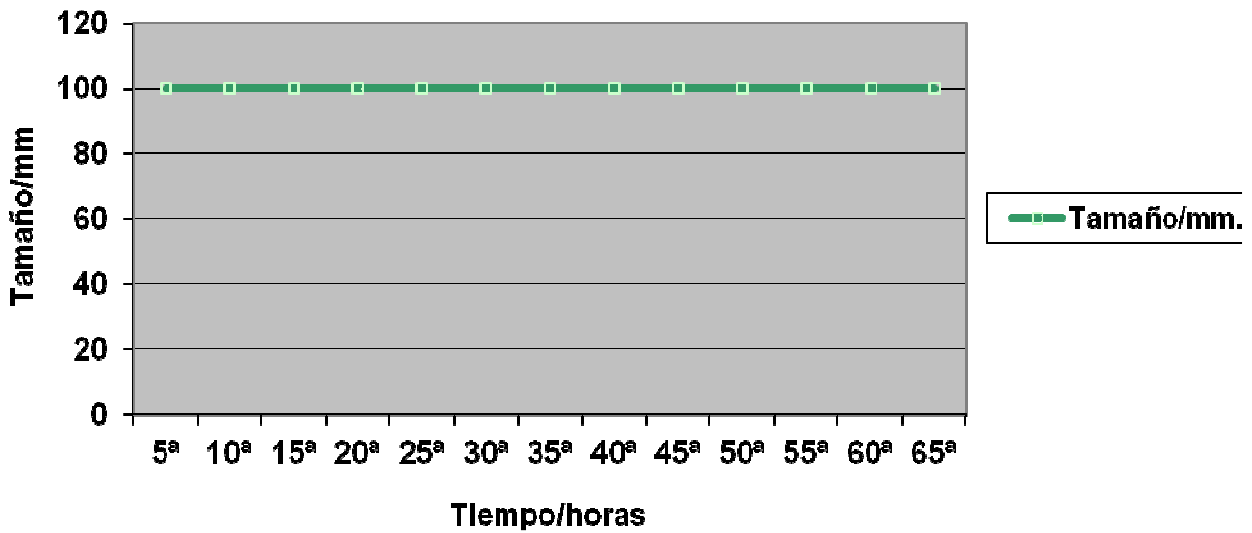
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Observaciones generales:

Al realizar una comparativa general del proceso de secado al aire realizado en este test, podemos observar que la diferencia de variación volumétrica en relación al test de absorción de humedad no modifica sus porcentajes, de modo que el incremento de volumen ahora se torna en merma. La pérdida de humedad contenida en las probetas hace que se reduzca el peso de las mismas y la capacidad higroscópica de cada especie de madera y del MDF marcan diferencias en cuanto al tiempo destinado al secado, destacando la probeta de madera de cedro por su alta capacidad giroscópica. Esta probeta necesita de 40 horas para su secado total, mientras que las demás requieren de 60 a 65.

A continuación mostramos una tabla comparativa de los porcentajes de deformación volumétrica que sufren las probetas durante el test acelerado de secado al aire:

PROBETA	INICIO	PERIODO DE 5 HORAS	PERIODO DE 65 HORAS
MDF	20%	20%	23,3%
HAYA	6,66%	6,66%	3,33%
CEDRO	6,66%	3,33%	3,33%
TILO	6,66%	6,66%	3,33%
PINO	10%	6,66%	6,66%

13.3. TEST ACELERADO DE SECADO AL HORNO.

Sirviéndonos de las mismas probetas saturadas de humedad nuevamente, procedemos a realizar el test acelerado de secado en horno con una temperatura de 100° C y por un periodo de tiempo de 10 horas.

13.3.1. Probeta de MDF.

Condiciones en las que se encuentra la probeta antes de realizar el test acelerado de secado al horno y saturada de humedad:

	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
MDF	101 x 100 x 37	347

- Dimensiones probeta de MDF: 101x 100 x 37 mm.
- Peso probeta de MDF: 347 gr.
- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso de la probeta de MDF en estado natural (seco): 201 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. En este caso, decidimos realizar el registro cada 60 minutos incluso a partir de la 5ª hora, por el acelerado descenso de peso y variación dimensional que en registros más distantes sería difícil de precisar.

PROBETA MDF			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	Volumen/ %
0	101x 100 x 37	347	23,3%
1 ^a	100 x 100 x 40	323	33,3%
2 ^a	100 x 100 x 40	286	33,3%
3 ^a	100 x 100 x 40	260	33,3%
4 ^a	100 x 100 x 40	241	33,3%
5 ^a	100 x 100 x 40	225	33,3%
6 ^a	100 x 100 x 39	216	30%
7 ^a	100 x 100 x 39	211	30%
8 ^a	100 x 100 x 39	205	30%
9 ^a	100 x 100 x 39	199	30%
10 ^a	100 x 100 x 39	195	30%

Observaciones:

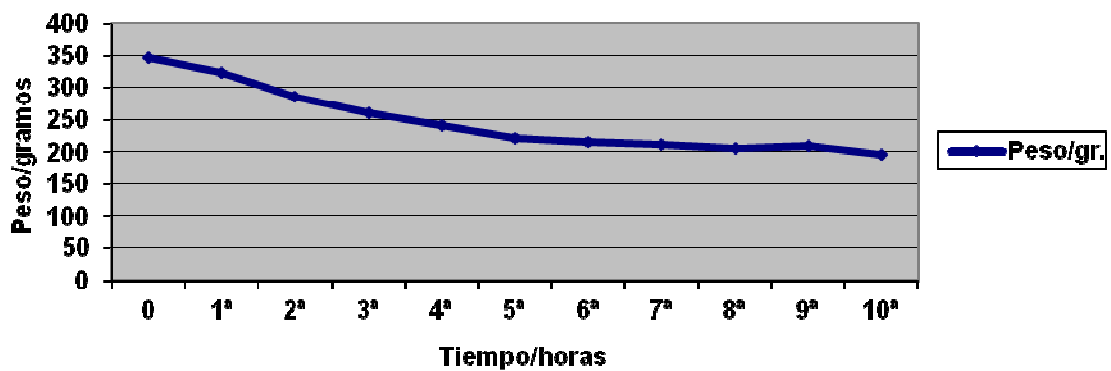
El proceso de secado es progresivo y rápido con una pérdida total de 152 gr. (43,8%), con una variable de entorno a los 20 gr. por hora durante las 5 primeras horas y algo más lento en el resto, cuando se aproxima al secado de la probeta. En cuanto a las dimensiones, aumenta en 3mm. (33,3%) el grosor en la primera hora de secado debido a la acción del calor y la humedad, que fomenta la hinchazón para después disminuir debido a la merma por secado de las fibras y al agrupamiento de éstas. Todos estos cambios de peso y variaciones dimensionales provocan en la probeta deformaciones de alabeo con respecto a la horizontal (Figura 12). Entre la 8^a y la 10^a hora se produce el secado total de la pieza.



Figura 12. Elaboración propia (2012). Véase la deformación de la probeta.

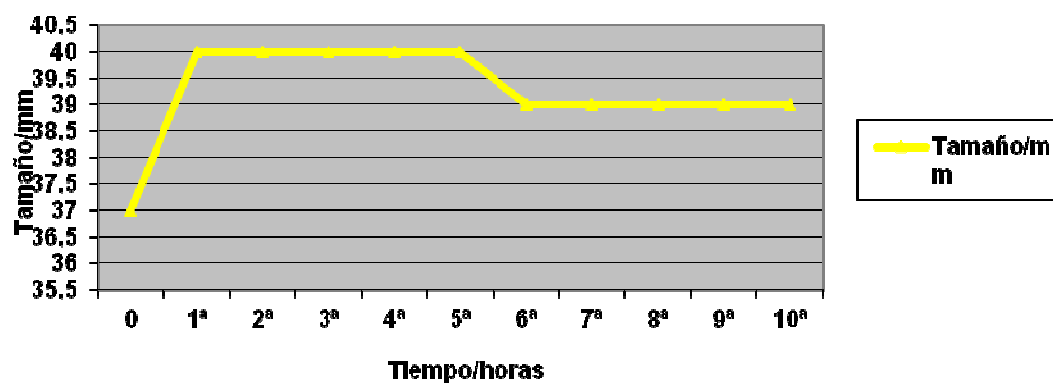
Gráfica de variables:

**PROBETA MDF
VARIABLE DE PESO**



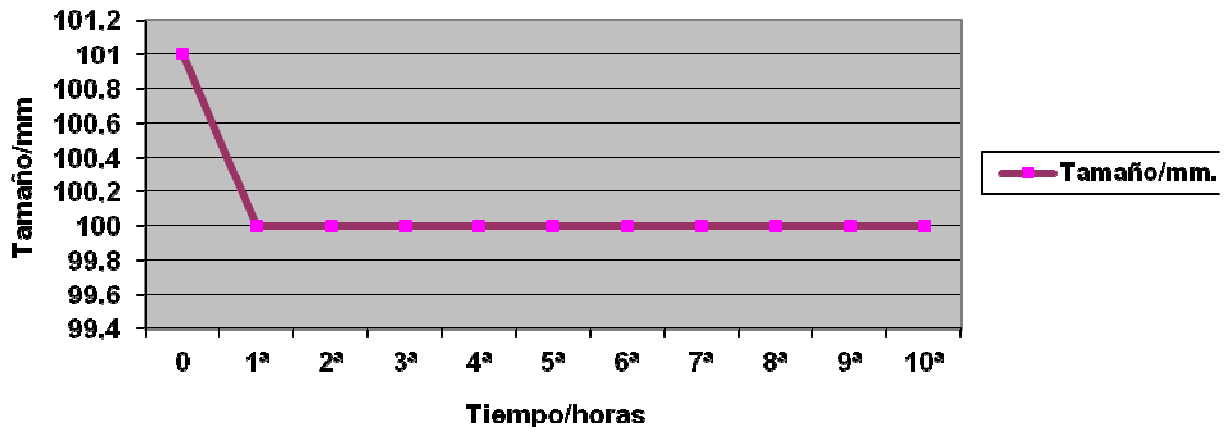
Gráficas de elaboración propia.

**PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR**



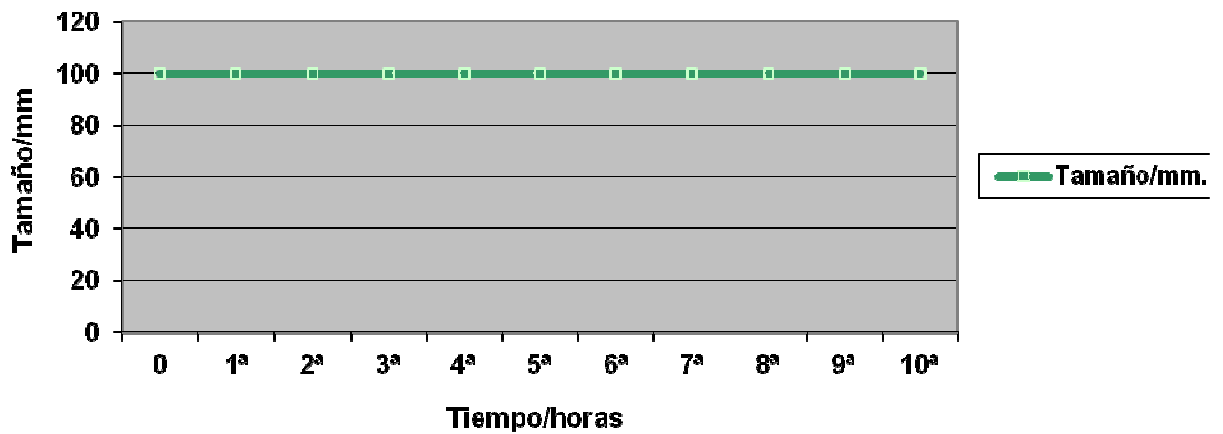
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

13.3.2. Probeta de madera de haya.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test acelerado de secado al horno y saturada de humedad:

HAYA	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	101 x 100 x 32	268

- Dimensiones probeta de madera de haya: 101x 100 x 32 mm.
- Peso probeta de madera de haya: 268 gr.
- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso de la probeta de madera de haya en estado natural (seco): 184 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. En este caso, decidimos realizar el registro cada 60 minutos incluso a partir de la 5ª hora, por el acelerado descenso de peso y variación dimensional que en registros más distantes sería difícil de precisar.

PROBETA HAYA			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	>Volumen/ %
0	101x 100 x 32	268	6,66%
1ª	107 x 100 x 32	241	6,66%
2ª	106 x 100 x 31	217	3,33%
3ª	105 x 100 x 31	201	3,33%
4ª	104 x 100 x 31	192	3,33%
5ª	102 x 100 x 31	183	3,33%
6ª	101 x 100 x 30	178	0%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test acelerado de secado al horno a la 6ª hora, porque el registro nos muestra que la probeta ha llegado al estado seco. El proceso ha sido progresivo y rápido, con una variable de entorno a los 10-20 gr. por hora. y una pérdida total de 90gr. (33,5%). En cuanto a las dimensiones, disminuye en 2mm. (6,2%) el grosor debido a la acción del calor, el secado y agrupamiento de las fibras. Estas variaciones dimensionales producto del efecto de la humedad y el calor producen, en la 2ª hora, la aparición de grietas, para que más tarde se pronuncie el combado de la probeta (Figura 13). Entre la 4ª y la 6ª hora se produce el secado total de la pieza.

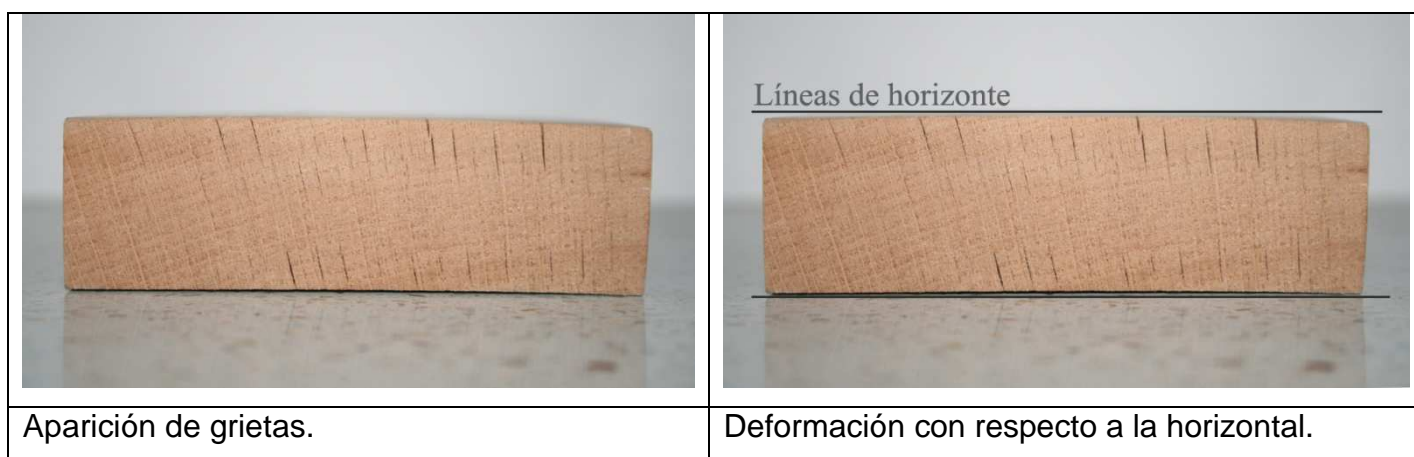
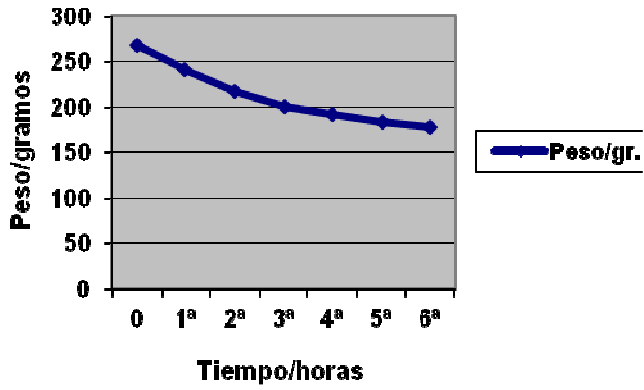


Figura 13. Elaboración propia (2012). Deformaciones y aparición de grietas.

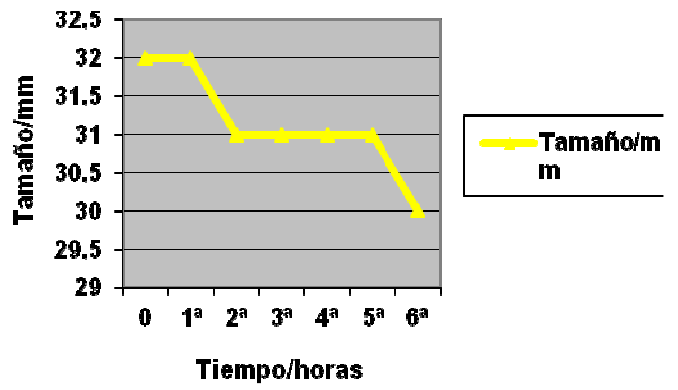
Gráfica de variables:

PROBETA HAYA

VARIABLE DE PESO



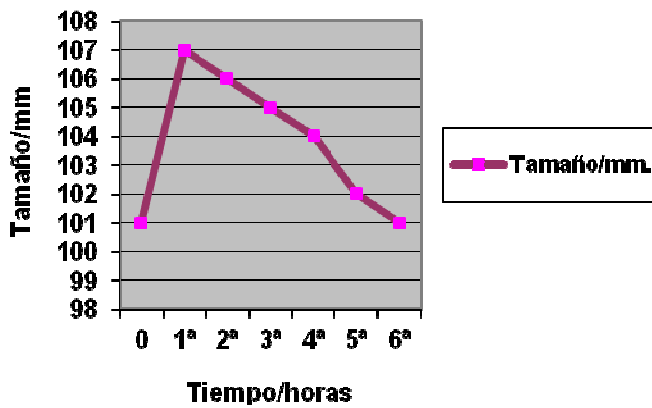
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



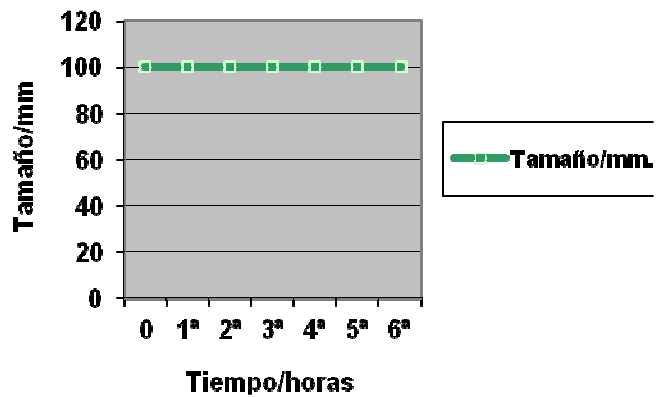
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.3.3. Probeta de madera de cedro.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test acelerado de secado al horno y saturada de humedad:

CEDRO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	101 x 100 x 31	158

- Dimensiones probeta de madera de cedro: 101x 100 x 31 mm.
- Peso probeta de madera de cedro: 158 gr.
- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso de la probeta de madera de cedro en estado natural (seco): 144 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. Realizamos el registro cada 60 minutos por el acelerado descenso de peso.

PROBETA CEDRO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	Volumen/ %
0	101x 100 x 31	158	3,33%
1 ^a	101 x 100 x 31	144	3,33%
2 ^a	100 x 100 x 31	139	3,33%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test acelerado de secado al horno a la 1^a hora, porque el registro nos muestra que la probeta ha llegado al estado seco, volviendo a pesar los mismos gramos que en estado natural de inicio de tests. El proceso

ha sido inmediato, con una variable de entorno a los 14 gr. por hora y una pérdida total de 19gr. (12%). Como anticipábamos en anteriores observaciones tras los test de absorción de humedad y secado al aire, la madera de cedro es la que menor cantidad humedad absorbe y la que más rápido seca, es decir, es una madera con una capacidad y velocidad higroscópica excelente. A partir de la 2ª hora de secado al horno aparecen grietas por desecación y combado de la probeta (Figura 14). La dirección perpendicular disminuye en 1 mm. (1%), mientras que la paralela y el grosor se mantienen inalterados.

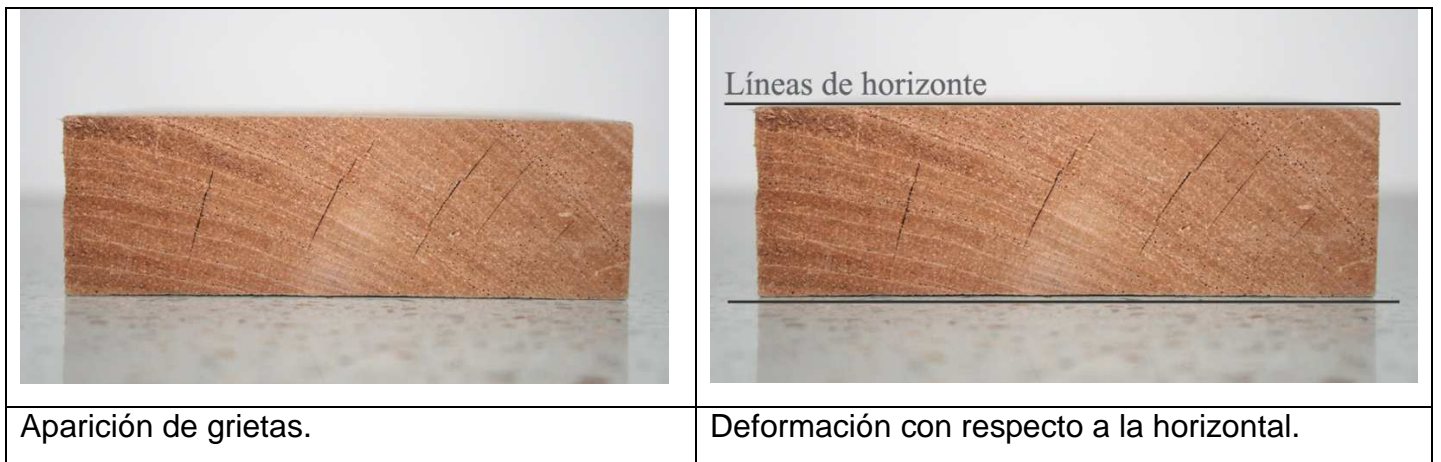
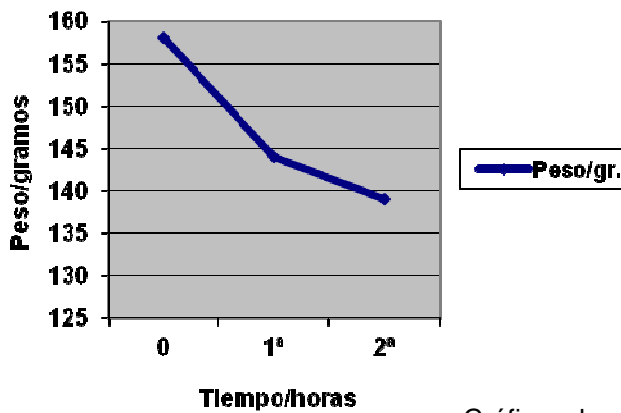


Figura 14. Elaboración propia (2012). Aparición de grietas y deformación de la probeta.

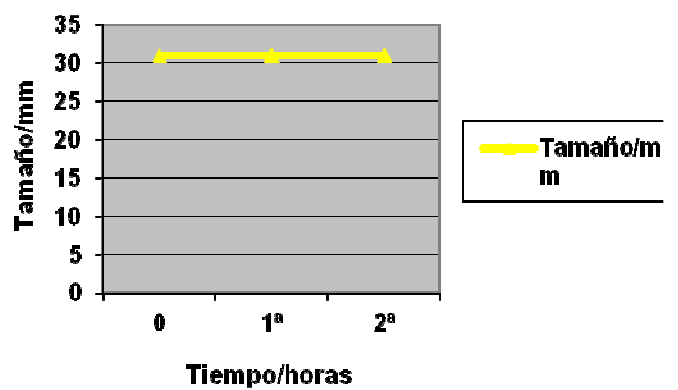
Gráfica de variables:

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE PESO



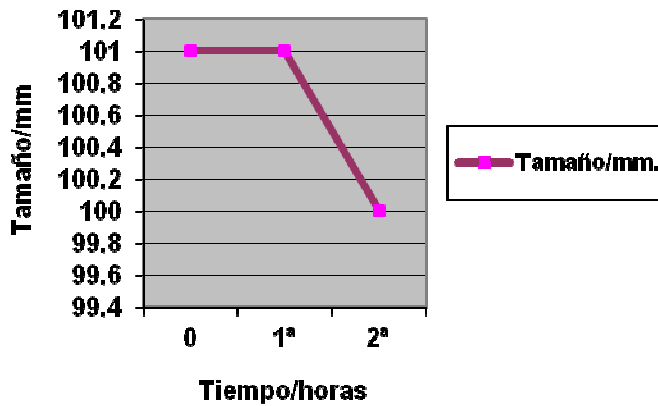
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



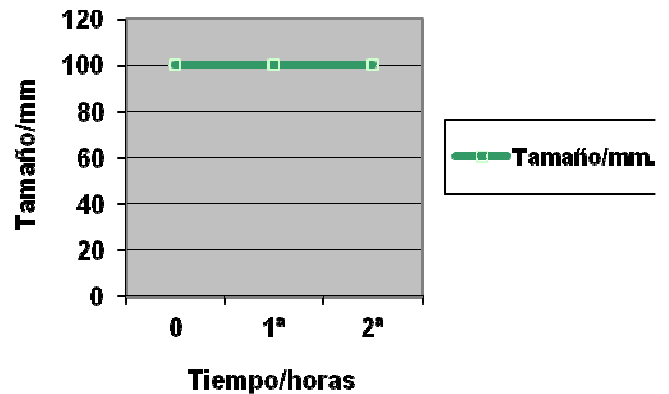
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.3.4. Probeta de madera de tilo.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test acelerado de secado al horno y saturada de humedad:

	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
TILO	103 x 101 x 33	193

- Dimensiones probeta de madera de tilo: 103x 101 x 33 mm.
- Peso probeta de madera de tilo: 193 gr.
- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso de la probeta de madera de tilo en estado natural (seco): 154gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos por el acelerado descenso de peso y variación dimensional que en registros más distantes sería difícil de precisar.

PROBETA TILO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	>Volumen/ %
0	103x 101 x 33	193	10%
1 ^a	105 x 101 x 33	172	10%
2 ^a	104 x 101 x 32	162	6,66%
3 ^a	102 x 101 x 32	152	6,66%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test acelerado de secado al horno a la 3^a hora, porque el registro nos muestra que la probeta ha llegado a estado seco tras la pérdida de 41 gr. (21,2%). El proceso ha sido progresivo y rápido, con un descenso de 21 gramos durante la primera hora de secado y 10 gramos en las sucesivas horas. En cuanto a las dimensiones, disminuye en 1mm. (3%) el grosor en la segunda hora de secado debido a la acción del calor que reagrupa las fibras. Estas variaciones dimensionales producto del efecto de la humedad y el calor provocan el aumento en 2 mm. (1,9%) en la dirección perpendicular a la fibra durante la primera hora y la posterior disminución en 3 mm. (2,8%) en la tercera. Además, durante la 2^a hora, se produce la aparición de grietas y leves deformaciones apenas perceptibles (Figura 15).

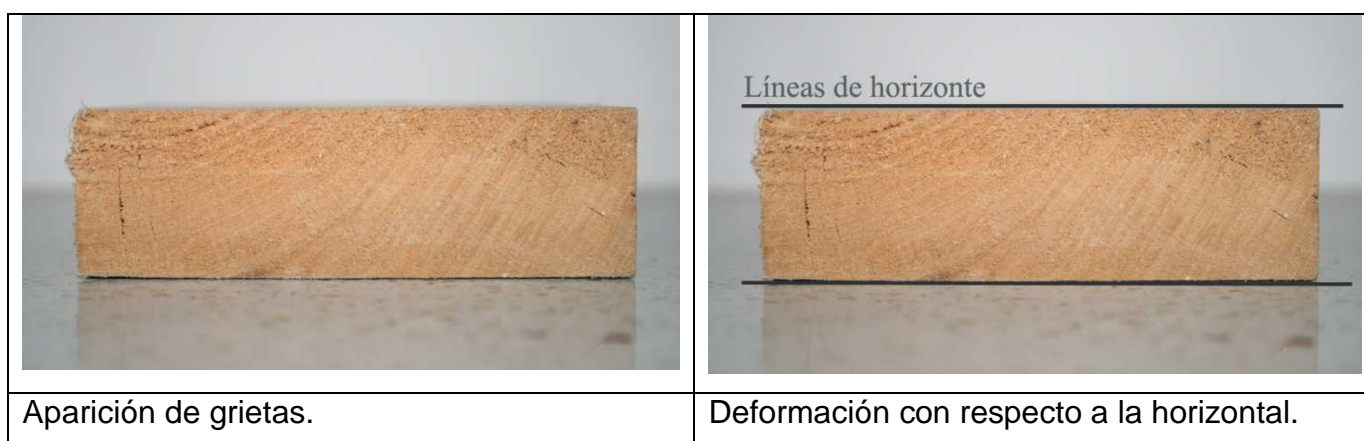
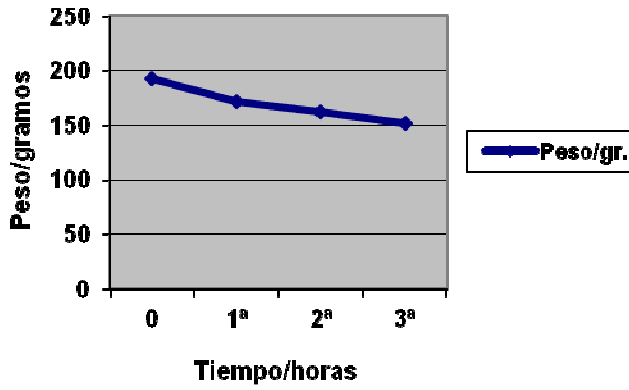


Figura 15. Elaboración propia (2012). Deformación y aparición de grietas.

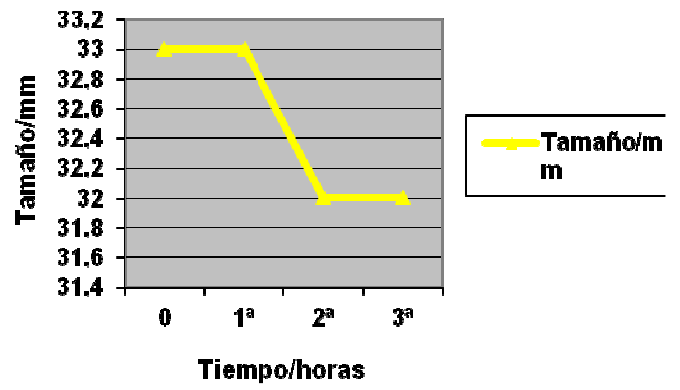
Gráfica de variables:

PROBETA TILO

VARIABLE DE PESO



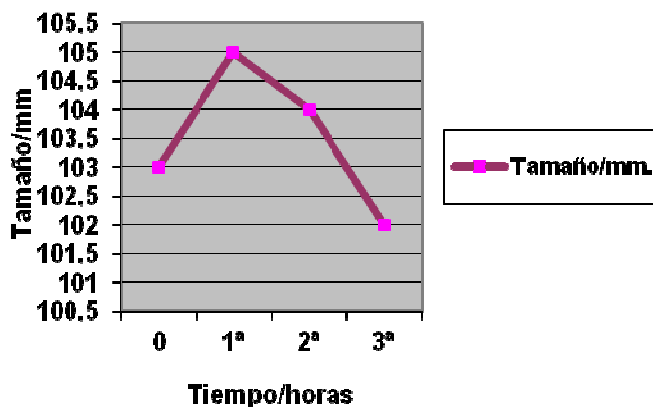
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



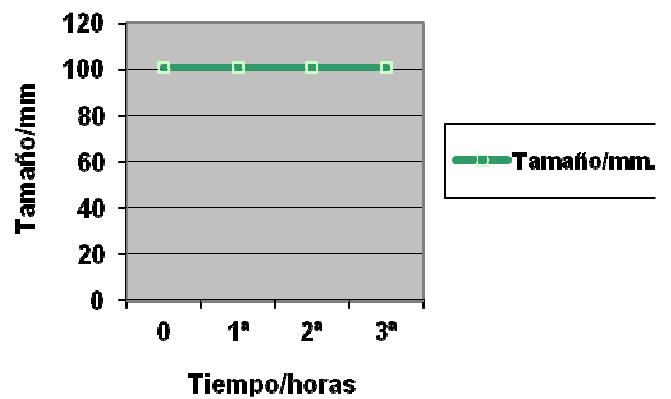
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

13.3.5. Probeta de madera de pino.

Condiciones en las que se encuentran la probeta antes de realizar el test acelerado de secado al horno y saturada de humedad:

PINO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	102 x 100 x 33	237

- Dimensiones probeta de madera de haya: 102x 100 x 33 mm.
- Peso probeta de madera de haya: 237 gr.
- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso de la probeta de madera de pino en estado natural (seco): 209gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos por el acelerado descenso de peso y variación dimensional.

PROBETA PINO			
Tiempo/1 hora	Tamaño/medidas/mm.	Peso/gr.	>Volumen/ %
0	102x 100 x 33	237	10%
1 ^a	102 x 100 x 32	222	6,66%
2 ^a	101 x 100 x 32	215	6,66%
3 ^a	101 x 100 x 32	209	6,66%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test acelerado de secado al horno a la 3^a hora, porque el registro nos muestra que la probeta ha llegado al estado seco. El proceso ha

sido rápido, con un descenso mayor durante la primera hora y algo menor en las dos restantes, con una pérdida total de 28 gr. (11,8%) En cuanto a las dimensiones, disminuye el grosor en 1mm. (3%) durante la primera hora de secado debido al agrupamiento de las fibras. Sorprendentemente, el registro refleja un decrecimiento en las dimensiones de la probeta en la dirección perpendicular a la fibra de 1 mm. (0,98%), pero a partir de la primera hora de secado comienzan a aparecer grietas acompañadas de exudación de resina por los pequeños nudos, radios y fibras cercanas a la médula (Figura 16). Durante la segunda hora las grietas se acentúan y continúa una abundante segregación de resina, además de deformaciones con respecto a la horizontal.

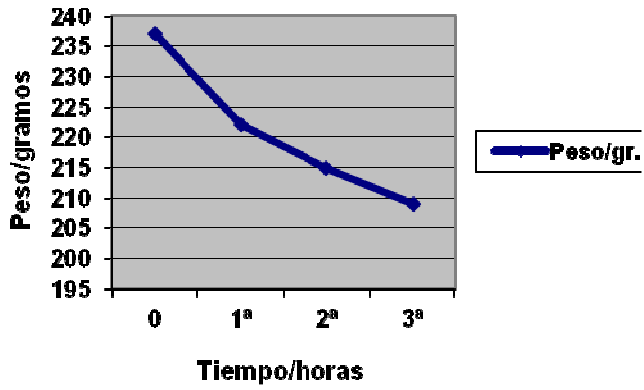
	
<p>Aparición de grietas.</p>	<p>Deformación con respecto a la horizontal.</p>
	
<p>Exudación de resina por nudos.</p>	<p>Exudación de resina por radios y fibras.</p>

Figura 16. Elaboración propia (2012). Aparición de grietas y exudación de resina.

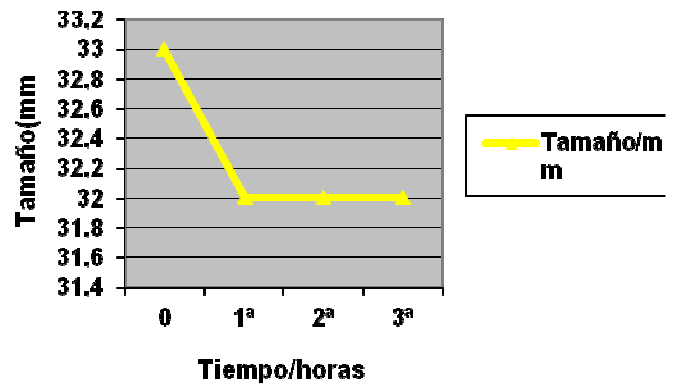
Gráfica de variables:

PROBETA PINO

VARIABLE DE PESO



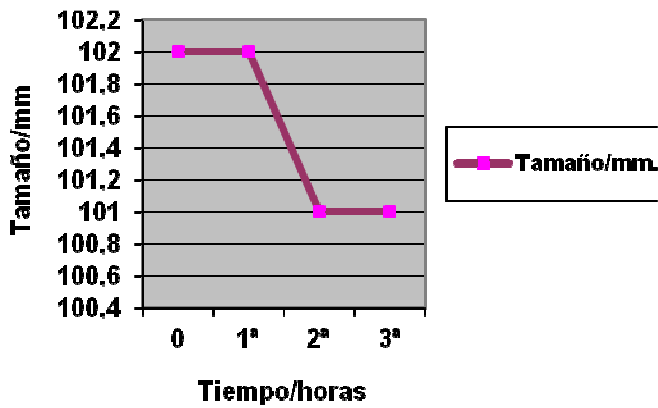
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



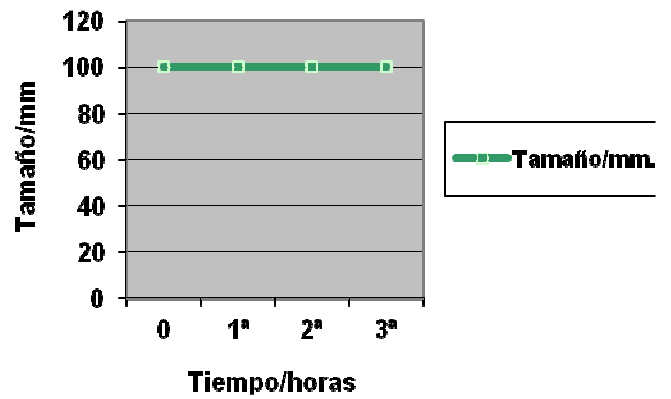
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Observaciones generales:

Tras realizar una valoración global de los resultados obtenidos, podemos concluir que en los procesos de secado artificiales, como es el caso del horno, cada especie de madera necesita de un tiempo determinado hasta su secado total aun siendo expuestas a la misma temperatura. Probetas que demuestran gran absorción de humedad como el MDF, pino o haya tardan mayor tiempo en secar al horno que probetas que tienen poca capacidad de absorción como el cedro, con tan sólo 2 horas hasta su secado total. La capacidad higroscópica es fundamental y nos advierte de la precaución que se debe mostrar a la hora de intervenir piezas de madera natural o tablero MDF en procesos de secado, a fin de no inducir en estado de desecación, aparición de fendas, grietas o provocar la exudación de resinas como muestran los resultados de este test.

A continuación mostramos una tabla comparativa del tiempo de secado que ha necesitado cada probeta y del porcentaje de variación:

PROBETA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL TEST HASTA SECADO				
	Inicio	2 horas	3 horas	6 horas	10 horas
MDF	23,3%				30%
HAYA	6,66%			3,33%	
CEDRO	3,33%	3,33%			
TILO	10%		6,66%		
PINO	10%		6,66%		

13.4. TEST ACELERADO DE REACCIÓN ANTE TEMPERATURAS EXTREMAS: ALTAS TEMPERATURAS.

El objetivo de este test es el de comprobar la reacción del tablero MDF ante altas temperaturas en exposiciones prolongadas y compararlo con las reacciones de las demás probetas de madera natural. Para ello, prolongaremos el tiempo de exposición a 100° C que iniciamos en el test acelerado de secado al horno hasta un total de 10 horas.

Estado de las probetas en estado seco:

ESTADO DE LAS PROBETAS ANTES DEL TEST		
PROBETA	DIMENSIONES / mm	PESO / gr
MDF	100 x 100 x 39	201
HAYA	102 x 100 x 31	184
CEDRO	101 x 100 x 31	144
TILO	102 x 101 x 32	154
PINO	101 x 100 x 32	209

Estado de las probetas tras el test de reacción ante altas temperaturas:

ESTADO DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL TEST			
PROBETA	DIMENSIONES / mm	PESO / gr	VOLUMEN%
MDF	100 x 100 x 39	195	0%
HAYA	100 x 100 x 30	170	3,33%
CEDRO	100 x 100 x 30	129	3,33%
TILO	101 x 100 x 31	142	3,22%
PINO	100 x 100 x 30	190	6,66%

Observaciones generales:

Durante las horas de exposición a altas temperaturas, el nivel de peso de cada una de las probetas descendió. El efecto del calor, tras provocar en el test de secado una hinchazón en las probetas, ahora trae consigo la merma causada por la desecación del material, que incluso favorece en la atenuación y cierre de las fendas y grietas que aparecieron en las probetas de madera natural. En el caso de la probeta de pino, que por efecto del secado al horno segregó resina, la exposición prolongada hasta la 10ª hora trae como consecuencia una exudación mayor (Figura 17).



Figura 17. Elaboración propia (2012). Disminución de grietas y exudación de resina.

Es interesante destacar, que a diferencia de las probetas de madera natural en las que aparecen grietas y fendas por desecación tras los test de secado y de exposición a altas temperaturas, la probeta MDF sólo muestra efectos de hinchazón y merma, sin la aparición de fendas longitudinales.

13.5. TEST ACELERADO DE REACCIÓN A TEMPERATURAS EXTREMAS: CONGELACIÓN.

Volviendo al estado de saturación de humedad de cada una de las probetas, tras el proceso de secado al horno, procedemos al test acelerado de congelación a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas, con el objetivo de comprobar cómo se comporta el MDF y el resto de maderas naturales y qué alteraciones puede sufrir.

Estado de las probetas saturadas de humedad:

ESTADO DE LAS PROBETAS ANTES DEL TEST		
PROBETA	DIMENSIONES / mm	PESO / gr
MDF	101 x 100 x 37	339
HAYA	106 x 100 x 31	262
CEDRO	101 x 100 x 31	157
TILO	102 x 101 x 32	190
PINO	102 x 100 x 32	236

Estado de las probetas tras el test acelerado de congelación:

ESTADO DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL TEST			
PROBETA	DIMENSIONES / mm	PESO / gr	VOLUMEN%
MDF	100 x 100 x 36	335	2,7%
HAYA	104 x 100 x 31	260	1,8%
CEDRO	101 x 100 x 31	155	0%
TILO	103 x 101 x 32	187	0,9%
PINO	101 x 100 x 32	234	0,9%



Figura 18. Elaboración propia (2012). Congelación de probeta MDF tras saturación de humedad.

Observaciones generales:

Observamos una disminución de tamaño en 1-2 mm en las probetas en la dirección perpendicular a la fibra y no tanto en el grosor tras el estado de congelación al mermar las fibras de las maderas. De igual modo, percibimos deformaciones en las probetas por los efectos de retracción y turgencia provocados, con casi total seguridad, por los cambios de temperatura y del estado del agua: paso de líquido a sólido. Queda reflejado una disminución del peso de las probetas de 2 a 4 gr. entre el estado de saturación de agua y el de congelación. Posiblemente se deba a una pérdida de humedad durante el tiempo transcurrido hasta la congelación, lo que conlleva una disminución de peso.

En este caso, únicamente incorporamos la imagen de la probeta de MDF en estado de congelación (Figura 18) por ser ésta la que mejor muestra los efectos de este cambio de estado, además de ser la que mayor interés nos suscita como objeto de estudio en nuestra investigación.

14. CONSTRUCCIÓN DEL EMBÓN CON TABLERO DE FIBRAS MDF.

Para la preparación del embón seleccionamos tres piezas de recorte de tablero de las mismas dimensiones y el mismo grosor que las probetas sometidas a los anteriores tests: 100 x 100 x 30 mm (Figura 19). Es necesario que sean tres piezas como mínimo para que una de ellas quede emparedada con las otras y tenga contacto directo con el adhesivo en sus dos caras de unión. Es una aproximación reducida de lo que sería un embón tradicional para escultura.



Figura 19. Elaboración propia (2012).
Recortes de tablero MDF.

Construiremos tres embones con los siguientes adhesivos para unir las piezas:

- Adhesivo de acetato de polivinilo, por ser un adhesivo común en la unión de piezas de madera y preparación de embones para escultura.
- Adhesivo de poliuretano en base de isocianato, como adhesivo alternativo para la unión de piezas de madera y otros materiales cuyas aplicaciones actuales se destinan directamente a la fabricación industrial de tableros de fibras, mejorando aptitudes con respecto a la humedad.
- Adhesivo vinílico en base de neopreno, como adhesivo alternativo empleado normalmente en la industria del calzado y con fuertes propiedades de adhesión por contacto.

14.1. Embón de MDF por medio de acetato de polivinilo.

Construcción del embón a partir de tres recortes de tablero MDF de 100x100x30 mm. unidos mediante acetato de polivinilo aplicado a pincel en una de las caras de las piezas a unir (Figura 20), quedando una superficie continua que permita enlazar con la siguiente superficie de tablero, de tal modo que el extendido del adhesivo cubra toda la superficie desde el momento de aplicación hasta el total curado.



Figura 20. Elaboración propia (2012). Aplicación del adhesivo.

Las uniones se hacen por frotamiento de las caras de las piezas con el objetivo de que se produzca una buena humectación de las superficies y una buena adhesión por presión atmosférica, ya que el aire que existe entre los cuerpos y el adhesivo habrá sido expulsado. Este tipo de unión es válida cuando las caras de las piezas a unir están lijadas y lisas, casi pulidas y en el caso del MDF es así, puesto que las caras están pulidas al salir de fábrica.

Se ejerce presión mediante sargentos de sujeción (Figura 21) distribuyendo la presión por la superficie del embón durante 24 horas para asegurar un curado total del adhesivo y que éste adquiera la máxima resistencia y consistencia desde el momento de retirar la presión, además de que así se expulsará el exceso de adhesivo aplicado, quedando finalmente una capa con un espesor

adecuado que multiplique el esfuerzo necesario para la deformación o separación de la película de adhesivo. (Véase el apartado 12 de esta investigación en el que se habla de las características y formación de la unión por medio de adhesivos)

Figura 21. FIJACIÓN MEDIANTE SARGENTOS

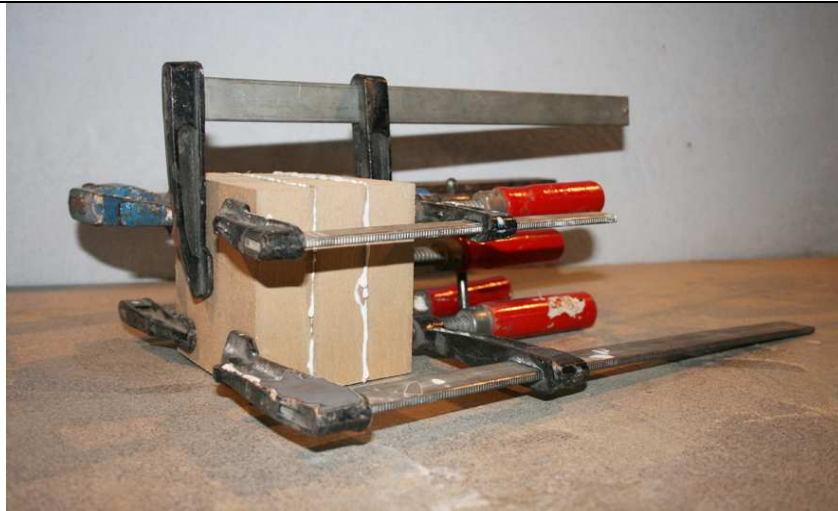


Figura 21. Elaboración propia (2012). Fijación mediante sargentos.

Tras el curado total del adhesivo y retirando la presión ejercida por los sargentos, procedemos a homogeneizar las superficies del embón por medio del lijado mecánico (Figura 22).

Figura 22. LIJADO MECÁNICO



Figura 22. Elaboración propia (2012). Lijado mecánico

El embón resultante es de 100x100x90 mm., lo más aproximado a la normalización con el resto de probetas sometidas a los test y con los siguientes embones.

14.2. Embón de MDF por medio de adhesivo de poliuretano en base de isocianato.

Construcción del embón a partir de tres recortes de tablero MDF de 100x100x30 mm. unidos mediante adhesivo de poliuretano en base de isocianato aplicado a cordón y extendido a pincel en una de las caras de las piezas a unir para conseguir (Figura 23), como en el anterior caso, una superficie continua que permita enlazar con la siguiente superficie de madera. Este adhesivo se caracteriza por su resistencia a golpes, vibraciones, acción de la humedad y presenta altas cualidades de resistencia a flexión.

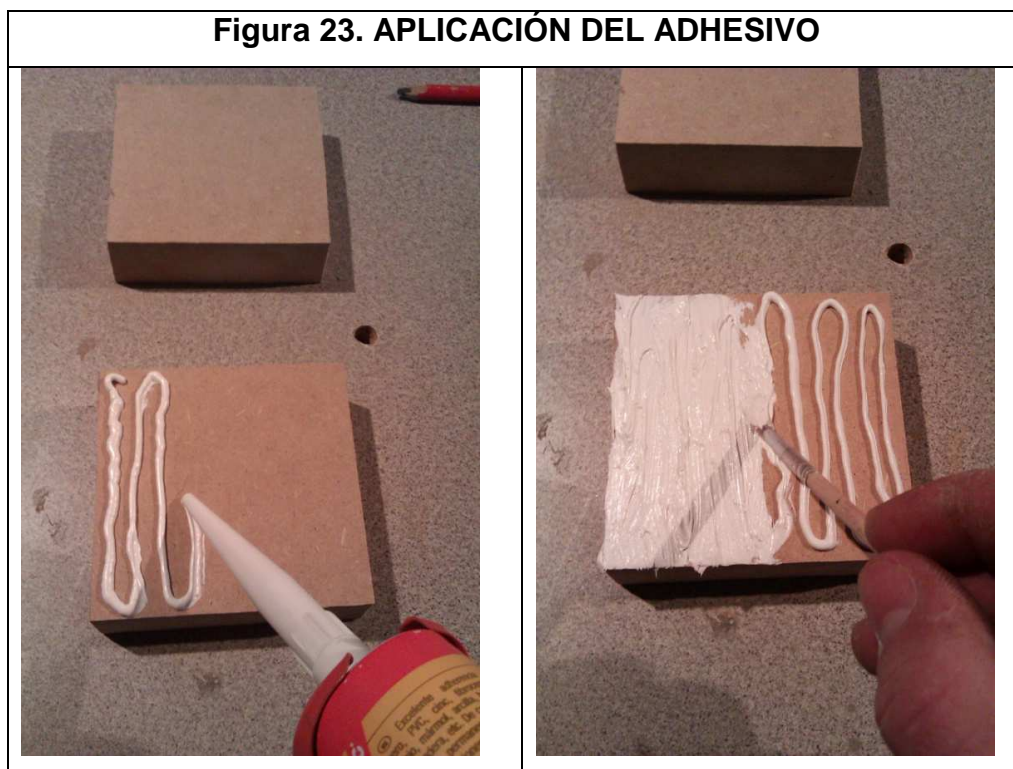


Figura 23. Elaboración propia (2012). Aplicación del adhesivo.

Las uniones se realizan por frotamiento de las caras para fomentar la humectación (ya que este adhesivo tiene una viscosidad más baja que el acetato de polivinilo) de las superficies y la adhesión por presión atmosférica,

favoreciendo, de igual manera, la expulsión del aire residente entre las piezas y el adhesivo. Se ejerce presión mediante sargentos de sujeción durante 24 horas, para expulsar la cantidad de adhesivo sobrante, asegurando de este modo el total curado al retirar la presión y evitando la expansión característica de los poliuretanos al curar, que podría causar deformaciones en el embón.

El embón resultante tras la unión de piezas, el curado del adhesivo y la homogeneización de las superficies por el lijado mecánico es de 100x100x90 mm.

14.3. Embón de MDF por medio de adhesivo vinílico en base de neopreno.

Construcción a partir de tres recortes de tablero de MDF de 100x100x30 mm unidos mediante adhesivo vinílico en base de neopreno aplicado a pincel en ambas caras de las piezas a unir (Figura 24). Una vez aplicada una capa fina del adhesivo en ambas caras, se espera unos minutos para que se produzca el vaporizado del disolvente, hasta que la superficie de la capa de adhesivo esté mordiente, comprobándolo al tacto con las yemas de los dedos ejerciendo una leve presión.



Figura 24. Elaboración propia (2012). Aplicación del adhesivo.

Solamente es necesario ejercer un par de minutos de presión sobre las piezas para que éstas queden unidas sin necesidad de sargentos de presión, pero no obstante y con el objetivo de expulsar las posibles burbujas de aire de entre las piezas y el adhesivo, sometemos a presión por los mismos mecanismos de sujeción durante 60 minutos. La característica fundamental de esos adhesivos es el alto grado de adhesión por contacto cuando las superficies en las que se ha aplicado están mordientes, de ahí que la necesidad de ejercer una larga presión para el curado total sea innecesaria en muchos casos. La película de aplicación ha de ser fina, pero en superficies porosas, aún estando pulidas como la madera o el MDF, y debido a la fluidez de este adhesivo, se corre el riesgo de pérdida por capilaridad y por tanto de las propiedades de adhesión. La resistencia y consistencia total de este tipo de adhesivos de contacto se adquieren a las 24 horas tras su aplicación.

El resultado final, tras el curado y lijado de las superficies es un embón de 100x100x90 mm.

15. ANÁLISIS DEL EMBÓN SOMETIDO A PRUEBAS.

Para completar el apartado de análisis comparativo del MDF sometido a pruebas, aplicaremos diferentes test a los embones que anteriormente hemos realizado (Figura 25). El objetivo de los test es la demostración empírica del comportamiento del MDF ante condiciones ambientales adversas a fin de determinar las mejores condiciones de trabajo en escultura y su posterior conservación.

Resultado de los tres tipos de embón realizados mediante los diferentes adhesivos descritos en la parte superior del bloque:

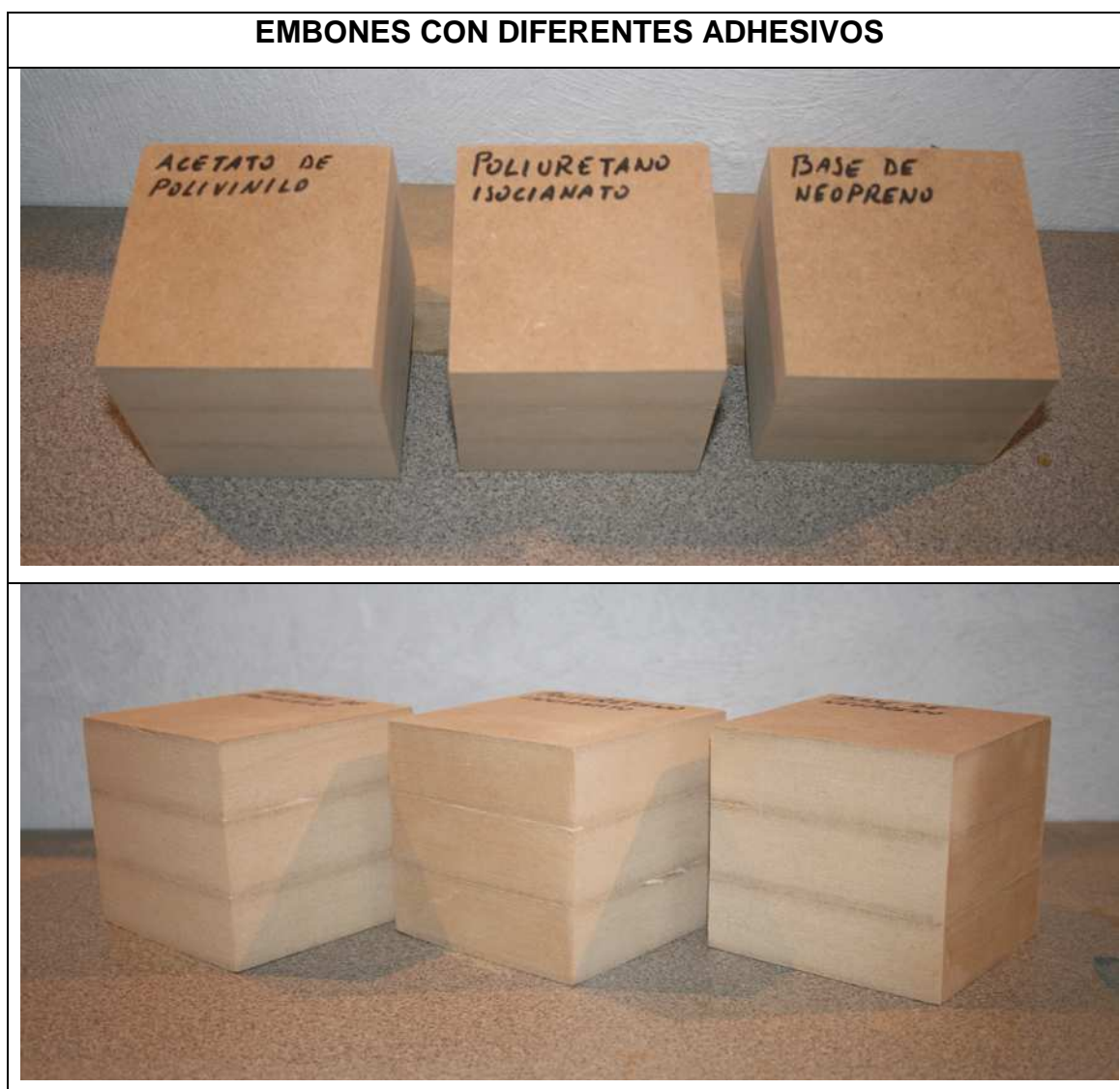


Figura 25. Elaboración propia (2012). Embones resultantes antes de ser sometidos a test.

15.1. TEST ACELERADO DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD.

Al igual que en el caso de las probetas, se sumergirá cada embón en un recipiente con agua para comprobar la capacidad de absorción y las posibles variaciones dimensionales, de peso y posibles deformaciones por la hinchazón. Aún siendo exactamente iguales todos los embones, presentan en un inicio diferencias mínimas de peso, producidas quizás por el peso de los adhesivos

empleados o por el proceso de lijado a la hora de afinar y homogeneizar las superficies y la consecuente e inevitable pérdida de materia.

15.1.1. Embón de MDF por medio de acetato de polivinilo.

Características del embón de MDF en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometido al test acelerado de absorción de humedad:

EMBÓN MDF	Dimensiones / mm	Peso / gr
ACETATO POLIVINILO	100 x 100 x 90	601


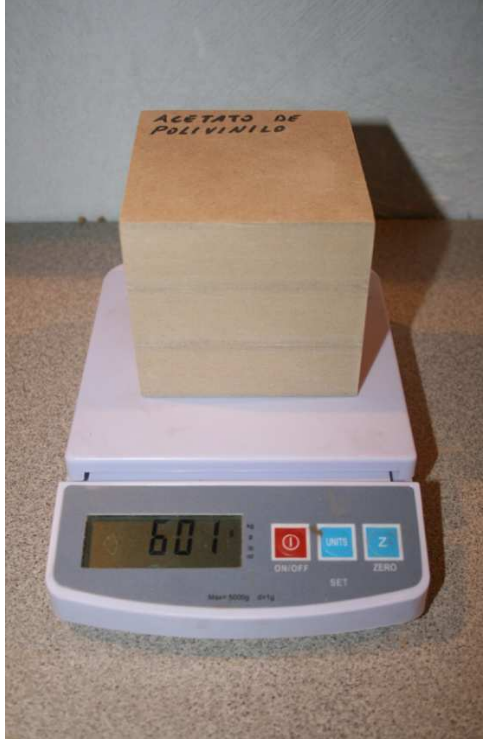
EMBÓN DE MDF-ACETATO DE POLIVINILO	
DIMENSIONES	PESO
	
100x100x90 mm.	601 gramos.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas y peso.



Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total del embón.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 90	601	0%
1 ^a	100 x 100 x 91	617	1,11%
2 ^a	100 x 100 x 91	624	1,11%
3 ^a	100 x 100 x 91	631	1,11%
4 ^a	100 x 100 x 91	639	1,11%
5 ^a	100 x 100 x 92	645	2,22%

Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, el embón ha variado sus dimensiones en 2 mm. (2,22%) en su grosor, además de incrementar su peso en 44 gramos (7,3%), de los cuales 16 son en la primera hora y durante el resto el incremento es de unos 6-7 gr. por hora. No existe variación en las dimensiones ancho/largo del embón. En la siguiente imagen (Figura26) mostramos los efectos de hinchazón en el embón y la variación de 1 mm. más en su grosor.

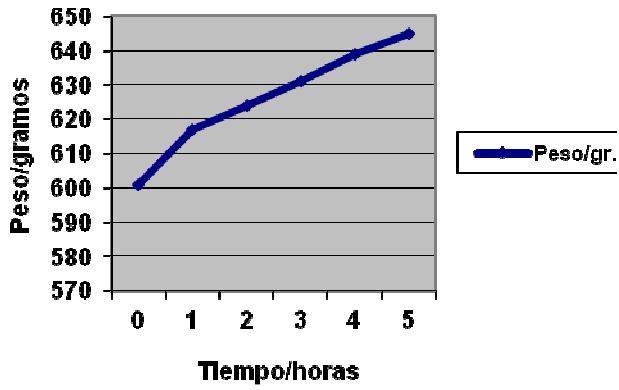


Figura 26. Imagen de elaboración propia (2012). Efecto de hinchazón por causa de la humedad.

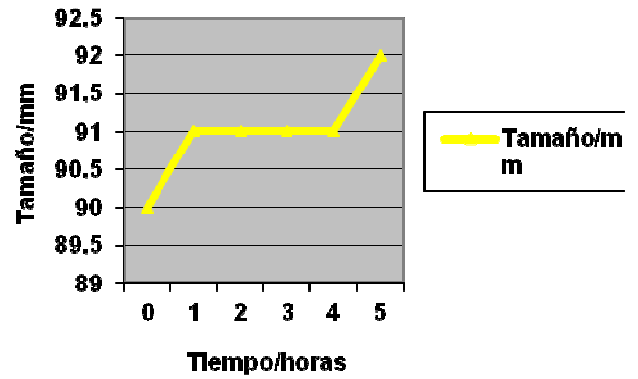
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE PESO



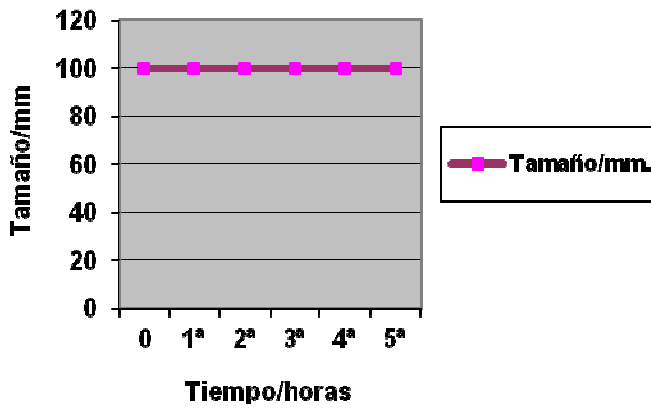
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



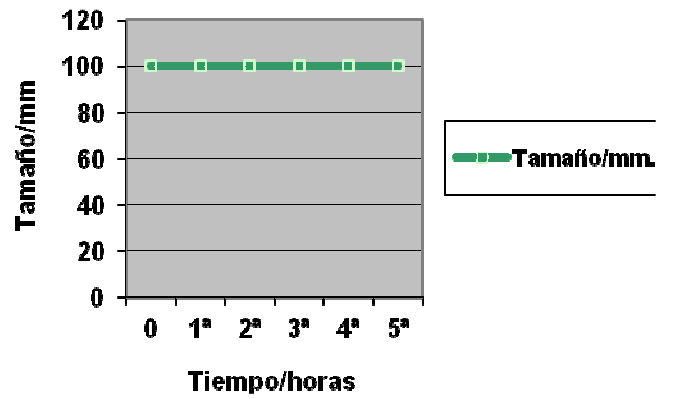
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 92	645	2,22%
10 ^a	100 x 100 x 93	664	3,33%
15 ^a	100 x 100 x 94	673	4,44%
20 ^a	100 x 100 x 96	683	6,66%
25 ^a	100 x 101 x 97	690	7,77%
30 ^a	100 x 101 x 98	696	8,88%

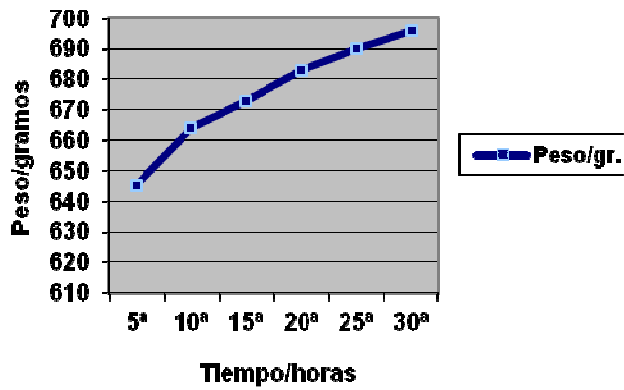
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo el embón durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 51 gr. (7,9%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión. Como ocurre en todos los test de absorción de humedad, tanto en probetas como en embones, los inicios de cada test (1^o hora y 5^o) son los que reflejan una mayor absorción de humedad, en comparación con el resto de registros. De igual forma, incrementa su tamaño en 6 mm. (8,88%) de grosor en los extremos del embón, en una relación de 2,6 mm. por cada pieza que lo compone 1 mm. por hora en el conjunto del embón. No se percibe pérdida de las cualidades del adhesivo ni principio de separación de piezas.

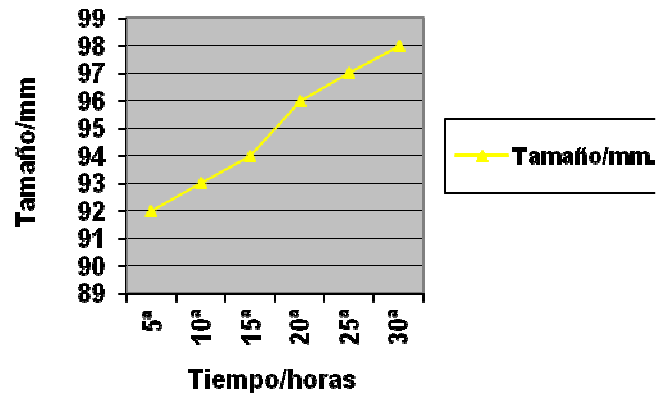
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE PESO



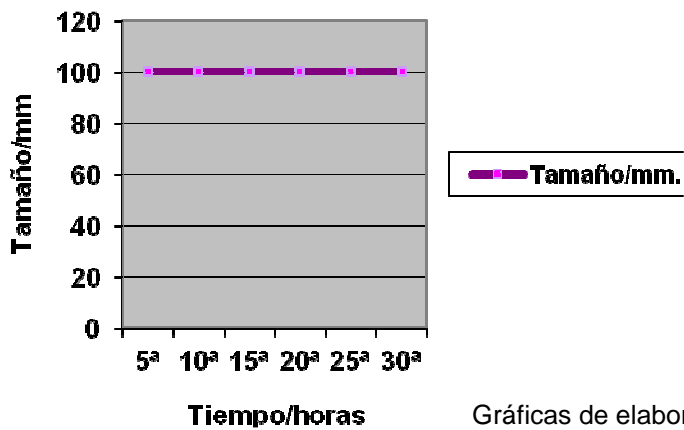
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



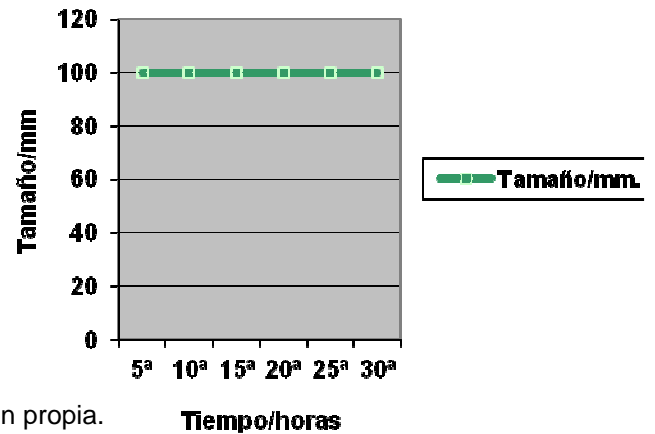
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.1.2. Embón de MDF por medio de adhesivo de poliuretano-isocianato.

Características del embón de MDF en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometido al test acelerado de absorción de humedad:

EMBÓN MDF POLIURETANO- ISOCIANATO	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 90	595

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO	
DIMENSIONES	PESO
	
100x100x90 mm.	595 gramos.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas y peso.

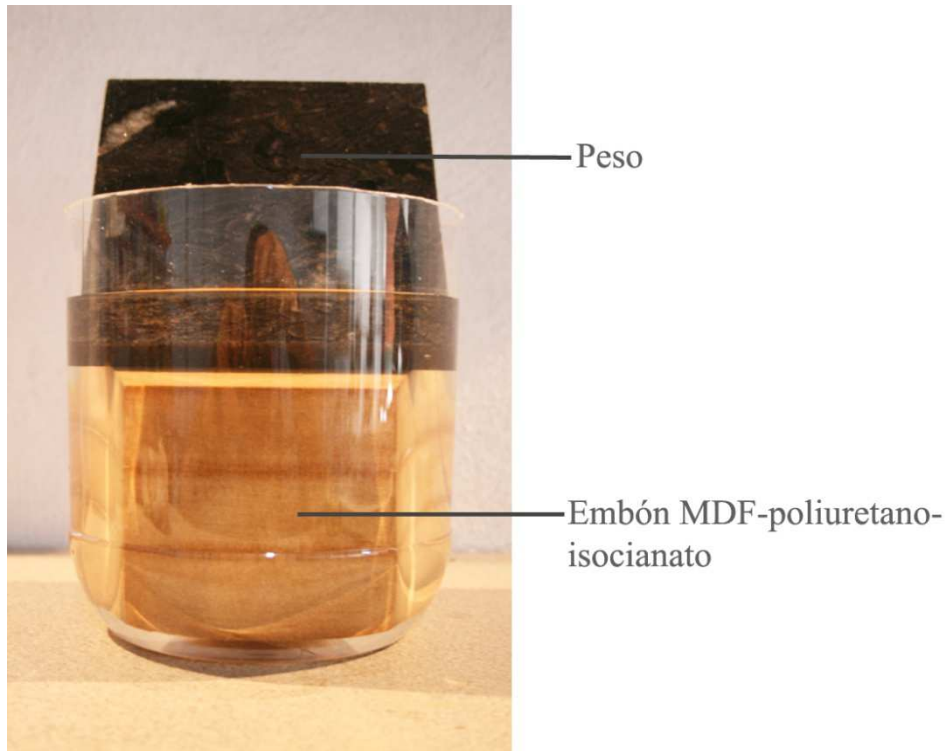


Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total del embón.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 90	595	0%
1 ^a	100 x 100 x 91	613	1,11%
2 ^a	100 x 100 x 91	622	1,11%
3 ^a	100 x 100 x 91	629	1,11%
4 ^a	100 x 100 x 91	636	1,11%
5 ^a	100 x 100 x 92	641	2,22%

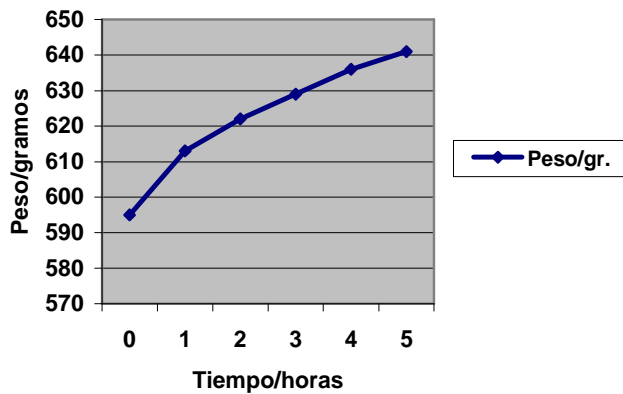
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, el embón ha variado sus dimensiones en 2 mm. (2,22%) en su grosor, además de incrementar su peso en 46 gramos, de los cuales 18 son en la primera hora y durante el resto el incremento oscila entre los 6-7 gr. (7,7%) por hora. No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta.

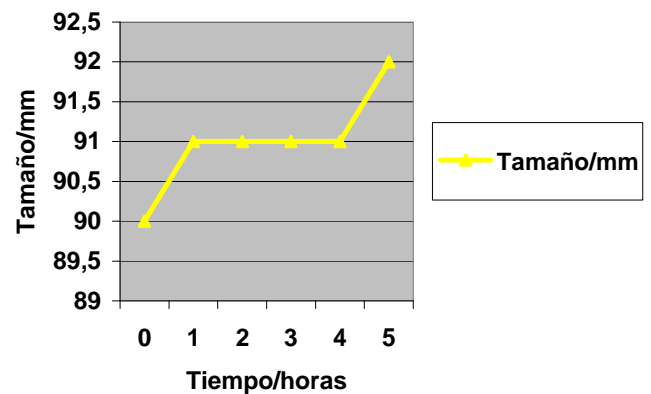
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE PESO



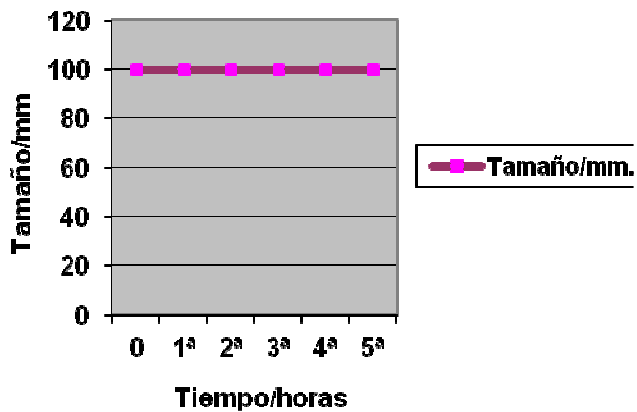
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



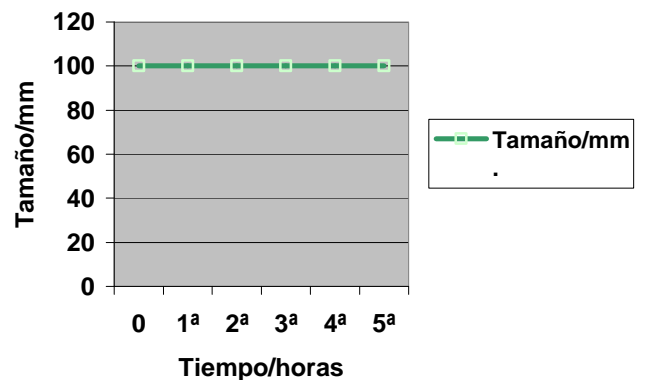
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 92	641	2,22%
10 ^a	100 x 100 x 93	660	3,33%
15 ^a	100 x 100 x 94	669	4,44%
20 ^a	100 x 100 x 95	676	5,55%
25 ^a	100 x 101 x 96	684	6,66%
30 ^a	100 x 101 x 97	690	7,77%

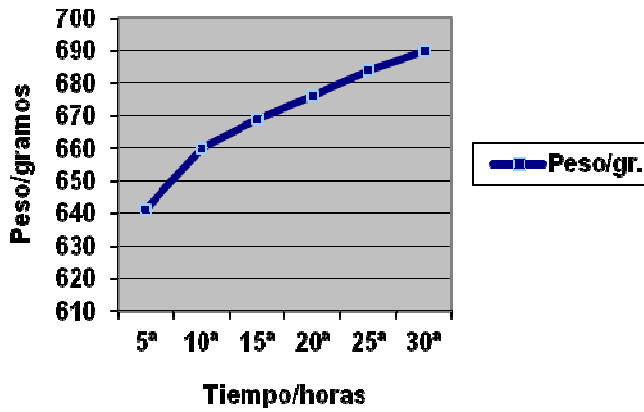
Observaciones:

Tras sumergir de nuevo el embón durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 49 gr. (7,6%) más que la última medición en estado húmedo en la 5^o hora de inmersión. Como ocurre en el anterior test al embón hecho por acetato de polivinilo, los inicios de cada test (1^o hora y 5^o) son los que reflejan una mayor absorción de humedad, en comparación con el resto de registros, aunque se mantiene un paralelismo en los datos que tiende a variar unos gr. Al igual que en el caso anterior, éste embón incrementa su tamaño en 5 mm. (7,77%) más de grosor en los extremos, en una misma relación de hinchazón de 2 a 3 mm. por cada pieza que lo compone. En total, el incremento de tamaño se corresponde a 1mm. por hora de inmersión. No se aprecia pérdida de adhesivo ni principio de separación de piezas.

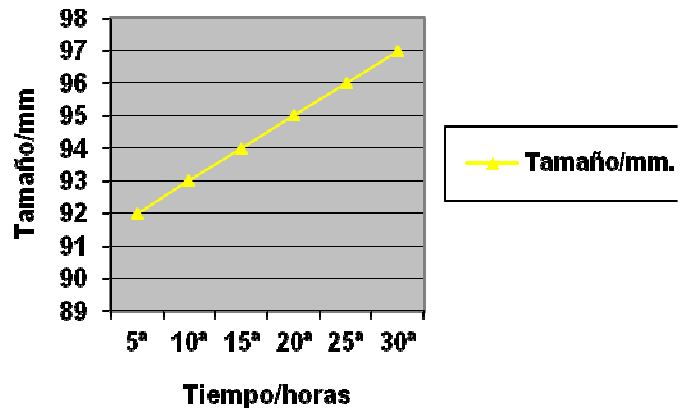
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE PESO



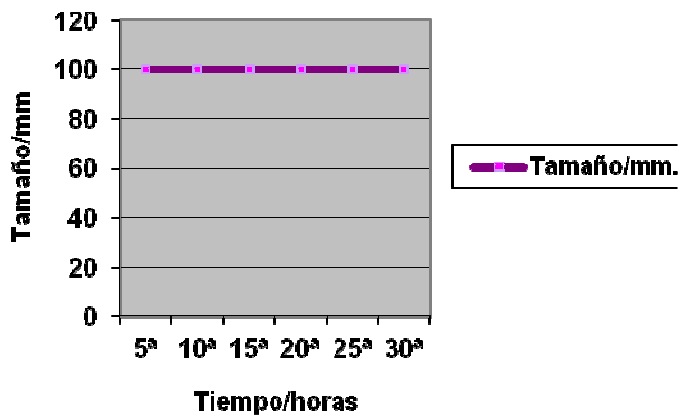
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



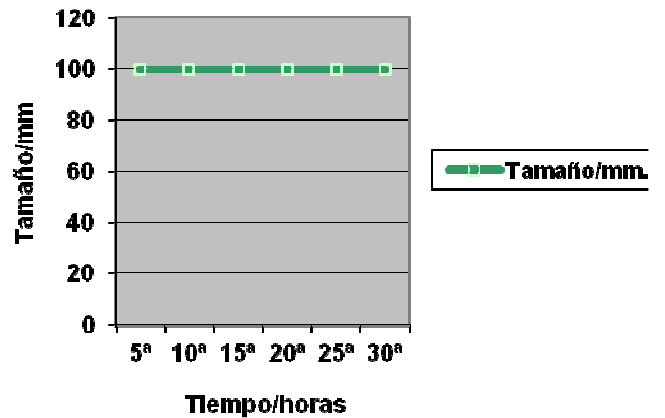
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.1.3. Embón de MDF por medio de adhesivo vinílico en base neopreno.

Características del embón de MDF en estado seco (equilibrio higroscópico) antes de ser sometido al test acelerado de absorción de humedad:

EMBÓN MDF BASE NEOPRENO	Dimensiones / mm	Peso / gr
	100 x 100 x 90	593

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO	
DIMENSIONES	PESO
	
100x100x90 mm.	593 gramos.

Imagen de elaboración propia (2012). Toma de medidas y peso.



Imagen de elaboración propia (2012). Inmersión total del embón.

Registro de mediciones de peso y dimensiones:

Periodo de inmersión de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 90	593	0%
1 ^a	100 x 100 x 91	614	1,11%
2 ^a	100 x 100 x 91	625	1,11%
3 ^a	100 x 100 x 91	636	1,11%
4 ^a	100 x 100 x 91	645	1,11%
5 ^a	100 x 100 x 92	652	2,22%

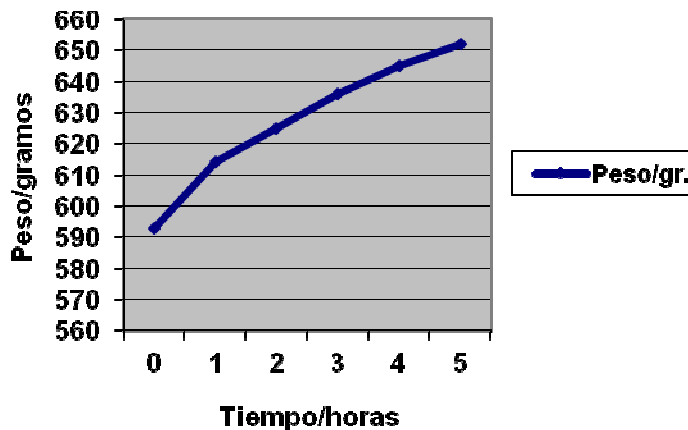
Observaciones:

En el transcurso de 5 horas sumergida en agua, el embón ha variado sus dimensiones en 2 mm. (2,22%) en su grosor, además de incrementar su peso en 59 gramos, (9,9%) superando la cantidad de absorción de los anteriores embones, de los cuales 21 gramos son en la primera hora y durante el resto el incremento es de unos 9-11 gr. por hora. No existe variación en las dimensiones ancho/largo de la probeta, pero los datos registrados nos indican que este embón tiene la capacidad de absorción mayor que el resto, debiéndose, por eliminación puesto que el material es el mismo, a las propiedades de absorción del adhesivo empleado.

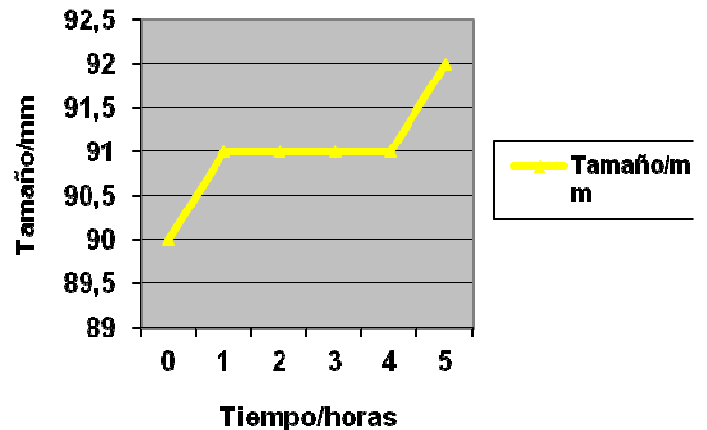
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE PESO



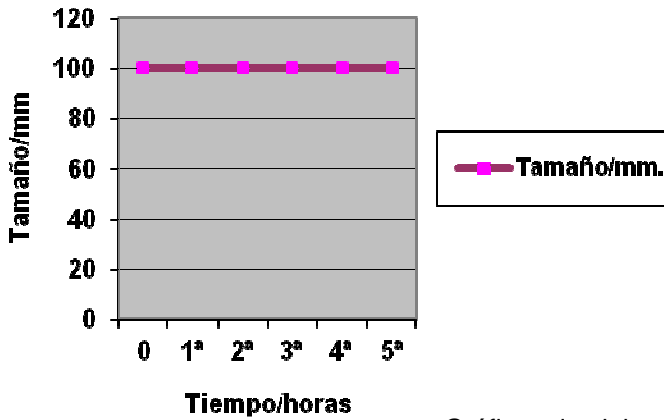
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



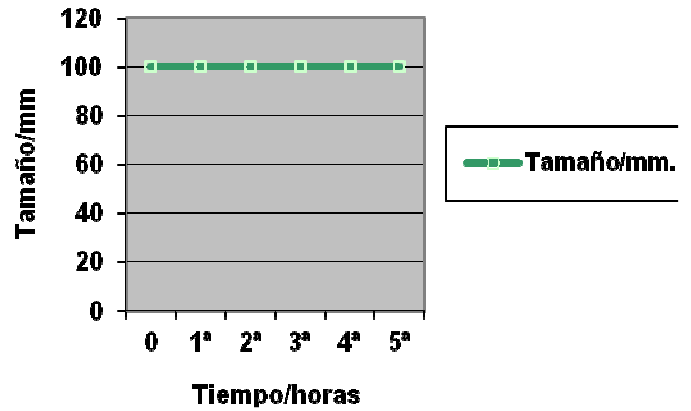
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones en una segunda prueba:

Periodo de inmersión de 30 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5ª	100 x 100 x 92	652	2,22%
10ª	100 x 100 x 93	676	3,33%
15ª	100 x 100 x 94	687	4,44%
20ª	100 x 100 x 96	700	6,66%
25ª	100 x 101 x 97	714	7,77%
30ª	100 x 101 x 98	722	8,88%

Observaciones:

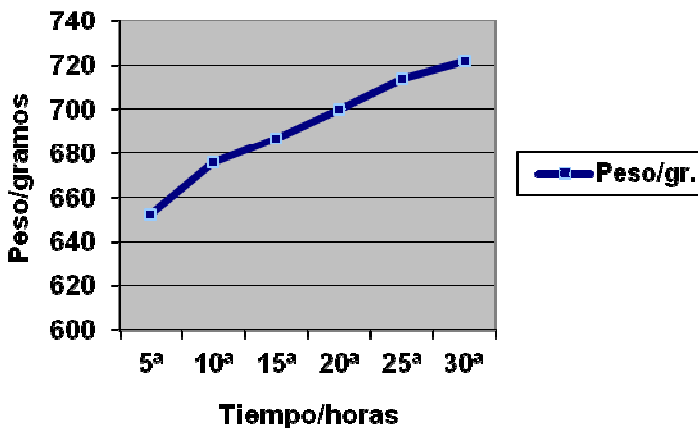
Tras sumergir de nuevo el embón durante 30 horas, incrementa de forma gradual tanto su peso como sus dimensiones, con un total de 70 gr. (10,7%) más que la última medición en estado húmedo en la 5ª hora de inmersión.

Como ocurre en los anteriores test, los inicios (1^o hora y 5^o) son los que reflejan una mayor absorción de humedad, en comparación con el resto de registros, aunque en el caso de este embón, el incremento de peso durante los mismos periodos de tiempo sea mayor, debido probablemente por una mayor capacidad de absorción de humedad del adhesivo en base de neopreno con respecto al acetato de polivinilo y al de poliuretano. Aún así, se mantiene un paralelismo entre los tres embones en la capacidad de hinchazón del grosor, donde en este caso incrementa su tamaño en 6 mm, (8,88%) 2,6 mm. por cada pieza que lo compone y 1 mm. por hora en el conjunto del embón. No existe principio de separación de piezas ni pérdida de las cualidades del adhesivo.

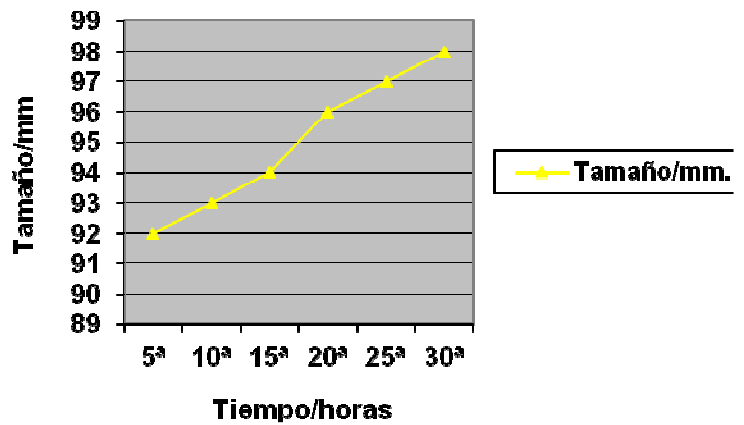
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE PESO



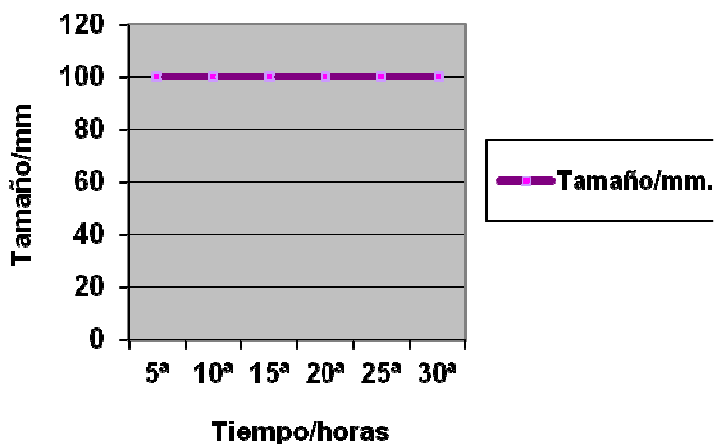
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



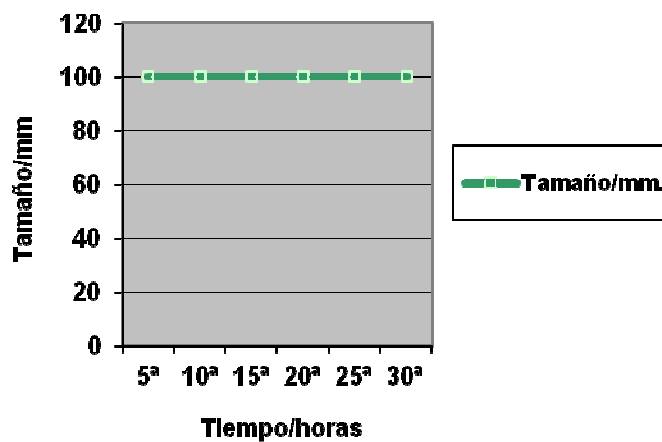
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.2. TEST DE SECADO AL AIRE.

Tras comprobar las condiciones en las que se encuentran los embones después de haberlos conducido al estado de saturación de humedad por inmersión total, los someteremos al test de secado al aire con una temperatura ambiente de entre 17 - 18° C sobre una superficie no porosa que pudiese interferir, por capilaridad, en el proceso natural de secado de este material.

15.2.1. Embón de MDF por medio de acetato de polivinilo.

Condiciones en las que se encuentran el embón saturado de humedad antes de realizar el test de secado al aire:

EMBÓN MDF- ACETATO POLIVINILO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	100 x 100 x 98	696

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	Volumen/%
0	100 x 100 x 98	696	8,88%
1 ^a	100 x 100 x 98	694	8,88%
2 ^a	100 x 100 x 98	693	8,88%
3 ^a	100 x 100 x 98	691	8,88%
4 ^a	100 x 100 x 98	689	8,88%
5 ^a	100 x 100 x 98	688	8,88%

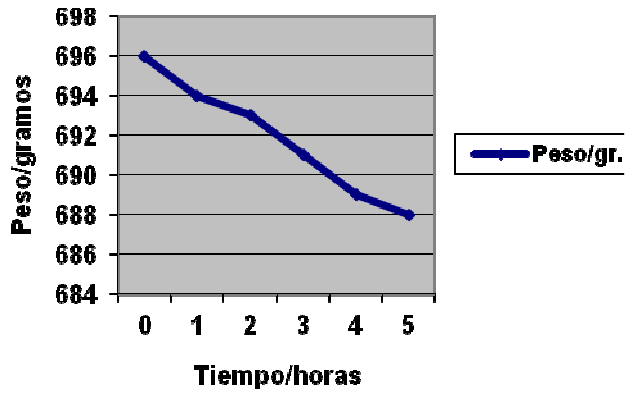
Observaciones:

De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado es progresivo y regular en su descenso, con una variable de entre 1 y 2 gr. por hora en un total de 8 gramos (1,14%) sin presentar deformación volumétrica durante las primeras 5 horas de secado, a parte de la adquirida durante el test anterior (8,88%).

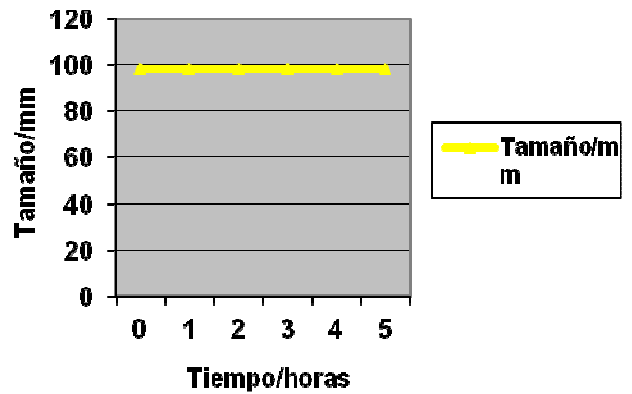
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE PESO



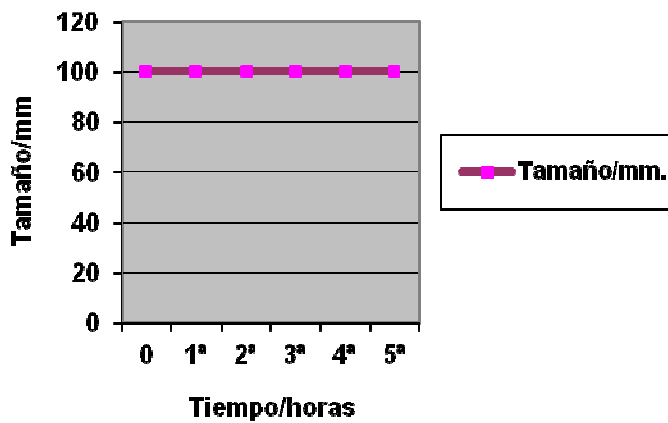
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



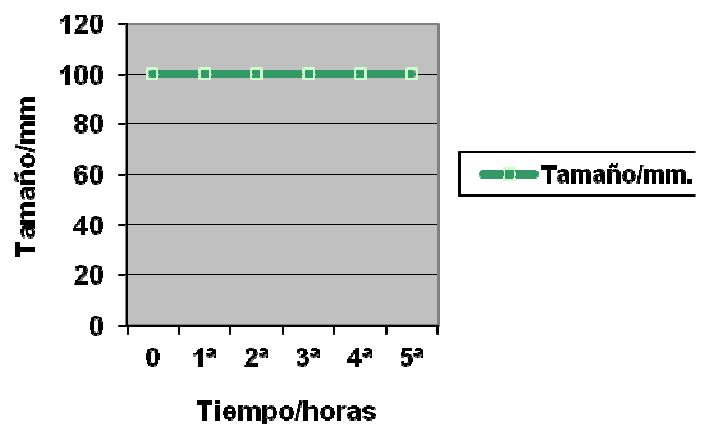
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse y reflejar el proceso de secado del embón, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 98	688	8,88%
10 ^a	100 x 100 x 99	679	9,99%
15 ^a	100 x 100 x 99	670	9,99%
20 ^a	100 x 100 x 99	663	9,99%
25 ^a	100 x 100 x 100	660	11,11%
30 ^a	100 x 100 x 100	656	11,11%
35 ^a	100 x 100 x 100	652	11,11%
40 ^a	100 x 100 x 100	646	11,11%
45 ^a	100 x 100 x 100	641	11,11%
50 ^a	100 x 100 x 100	636	11,11%
55 ^a	100 x 100 x 100	631	11,11%
60 ^a	100 x 100 x 100	627	11,11%
65 ^a	100 x 100 x 100	622	11,11%

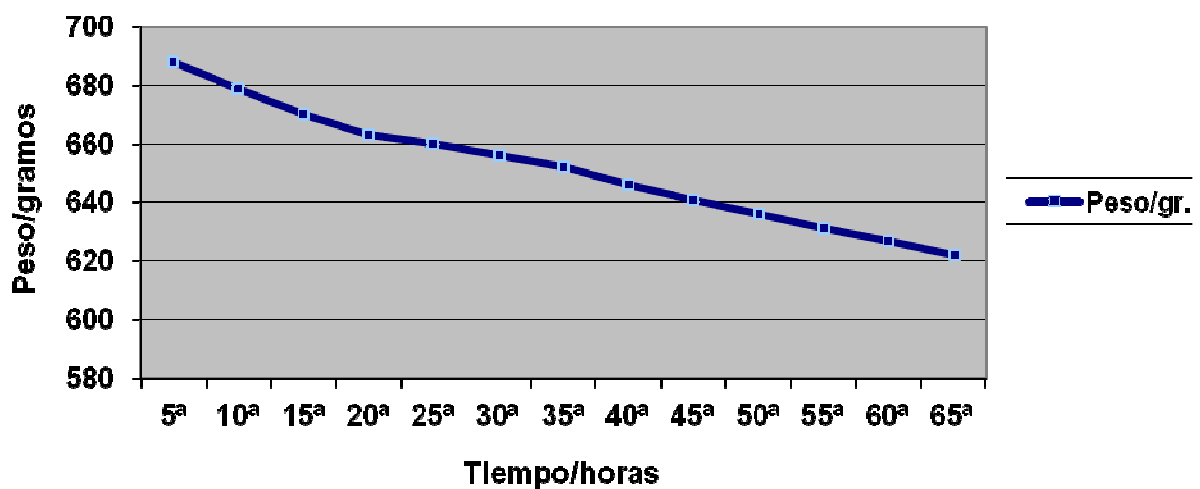
Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso total de 66 gr. (9,5%) en la cantidad de agua contenida en el embón, de entre 8-9 gr. cada 5 horas durante las primeras 25 horas de secado, además de un aumento en el grosor de 1 mm. (11,11%) de la 5^a a la 10^a hora. Es a partir de la 25^a hora cuando el descenso de peso se reduce a 4-5 gr. cada 5 horas y el incremento en el grosor es de 1 mm. debido a las alteraciones volumétricas producto de la hinchazón y el secado, en las que la fibras del embón se saturan de agua y se separan tras el secado. Creemos que no se

producen deformaciones en las otras direcciones del embón (ancho-largo) debido a que el propio adhesivo ofrece la resistencia necesaria para ello (cohesión).

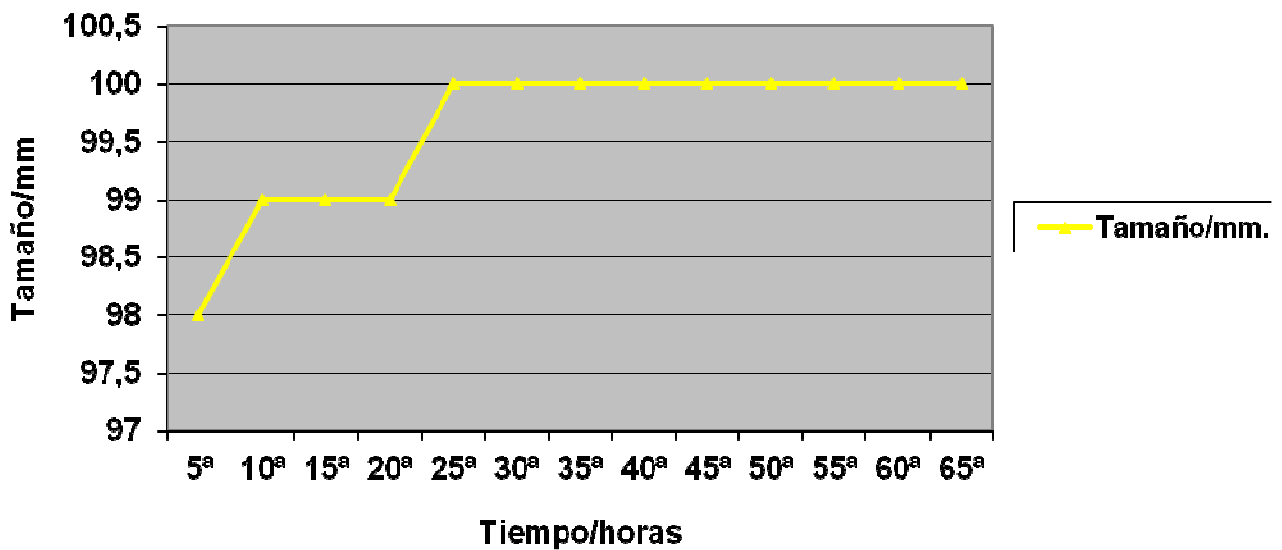
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO VARIABLE DE PESO



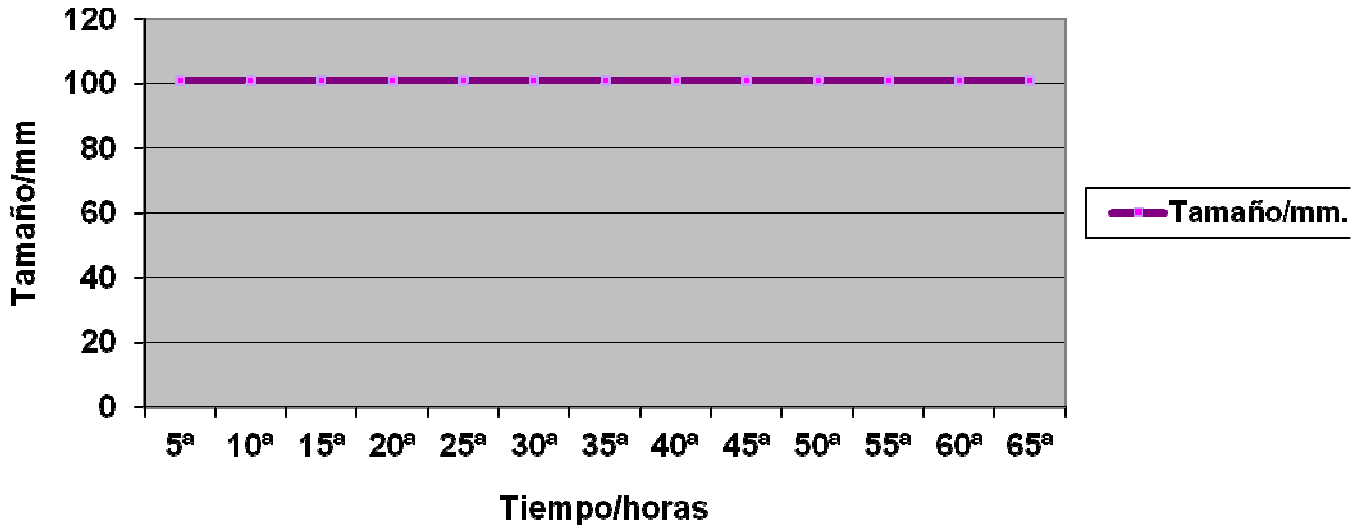
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



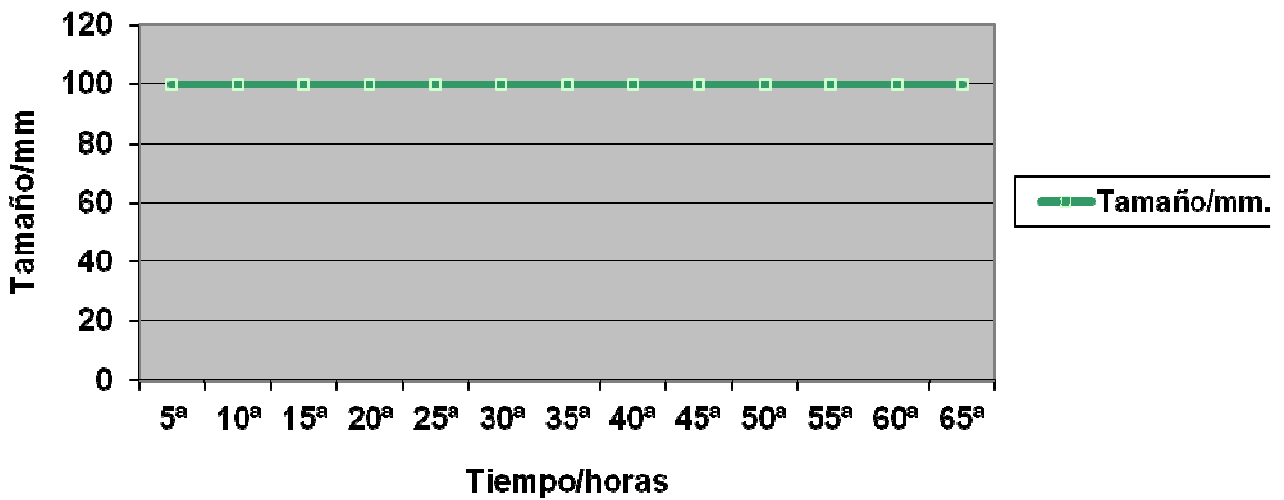
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.2.2. Embón de MDF por medio de adhesivo de poliuretano en base de isocianato.

Condiciones en las que se encuentran el embón saturado de humedad antes de realizar el test de secado al aire:

EMBÓN MDF- POLIURETANO- ISOCIANATO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	100 x 100 x 97	690

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 97	690	7,77%
1 ^a	100 x 100 x 97	687	7,77%
2 ^a	100 x 100 x 97	686	7,77%
3 ^a	100 x 100 x 97	684	7,77%
4 ^a	100 x 100 x 97	682	7,77%
5 ^a	100 x 100 x 97	681	7,77%

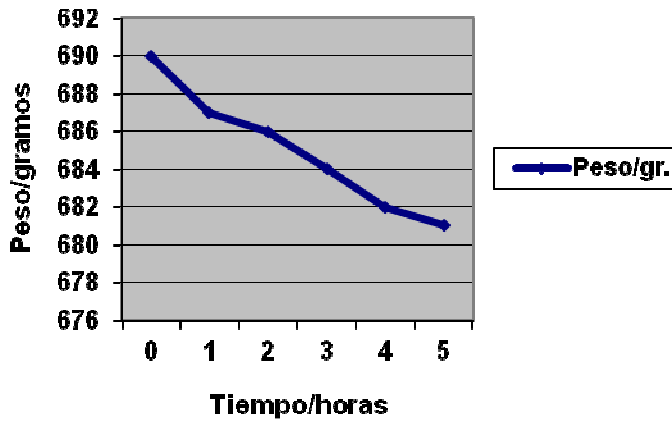
Observaciones:

El proceso de secado es progresivo y regular, con un descenso de peso total de 9gr. (1,3%) y de 3 gr. durante la primera hora, con una variable de entre 1 y 2 gr. por hora en los sucesivos registros. No presenta deformación volumétrica diferente de la hinchazón por la saturación de humedad.

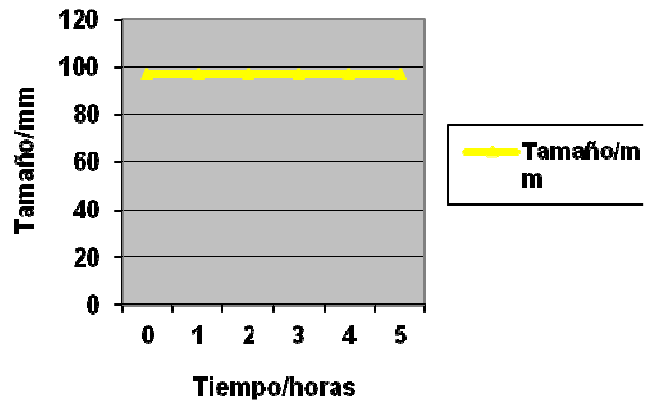
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE PESO



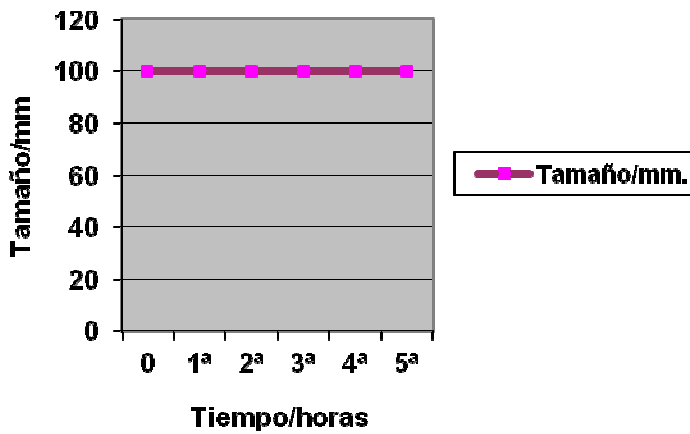
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



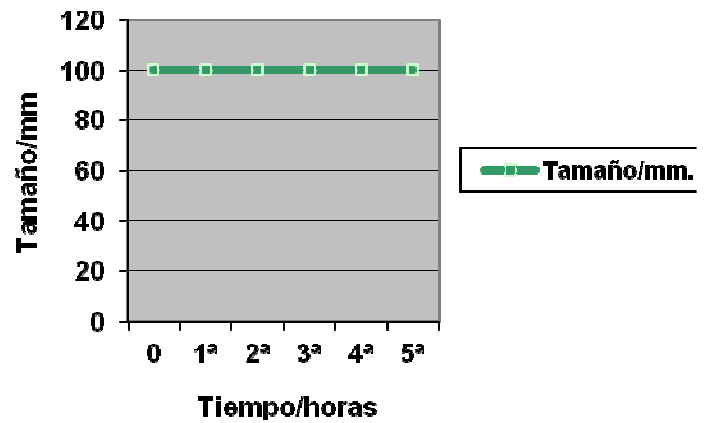
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse y reflejar el proceso de secado del embón, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

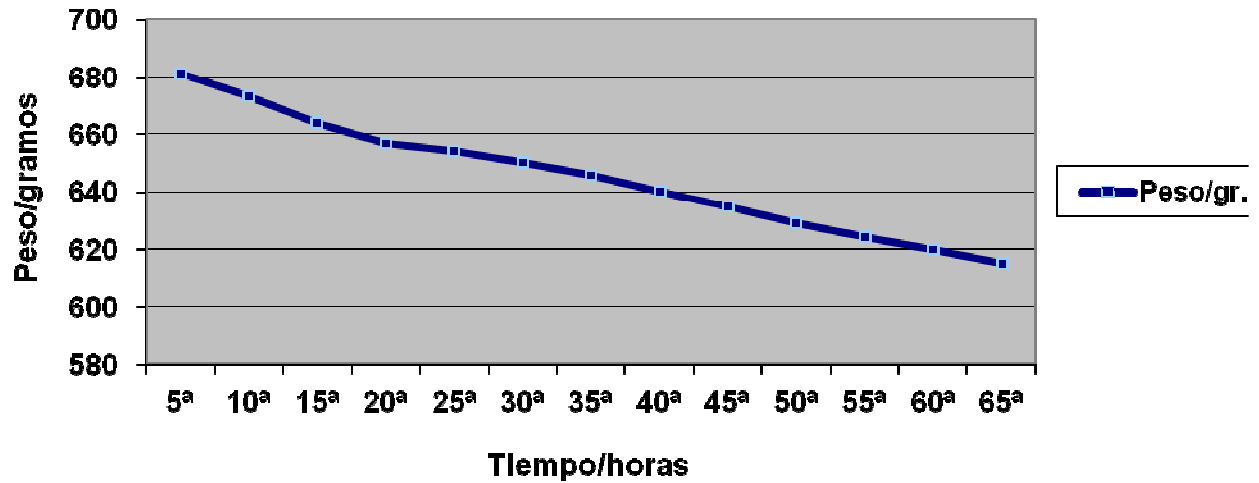
EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 97	681	7,77%
10 ^a	100 x 100 x 97	673	7,77%
15 ^a	100 x 100 x 98	664	8,88%
20 ^a	100 x 100 x 98	657	8,88%
25 ^a	100 x 100 x 98	654	8,88%
30 ^a	100 x 100 x 98	650	8,88%
35 ^a	100 x 100 x 98	646	8,88%
40 ^a	100 x 100 x 98	640	8,88%
45 ^a	100 x 100 x 98	635	8,88%
50 ^a	100 x 100 x 98	629	8,88%
55 ^a	100 x 100 x 98	624	8,88%
60 ^a	100 x 100 x 98	620	8,88%
65 ^a	100 x 100 x 98	615	8,88%

Observaciones:

En el proceso de secado al aire prolongado durante 65 horas puede apreciarse un descenso en la cantidad de agua contenida en el embón de 66 gr. (9,6%) en total, de entre 8-9 gr. cada 5 horas durante las primeras 20 horas de secado, además de un aumento en el grosor de 1 mm. (8,88%) de la 10^a a la 15^a hora. Es a partir de la 20^a hora cuando el descenso de peso se reduce a 5-6 gr. cada 5 horas. Al igual que ocurriría en el caso anterior, no se producen deformaciones en las otras direcciones del embón (ancho-largo) debido a que el propio adhesivo ofrece resistencia.

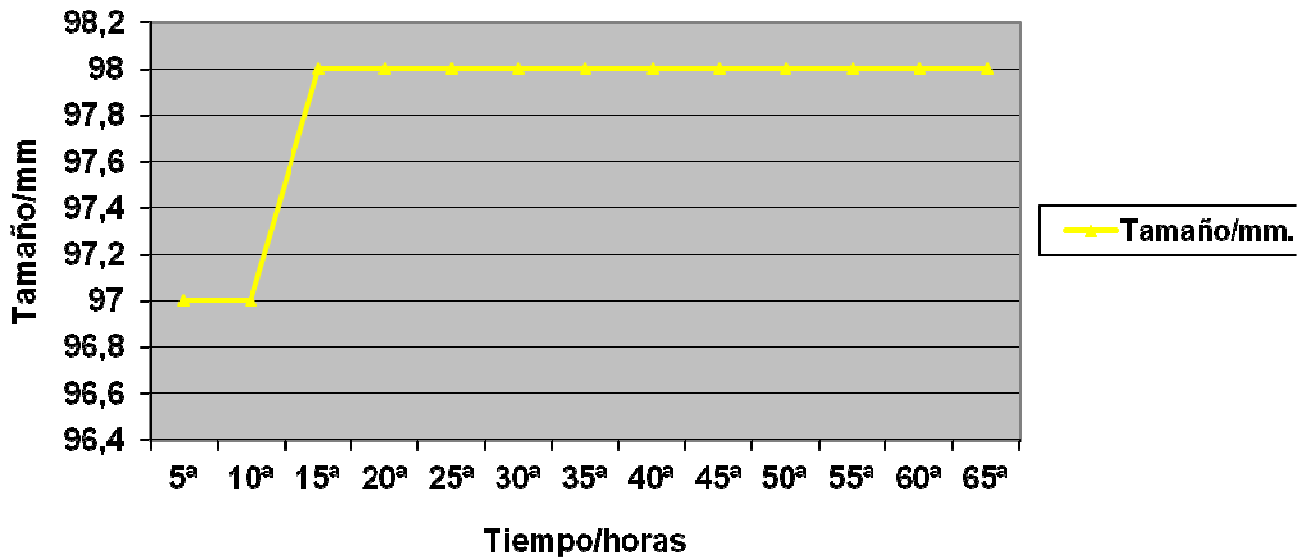
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO
VARIABLE DE PESO



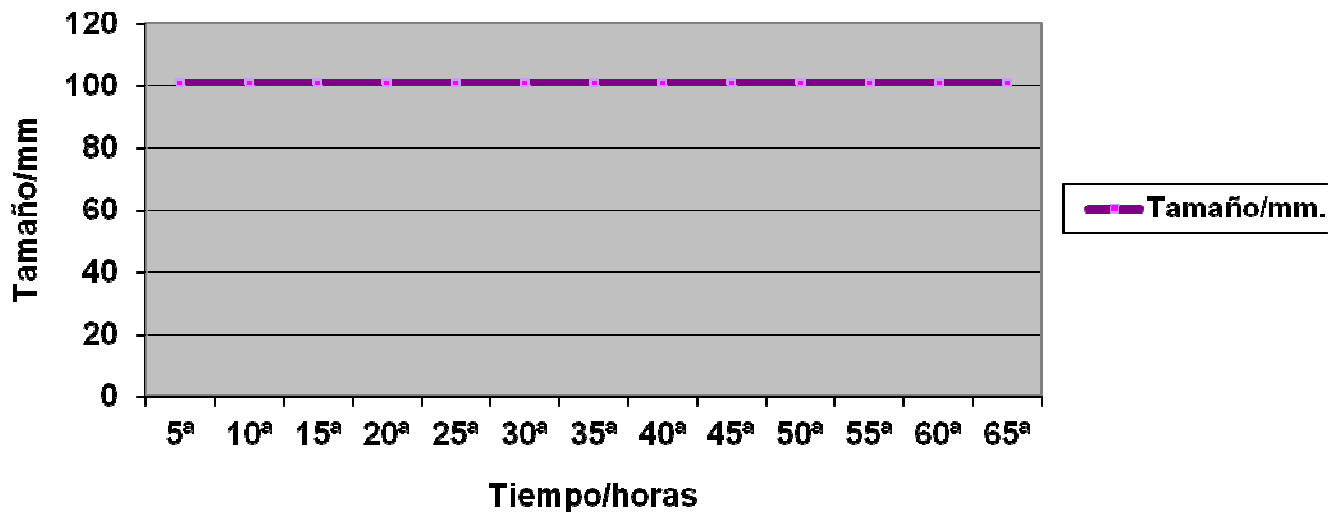
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



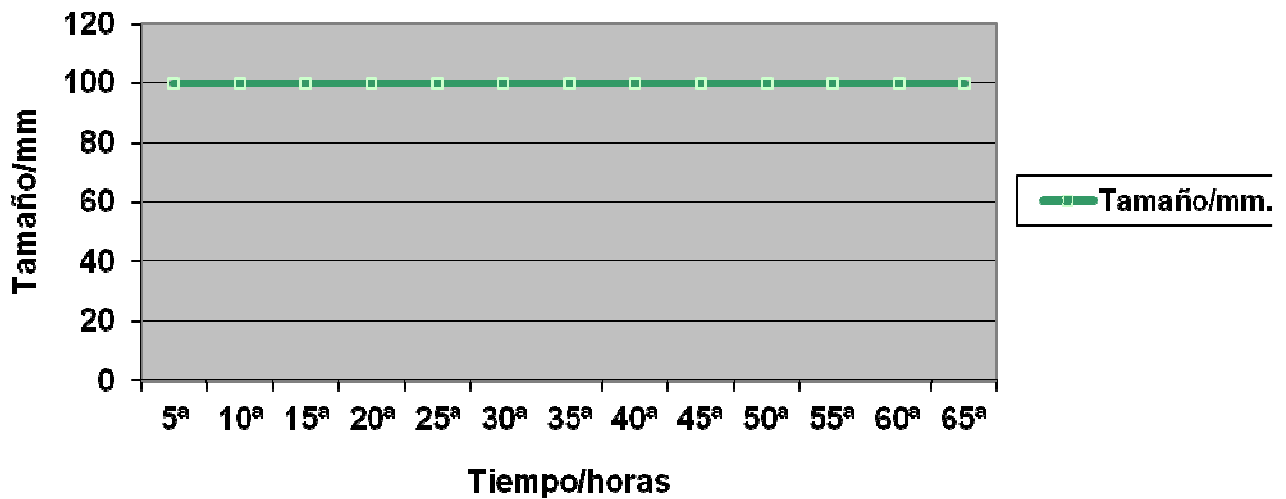
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / POLIURETANO-ISOCIANATO
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.2.3. Embón de MDF por medio de adhesivo vinílico en base de neopreno.

Condiciones en las que se encuentran el embón saturado de humedad antes de realizar el test de secado al aire:

EMBÓN MDF-BASE DE NEOPRENO	DIMENSIONES / mm.	PESO / gr.
	100 x 100 x 98	722

- Dimensiones del embón: 100 x 100 x 98 mm.
- Peso del embón: 722 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo de 5 horas, entre las que el registro de resultados se hace cada 60 minutos.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 98	722	8,88%
1 ^a	100 x 100 x 98	721	8,88%
2 ^a	100 x 100 x 98	720	8,88%
3 ^a	100 x 100 x 98	718	8,88%
4 ^a	100 x 100 x 99	717	9,99%
5 ^a	100 x 100 x 99	715	9,99%

Observaciones:

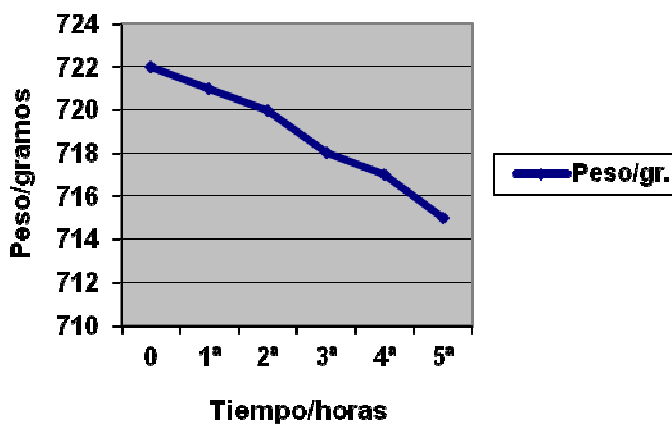
Durante el proceso de secado se observa un descenso de peso total de 7 gr. (0,96%) de los cuales 1 gr. es durante la primera hora a diferencia de los 3 que perdía el embón con adhesivo de poliuretano y los 2 del embón con acetato de

polivinilo. La variable de pérdida de humedad y de peso en las horas siguientes oscila entre 1 y 2 gr. por hora. Presenta un aumento de 1 mm. (9,99%) en su grosor a partir de la 4ª hora de secado debido a la separación de sus fibras por la acción de la humedad y el calor.

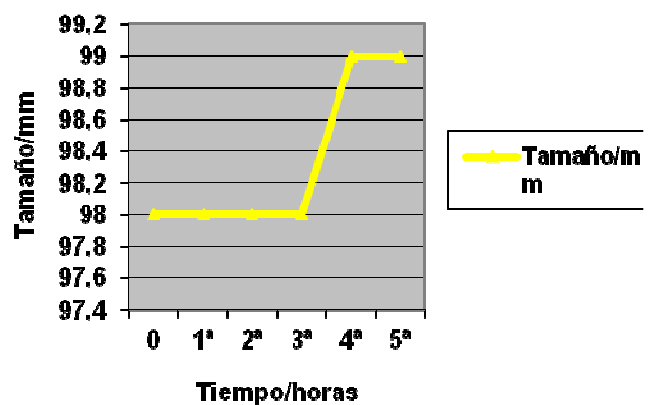
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE PESO



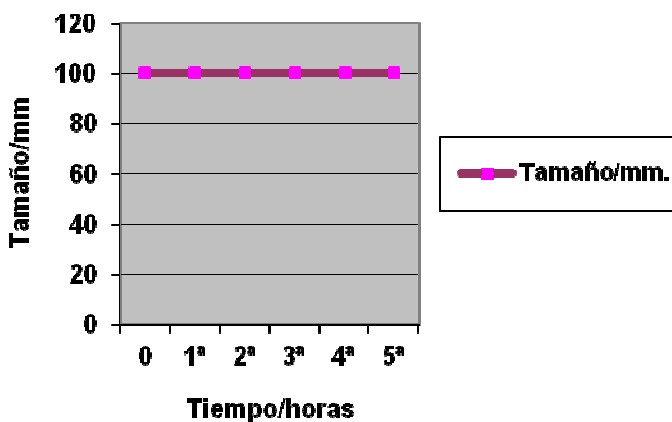
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



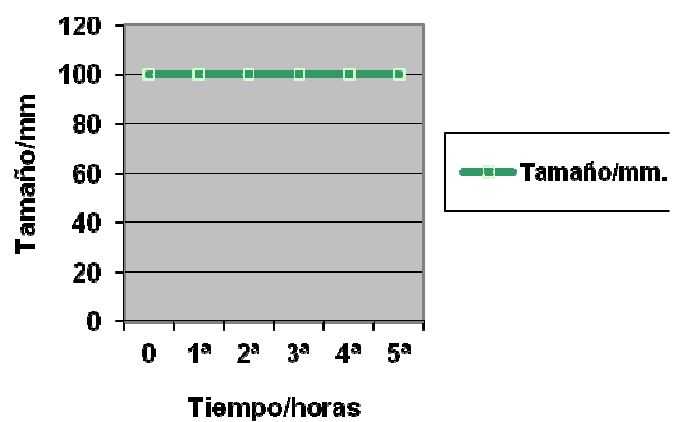
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al aire:

Periodo prolongado hasta 65 horas para aproximarse y reflejar el proceso de secado del embón, en el que el registro de resultados se hace cada 5 horas.

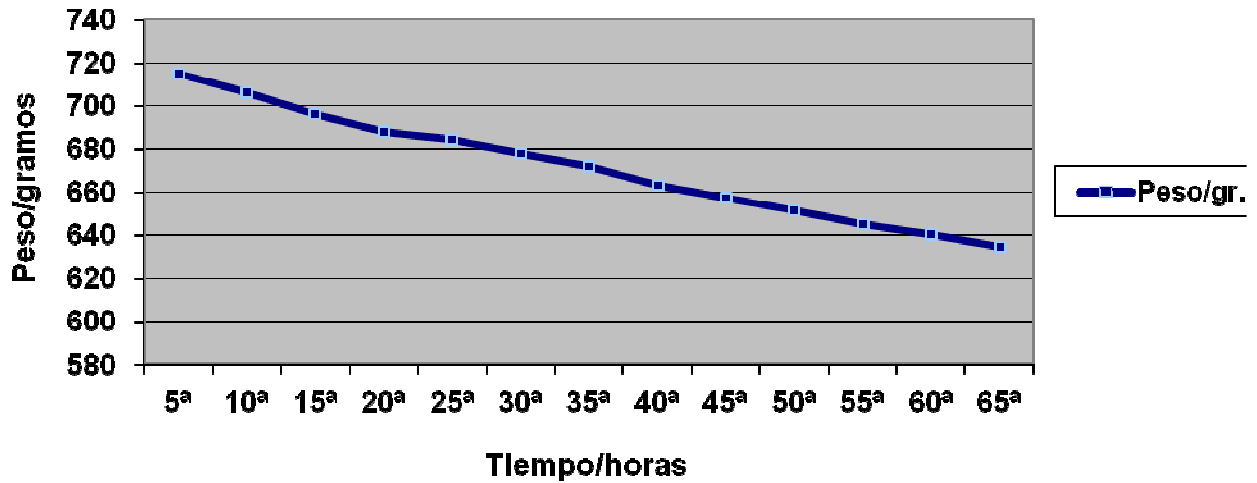
EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO			
Tiempo/ 5 horas	Tamaño/medidas	Peso/ gr.	<Volumen/%
5 ^a	100 x 100 x 99	715	9,99%
10 ^a	100 x 100 x 99	706	9,99%
15 ^a	100 x 100 x 100	696	11,11%
20 ^a	100 x 100 x 100	688	11,11%
25 ^a	100 x 100 x 100	684	11,11%
30 ^a	100 x 100 x 101	678	12,22%
35 ^a	100 x 100 x 101	672	12,22%
40 ^a	100 x 100 x 101	663	12,22%
45 ^a	100 x 100 x 101	657	12,22%
50 ^a	100 x 100 x 101	651	12,22%
55 ^a	100 x 100 x 101	645	12,22%
60 ^a	100 x 100 x 101	640	12,22%
65 ^a	100 x 100 x 101	634	12,22%

Observaciones:

En el proceso de secado puede apreciarse un descenso en el peso del embón de forma irregular de 81 gr. (0,11%), oscilando entre los 6-9 gramos cada 5 horas de las 65 horas que dura el proceso de secado, además de un aumento en el grosor de 2 mm (12,22%): 1 mm. de la 10^a a la 15^a hora y el 2^o mm. a partir de la 30^a. Al igual que ocurriría en el caso anterior, no se producen deformaciones en las otras direcciones del embón (ancho-largo) debido a que el propio adhesivo ofrece resistencia.

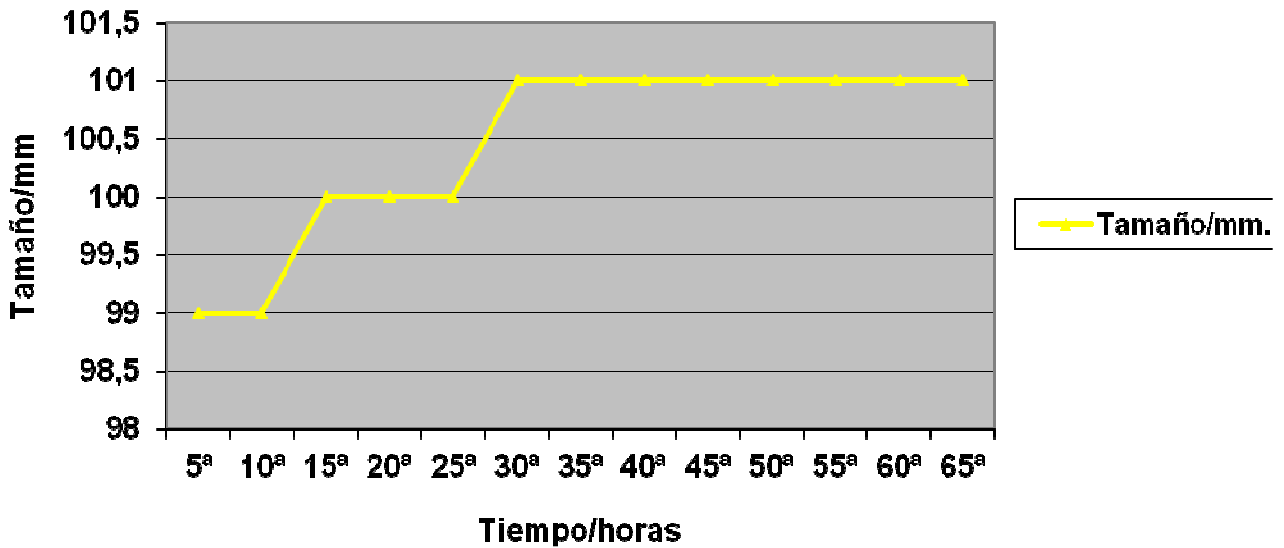
Gráficas de variables:

**EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO
VARIABLE DE PESO**



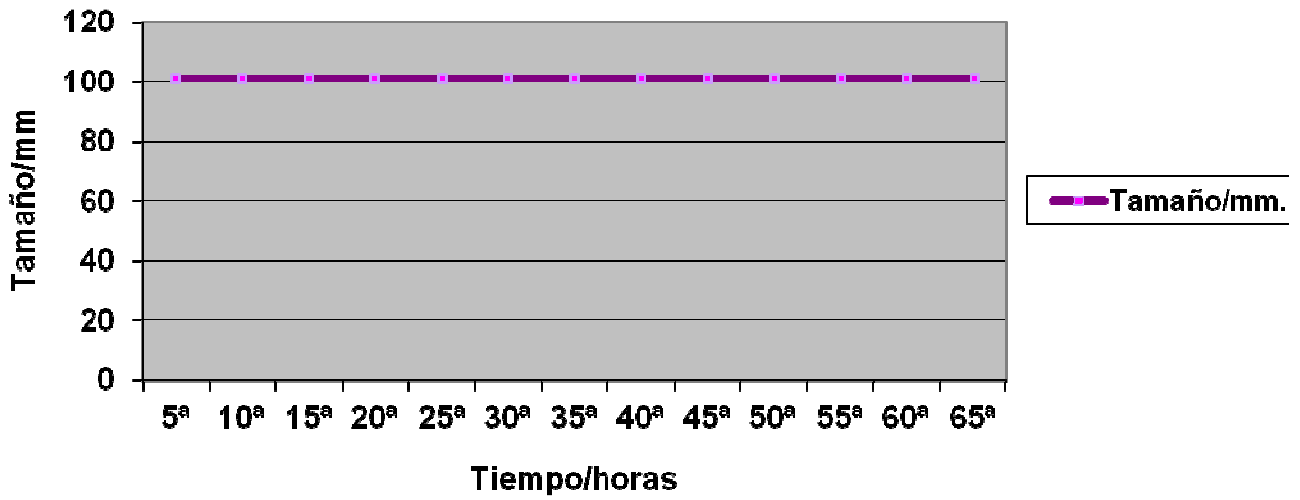
Gráficas de elaboración propia.

**EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR**



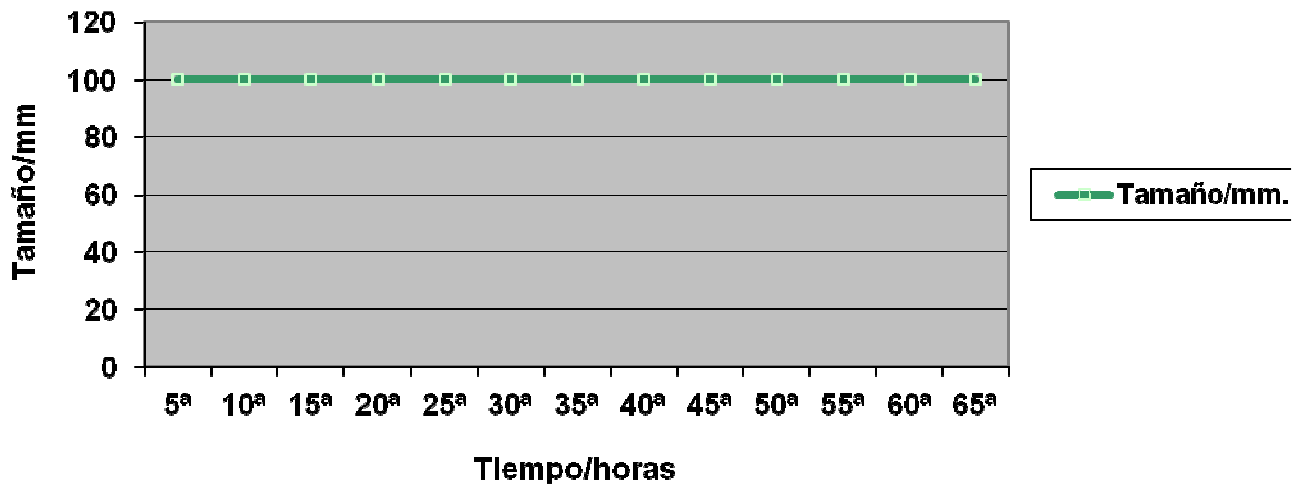
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO
VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.3. TEST ACELERADO DE SECADO AL HORNO.

Sirviéndonos de los mismos embones, de nuevo saturados de humedad por inmersión total, procedemos a realizar el test acelerado de secado en horno con una temperatura de 100° C y por un periodo de tiempo de 10 horas.

15.3.1. Embón de MDF por medio de acetato de polivinilo.

Condiciones en las que se encuentra el embón saturado de humedad previo al test acelerado de secado al horno:

EMBÓN MDF	Dimensiones / mm	Peso / gr
ACETATO POLIVINILO	100 x 100 x 102	702

- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso del embón en estado natural (seco): 601 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. En este caso, decidimos realizar el registro cada 60 minutos incluso a partir de la 5ª hora, por el acelerado descenso de peso y posible variación dimensional que se puede producir por efecto de la humedad y el calor, que en registros más prolongados en el tiempo sería difícil de precisar.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	<Volumen/%
0	100 x 100 x 102	702	13,33%
1 ^a	100 x 100 x 111	660	23,33%
2 ^a	100 x 100 x 111	628	23,33%
3 ^a	100 x 100 x 109	605	21,11%
4 ^a	100 x 100 x 109	591	21,11%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test de secado al horno en la 4^a hora puesto que el registro nos muestra que el embón ha disminuido su peso incluso por debajo del de equilibrio higroscópico (601gr). De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado al horno es progresivo y regular en su descenso, en un total de 11 gr. (15,8%) cuya pérdida mayor es de 42 gr. durante la primera hora y disminuyendo progresivamente conforme se alcanzaba el estado seco. La deformación volumétrica producida por efecto del calor (Figura 27) y el alto índice de humedad del embón hace que éste se hinche 9 mm. (23,3%), en la primera hora, para disminuir un par de milímetros tras la 3^a. Podemos observar, que tras la segunda hora de secado al horno comienzan a producirse fendas y grietas en los cantos del embón, como puede apreciarse en la imagen siguiente, y la deformación es mayor, aunque no se percibe pérdida de adhesivo ni principio de separación de piezas.

EMBÓN MDF/ACETARO POLIVINILO-APARICIÓN DE GRIETAS EN LOS EXTREMOS

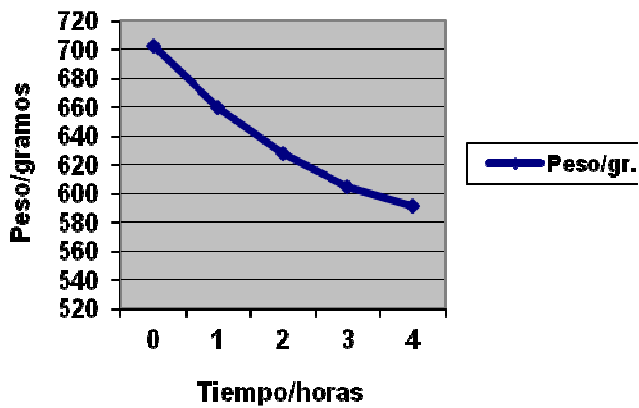


Figura 27. Elaboración propia (2012). Deformación volumétrica por la acción del calor.

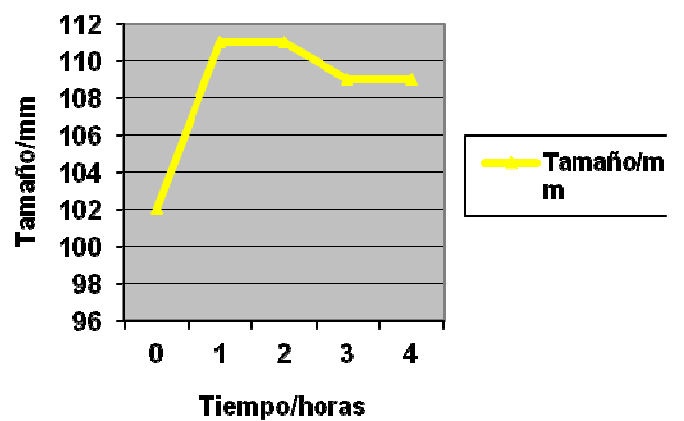
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE PESO



VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR

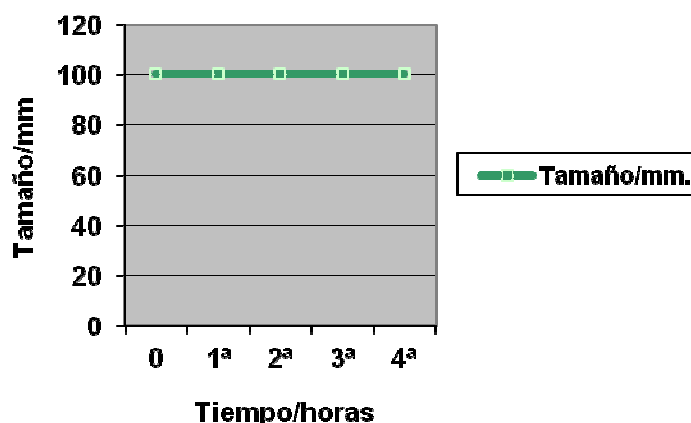
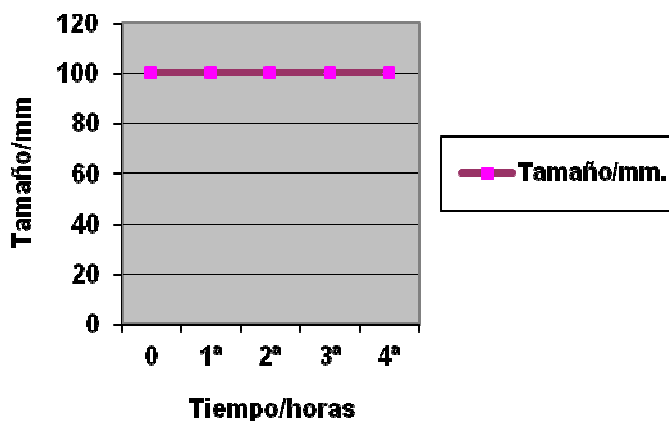


Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF-ACETATO DE POLIVINILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO

VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.3.2. Embón de MDF por medio de adhesivo de poliuretano en base de isocianato.

Condiciones en las que se encuentra el embón saturado de humedad previo al test acelerado de secado al horno:

EMBÓN MDF	Dimensiones / mm	Peso / gr
POLIURETANO-ISOCIANATO	100 x 100 x 100	695

- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso del embón en estado natural (seco): 595 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. En este caso, decidimos realizar el registro cada 60 minutos incluso a partir de la 5ª hora, por el acelerado descenso de peso y posible variación dimensional que se puede producir por efecto de la humedad y el calor, que en registros más prolongados en el tiempo sería difícil de precisar.

EMBÓN MDF/POLIURETANO-ISOCIANATO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	Volumen/%
0	100 x 100 x 100	695	11,11%
1 ^a	100 x 100 x 106	663	17,77%
2 ^a	100 x 100 x 106	628	17,77%
3 ^a	100 x 100 x 104	601	15,55%
4 ^a	100 x 100 x 102	586	13,33%

Observaciones:

Debemos interrumpir el test de secado al horno en la 4^a hora puesto que el registro nos muestra que el embón ha disminuido su peso incluso por debajo del de equilibrio higroscópico (595 gr). De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado al horno es progresivo y regular en su descenso, alcanzando un descenso total de 109 gr. (15,68%) de los cuales 30 gramos son durante la primera y la segunda hora de secado y disminuyendo progresivamente conforme se alcanzaba el estado seco. El efecto del calor y la humedad producen una hinchazón de 6 mm. (17,77%) en el grosor durante la primera hora, para ir disminuyendo 2 mm. a partir de la segunda. Tras la segunda hora aparecen fendas longitudinales (Figura 28) no muy pronunciadas que no provocan pérdida de adhesivo ni separación de piezas, a pesar de la deformación del bloque, como puede observarse en la imagen siguiente.

EMBÓN MDF/POLIURETANO. APARICIÓN DE FENDAS Y DEFORMACIÓN

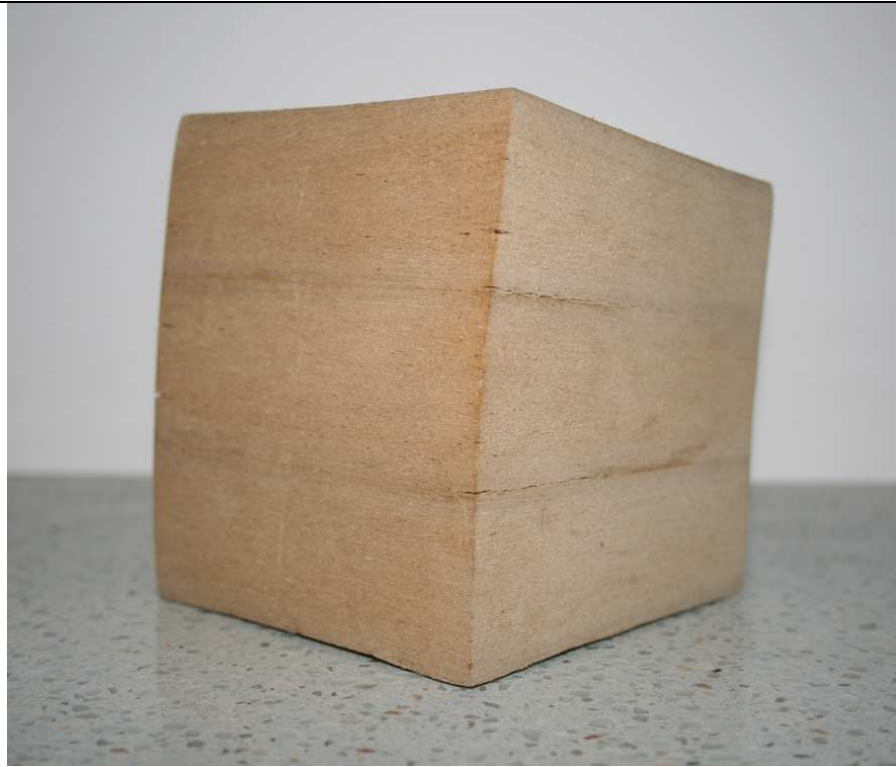
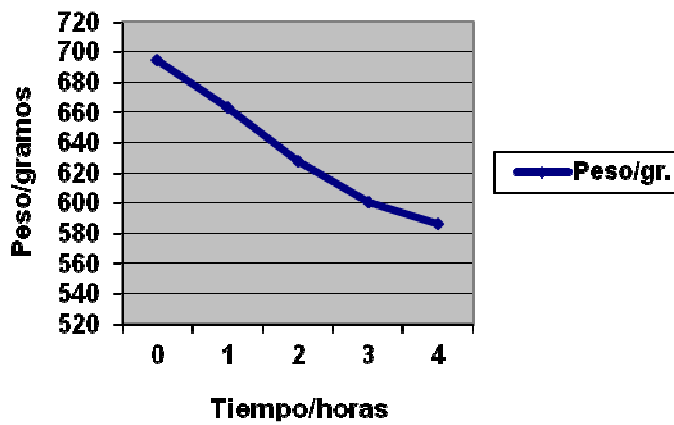


Figura 28. Elaboración propia (2012). Aparición de fendas por la acción del calor.

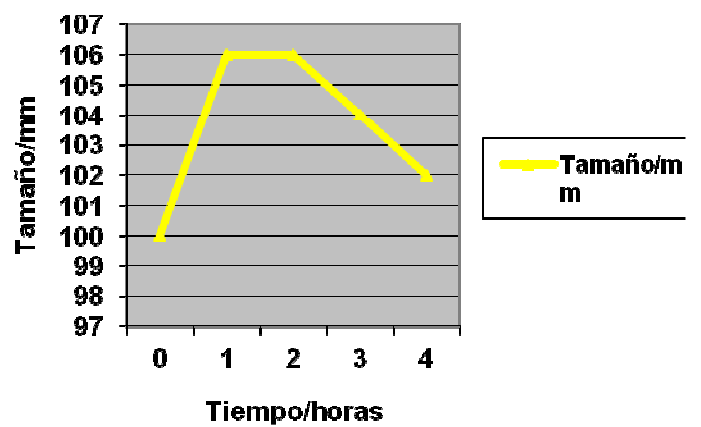
Gráficas de variables:

EMBÓN MDF/POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE PESO



VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR

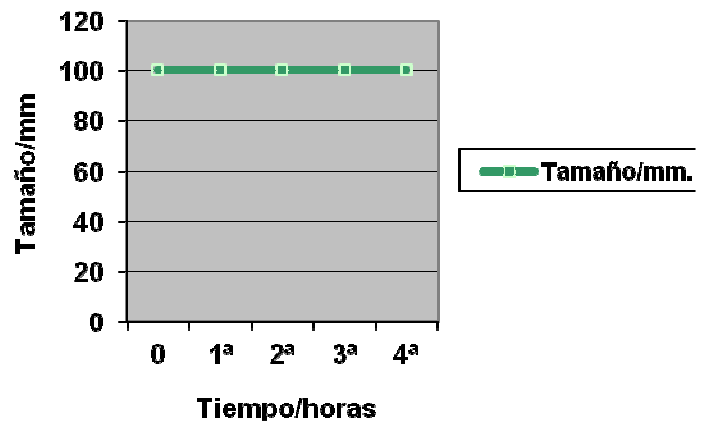
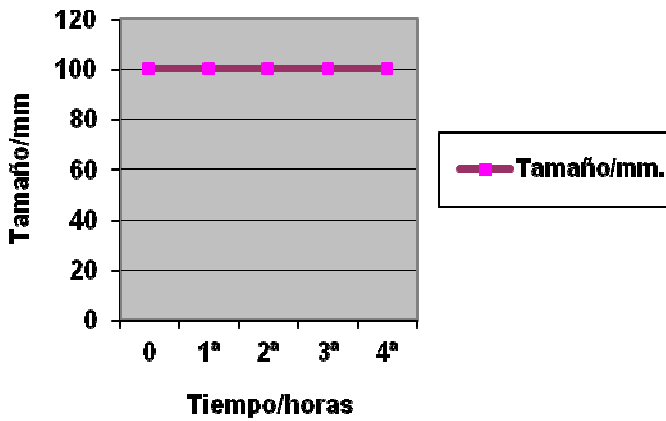


Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF/POLIURETANO-ISOCIANATO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO

VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.3.3. Embón de MDF por medio de adhesivo vinílico en base de neopreno.

Condiciones en las que se encuentra el embón saturado de humedad previo al test acelerado de secado al horno:

EMBÓN MDF-BASE DE	Dimensiones / mm	Peso / gr
NEOPRENO	100 x 100 x 103	743

- Temperatura de secado: 100° C.
- Peso del embón en estado natural (seco): 593 gr.

Registro de mediciones de peso y dimensiones durante el test de secado al horno:

Periodo de 10 horas en las que el registro de mediciones se hace cada 60 minutos. En este caso, decidimos realizar el registro cada 60 minutos incluso a partir de la 5ª hora, por el acelerado descenso de peso y posible variación dimensional que se puede producir por efecto de la humedad y el calor, que en registros más prolongados en el tiempo sería difícil de precisar.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO			
Tiempo/ 1 hora	Tamaño/medidas/mm	Peso/ gr.	Volumen/%
0	100 x 100 x 103	743	12,22%
1 ^a	100 x 100 x 113	696	25,55%
2 ^a	100 x 100 x 113	648	25,55%
3 ^a	100 x 100 x 111	617	23,33%
4 ^a	100 x 100 x 110	586	22,22%
5 ^a	99 x 100 x 107	572	18,88%

Observaciones:

En este caso, debemos interrumpir el test de secado al horno en la 5^a hora ya que el peso de inicio de la prueba de secado es superior que el del resto de embones por una mayor absorción de humedad. De igual forma que ocurría durante el proceso de absorción de humedad, el proceso de secado al horno es progresivo, alcanzando un descenso total de 171 gr. (23%) de los cuales más de 48 gramos son durante la primera hora de secado, disminuyendo progresivamente conforme se alcanzaba el estado seco. El efecto del calor y la humedad producen una hinchazón de 10 mm. (25,55%) en el grosor durante la primera hora, para ir progresivamente mermando conforme seca. Tras la segunda hora aparecen fendas longitudinales y una gran deformación del embón por la acción del calor y la humedad. Se percibe la pérdida de las cualidades del adhesivo con una consecuente separación de piezas que puede observarse en la siguiente imagen (Figura 29).

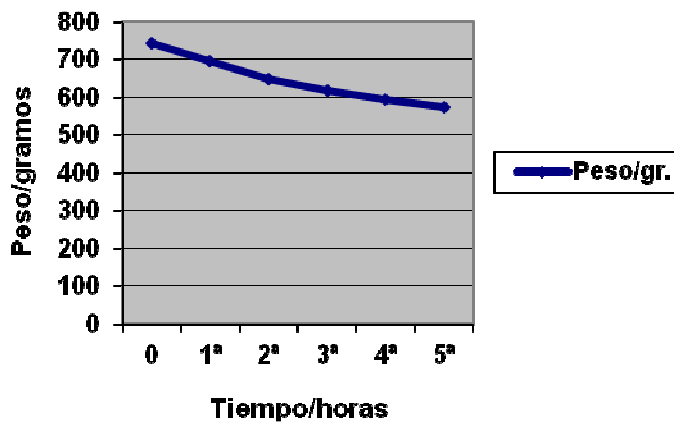


Figura 29. Elaboración propia (2012). Principio de separación de piezas.

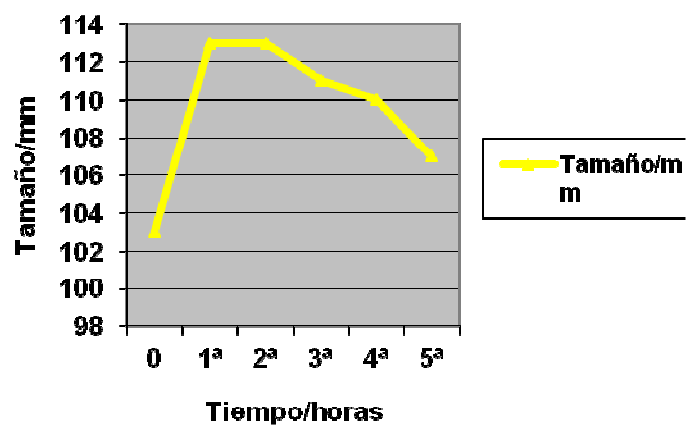
Gráficas de variables:

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE PESO



VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR

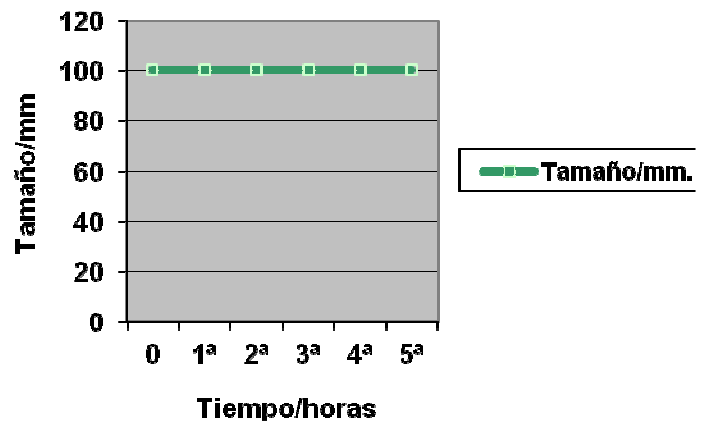
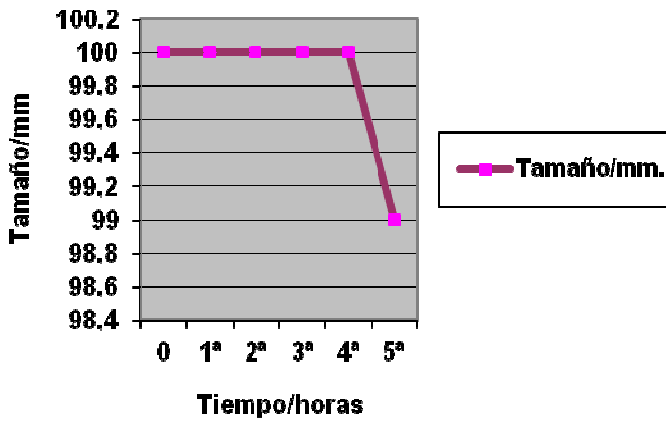


Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN DE MDF / BASE NEOPRENO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO

VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

15.4. TEST ACELERADO DE REACCIÓN ANTE TEMPERATURAS EXTREMAS: ALTAS TEMPERATURAS.

El objetivo de este test es el de comprobar la reacción del embón de MDF y los diferentes adhesivos empleados ante altas temperaturas en exposiciones prolongadas. Para ello, ampliaremos el tiempo de exposición a 100° C que iniciamos en el test acelerado de secado al horno hasta un total de 10 horas.

Estado de los embones en estado seco:

ESTADO DE LOS EMBONES ANTES DEL TEST		
EMBÓN MDF	DIMENSIONES / mm	PESO / gr
ACETATO POLIVINILO	100 x 100 x 109	591
POLIURETANO	100 x 100 x 102	586
BESE NEOPRENO	99 x 100 x 107	572

Estado de los embones tras el test de reacción ante altas temperaturas:

ESTADO DE LOS EMBONES DESPUÉS DEL TEST			
EMBÓN MDF	DIMENSIONES / mm	PESO / gr	VOLUMEN%
ACETATO POLIVINILO	99 x 100 x 105	558	3,66%
POLIURETANO	99x 100 x 101	555	0,98%
BESE NEOPRENO	99 x 100 x 106	554	0,93%

Observaciones:

Durante las horas de exposición a altas temperaturas, el nivel de peso de cada una de los embones descendió. El efecto del calor, junto a la humedad que portaban los embones, provocó en el test de secado una hinchazón muy visible, la aparición de fendas longitudinales y grietas en los extremos y principio de separación de piezas en según qué adhesivos. Ahora, la exposición prolongada a altas temperaturas trae consigo la merma causada por la desecación del material, que incluso favorece en la atenuación y cierre de las fendas y grietas que aparecieron en los embones por la retracción de sus fibras, disminuyendo la deformación volumétrica.

15.5. TEST ACELERADO DE REACCIÓN A TEMPERATURAS EXTREMAS: CONGELACIÓN.

Volviendo al estado de saturación de humedad a cada embón, procedemos al test acelerado de congelación a una temperatura de -18 °C por un periodo de 24 horas, con el objetivo de comprobar cómo se comporta el MDF y los adhesivos empleados y qué alteraciones pueden sufrir al estar en contacto.

Estado de las probetas saturadas de humedad:

ESTADO DE LOS EMBONES ANTES DEL TEST		
EMBÓN MDF	DIMENSIONES / mm	PESO / gr
ACETATO POLIVINILO	100 x 100 x 102	690
POLIURETANO	100 x 100 x 100	688
BESE NEOPRENO	99 x 100 x 103	725

Estado de las probetas tras el test acelerado de congelación:

ESTADO DE LOS EMBONES DESPUÉS DEL TEST			
EMBÓN MDF	DIMENSIONES / mm	PESO / gr	VOLUMEN%
ACETATO POLIVINILO	100 x 100 x 101	684	0,98%
POLIURETANO	100 x 100 x 99	678	1%
BESE NEOPRENO	99 x 100 x 102	722	0,97%

Observaciones:

Observamos la disminución del grosor de los embones en 1 mm. tras el estado de congelación, al contrario que podríamos esperar por la lógica de la expansión de las moléculas de agua al congelarse y pasar a estado sólido. La disminución de peso se debe a una pérdida de agua de saturación durante el tiempo transcurrido hasta la congelación. Los cambios de temperatura y del estado del agua: paso de líquido a sólido han provocado cambios en los embones, pero no se perciben fendas de heladura ni pérdida de adhesivo, con la consecuente separación de piezas. En la siguiente imagen (Figura 30) puede observarse un ejemplo de embón tras el estado de congelación a -18°C , en el que no se aprecian fendas de heladura ni principio de separación de piezas, además de verse la congelación de la humedad de saturación.



Figura30. Elaboración propia (2012). Embón de MDF tras el proceso de congelación.

16. TEST DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO.

16.1. Descripción del método de análisis.

Este último test con el que finalizamos el apartado de análisis comparativo, se realiza sirviéndonos de una cámara de envejecimiento acelerado *Solarbox 3000-RH* (Figura 31). Este tipo de cámara permite la reproducción de condiciones y cambios climáticos durante ciclos continuos de exposición prolongada ante radiación UV, temperatura y humedad relativa. Al ser de carácter continuo, los resultados se obtienen en menor tiempo que en una exposición natural en interior o exterior, y a su vez, las condiciones pueden ser controladas garantizando la exactitud y repetitividad en los diferentes tiempos de exposición con el objetivo de evaluar el grado de afección de dichas condiciones sobre los materiales.



Figura 31. Elaboración propia (2012). Cámara de envejecimiento Solarbox3000 R-H.

“El envejecimiento, sea cual sea su significado o alcance es un fenómeno extremadamente complejo que provoca una serie de alteraciones químicas, estructurales y ópticas”¹²⁹ Normalmente y en otros sectores diferentes al de restauración y conservación de obras de arte, este test se emplea para determinar la resistencia de los diferentes materiales frente a la degradación cromática producida por la irradiación solar (o fotodegradación), pero en este caso debemos contar con los agentes que interfieren en el deterioro físico de la madera y tableros MDF como la temperatura y la humedad, que a su vez serán desencadenantes de posibles ataques bióticos. Este tipo de test es un ensayo de laboratorio que sirve como indicativo de la posible incidencia de las condiciones ambientales naturales (tanto en interior como en exterior) sobre los materiales y por tanto, no podemos considerarlas totalmente exactas en su equivalencia, ya que, y de modo lógico, el carácter cambiante del clima puede afectar de un modo menos agresivo sobre los materiales que las condiciones del patrón que seguimos en nuestro test. En cualquier caso, consideraremos de modo orientativo las palabras de A. Villarquide Jevenois en *La pintura sobre tela II: alteraciones, materiales y tratamientos de restauración*, en las que establece una posible equivalencia de ciclos de envejecimiento acelerado sobre los materiales con el envejecimiento natural consistente en: 72 horas de envejecimiento acelerado a 100°C equivalente a 1 año de envejecimiento natural.¹³⁰

Deberíamos tener en cuenta que las causas de envejecimiento pueden ser provocadas por factores naturales (como ya hemos mencionado) junto a las propias que repercuten de la acción del hombre como la contaminación, posibles restauraciones e incluso una mala manipulación. También debemos recordar el tipo de envejecimiento no patológico como pudiera ser el cambio de cromatismo (oscurecimiento, degradación de color, aparición de pátinas, etc.) de las superficies que no afectan a la conservación estructural de la obra de arte pero sí a su conservación visual u óptica. Los procesos de envejecimiento vienen causados por numerosos factores que normalmente no actúan con

¹²⁹ MATTEINI, M; MOLES, A (2001) *Ciencia y restauración. Método de investigación*. Martínez de Marañón, M. (trad.) Editorial Nerea. Hondarribia. Pág. 252.

¹³⁰ Información obtenida de VILLARQUIDE, A. (2005) *La pintura sobre tela II: alteraciones, materiales y tratamientos de restauración*. Editorial Nerea. San Sebastián. Pág. 650.

independencia unos de otros, sino que lo hacen simultáneamente: la humedad actúa de la mano de la temperatura, etc. Así pues, estudiaremos de forma conjunta aquellos parámetros que interfieren en el envejecimiento y deterioro de los materiales: humedad, temperatura e irradiancia, sin considerar, en nuestro caso, los agentes contaminantes y otros aspectos a tener en cuenta.

No obstante, dado el carácter del material objeto de nuestro estudio y de la obra escultórica en madera, normalmente la exposición de obras de escultura se verá realizada en lugares de interior como salas de exposiciones y museos en los que las condiciones ambientales (humedad, temperatura, irradiancia y factores contaminantes) que tratamos en este apartado deben estar controladas y acondicionadas al tipo de obra que albergan las salas para asegurar su conservación y durabilidad. De ahí que programemos las condiciones ambientales del test de modo similar a las de salas de exposición y museos, incluyendo la incorporación de un filtro para la lámpara UV, a fin de emular la filtración de irradiación por medio de ventanas y acristalamientos.

En este caso, las dimensiones de las probetas y embones se verán reducidas por necesidades específicas de la cámara de envejecimiento. Así pues, las dimensiones de las probetas serán de 30x30x30mm y la de los embones de 30x30x60mm (Figura 32), uniendo dos piezas de MDF por medio de los tres tipos de adhesivo empleados en los anteriores test. Creemos necesario realizar el test de envejecimiento acelerado a los embones con el fin comprobar de qué modo se degradan los adhesivos y cuáles serán los más adecuados para preservar la integridad de la obra en escultura, donde la unión de piezas juega un papel principal. El tiempo total del ciclo de envejecimiento será de 144 horas, entre las cuales los registros se realizarán tras 24, 48, 72 y 144 horas.

La expresión de resultados irá acompañada de imágenes de microscopía óptica de las superficies de las probetas y las juntas de unión de los adhesivos en los embones realizadas por el microscopio óptico *Micro Capture Veho_vms004 20x-400x v1.3*. Esta técnica de microscopía óptica es generalmente una técnica de investigación científica muy utilizada en restauración de obras de arte, ofreciendo una importante ayuda a la hora de

realizar cualquier intervención. Los campos de aumento con los que trabajaremos en nuestro test serán:

1. Campo de bajo aumento: comprendido entre los 10x y los 40x aproximadamente. El objetivo es realizar una observación preeliminar de las probetas a fin de ser aumentada con posterioridad. Esta forma de observar a un nivel bajo de aumentos nos ayuda en la comprensión de aquello que observamos, ya que tratándose de madera y fibras, la aglomeración de éstas últimas puede ser ilegible y conducirnos a errores de interpretación.
2. Campo de alto aumento: comprendido entre los 150x y los 500x. Esta cantidad de aumentos nos permite profundizar en la visualización de gran parte de la micro estructura de la madera y el MDF, independizando incluso las pequeñas unidades en que se divide. Para una correcta observación de las probetas a altos aumentos es necesario que la superficie sea muy plana y en nuestro caso la irregularidad que presentan las fibras, sobre todo en el corte transversal hace que sea difícil esta operación. De ahí que alguna de las imágenes que se mostrarán a continuación presenten cierto desenfoque al capturar la fotografía enfocando por igual una superficie desigual.

Condiciones ambientales para el ciclo de envejecimiento acelerado:

- Humedad relativa (HR): 65%.
- Temperatura (°C): 80°C.
- Irradiancia¹³¹: 550 W/m²

¹³¹ Se considera la irradiancia como la magnitud por la cual medir la cantidad de energía solar por unidad de superficie y tiempo, expresada en W/m².

16.2. Descripción de las probetas antes de ser sometidas al test:

PROBETAS	DIMENSIONES/mm	PESO/gr
MDF	30 x30 x 30	20,51
HAYA	30 x30 x 30	17,32
CEDRO	30 x30 x 30	13,29
TILO	30 x30 x 30	14,64
PINO	30 x30 x 30	20,75
EMBÓN-ACETATO POLIVINILO	30 x30 x 60	36,81
EMBÓN- POLIURETANO	30 x30 x 60	37,86
EMBÓN-NEOPRENO	30 x30 x 60	39,27



Figura 32. Elaboración propia (2012). Dimensiones de probetas y colocación en interior de la cámara.

PESO / gr DE LAS PROBETAS Y EMBONES



Probeta MDF: 20,51gr.



Probeta HAYA: 17,32gr.



Probeta CEDRO: 13,29gr.



Probeta TILO: 14,64 gr.

Imágenes de elaboración propia (2012). Toma de peso de las probetas.



Probeta PINO: 20,75gr.



Embón ACETATO DE POLIVINILO:
36,81gr.




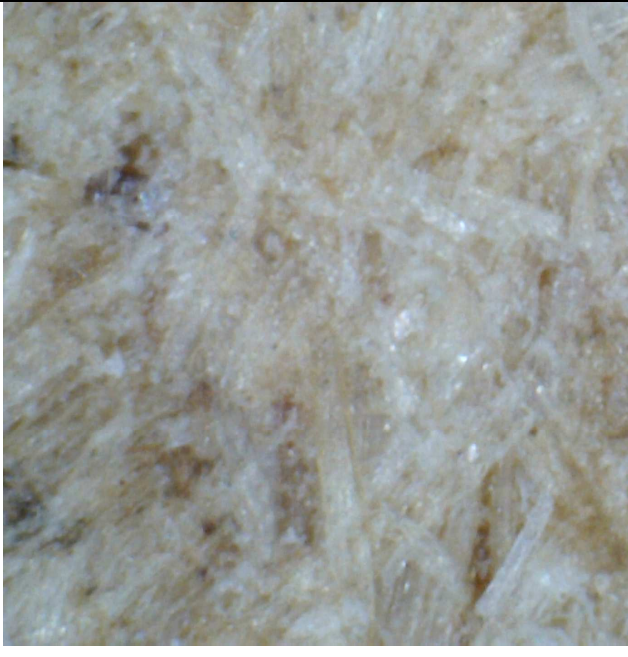
Embón POLIURETANO: 37,86gr.



Embón NEOPRENO: 39,27gr.

Imágenes de elaboración propia (2012). Toma de peso de las probetas.

Probeta de MDF.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO	
	
20x. Dirección paralela a la cara del tablero.	20x. Dirección perpendicular a la cara del tablero.
	
400x. Dirección paralela a la cara del tablero.	400x. Dirección perpendicular a la cara del tablero.

Imágenes de elaboración propia tomadas antes del inicio del test (2012).

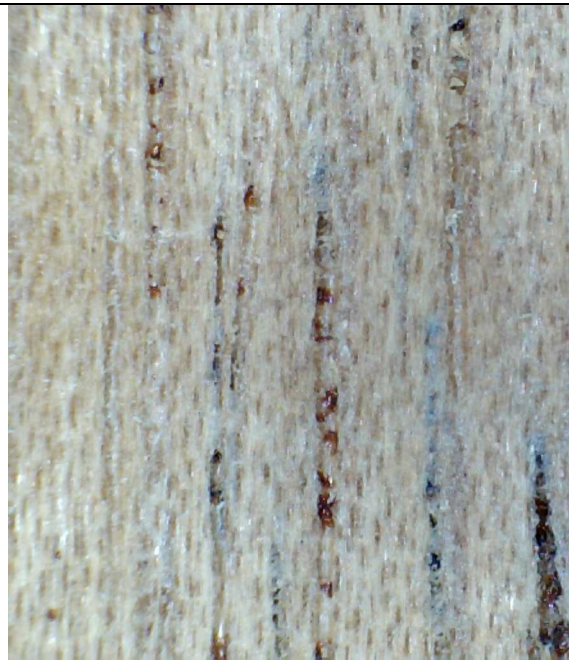
Probeta de madera de haya.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO	
	
20x. Dirección paralela a la fibra.	20x. Dirección perpendicular a la fibra.
	
400x. Dirección paralela a la fibra.	400x. Dirección perpendicular a la fibra.

Imágenes de elaboración propia tomadas antes del inicio del test (2012).

Probeta de madera de cedro.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO



20x. Dirección paralela a la fibra.



20x. Dirección perpendicular a la fibra.



400x. Dirección paralela a la fibra.



400x. Dirección perpendicular a la fibra.

Imágenes de elaboración propia tomadas antes del inicio del test (2012).

Probeta de madera de tilo

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO	
	
20x. Dirección paralela a la fibra.	20x. Dirección perpendicular a la fibra.
	
400x. Dirección paralela a la fibra.	400x. Dirección perpendicular a la fibra.


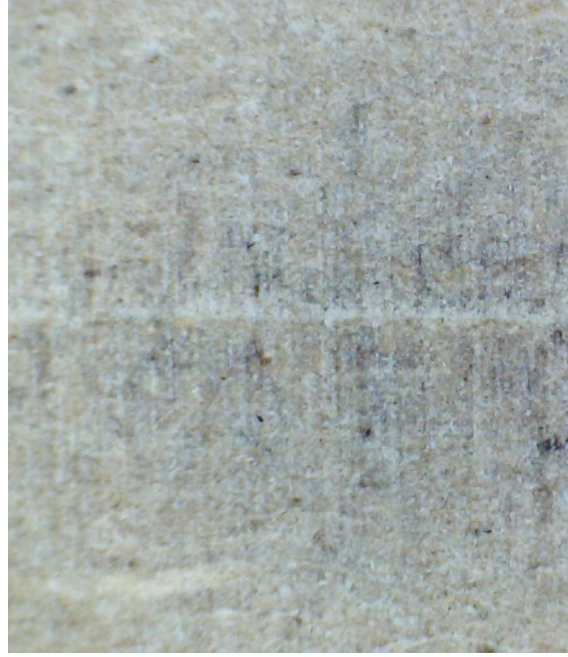
Imágenes de elaboración propia tomadas antes del inicio del test (2012).

Probeta de madera de pino.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO	
	
20x. Dirección paralela a la fibra.	20x. Dirección perpendicular a la fibra.
	
400x. Dirección paralela a la fibra.	400x. Dirección perpendicular a la fibra.

Imágenes de elaboración propia tomadas antes del inicio del test (2012).

Embones por medio de diferentes adhesivos.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA ANTES DEL TEST DE ENVEJECIMIENTO	
	
20x. Embón por medio de acetato de polivinilo: junta de unión.	20x. Embón por medio de adhesivo de poliuretano: junta de unión.

Imágenes de elaboración propia (2012).



20x. Embón por medio de adhesivo en base de neopreno: junta de unión

Imágenes de elaboración propia (2012).

16.3. Resultados tras el periodo de 144 horas de exposición al test.

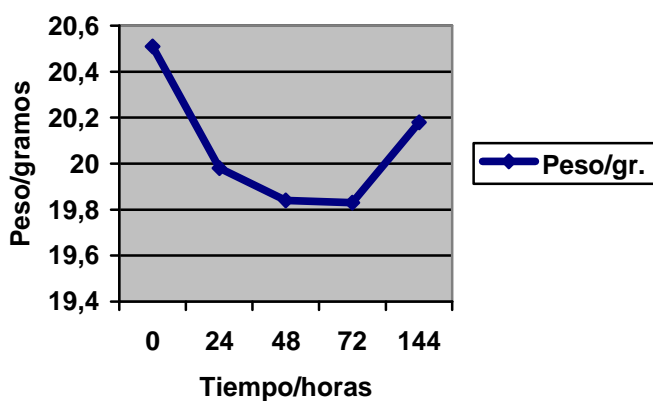
16.3.1. Probeta de MDF.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

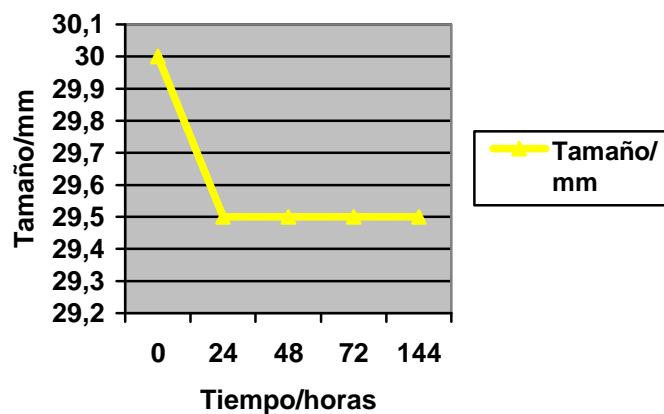
PROBETA MDF			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x30	20,51	0%
24	30x30x29,5	19,98	1,6%
48	30x30x29,5	19,84	0%
72	30x30x29,5	19,83	0%
144	30x30x29,5	20,18	0%

PROBETA MDF

VARIABLE DE PESO



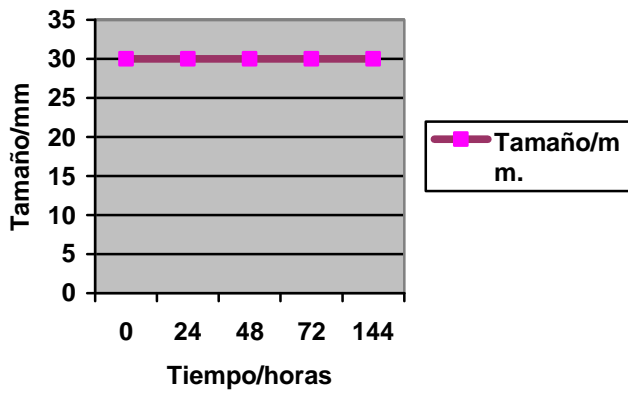
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



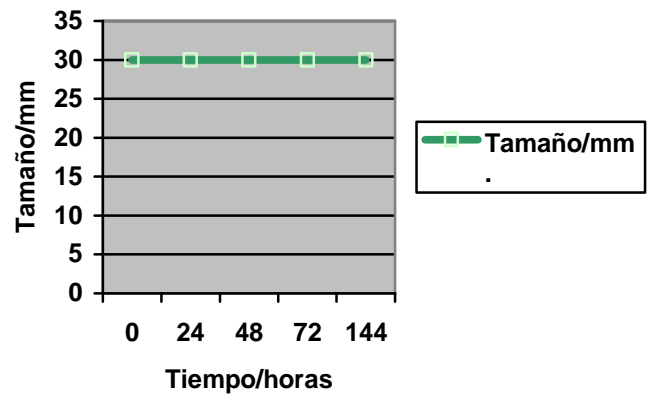
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA MDF

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

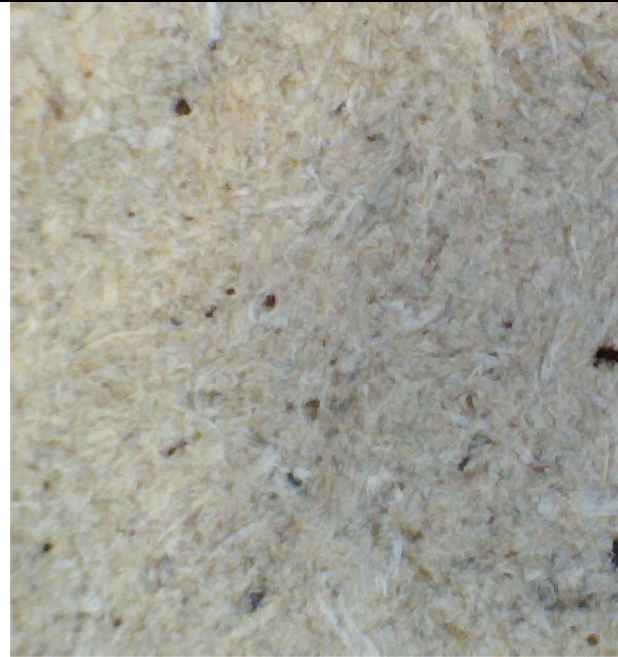


Imagen de cara tras 24 horas.

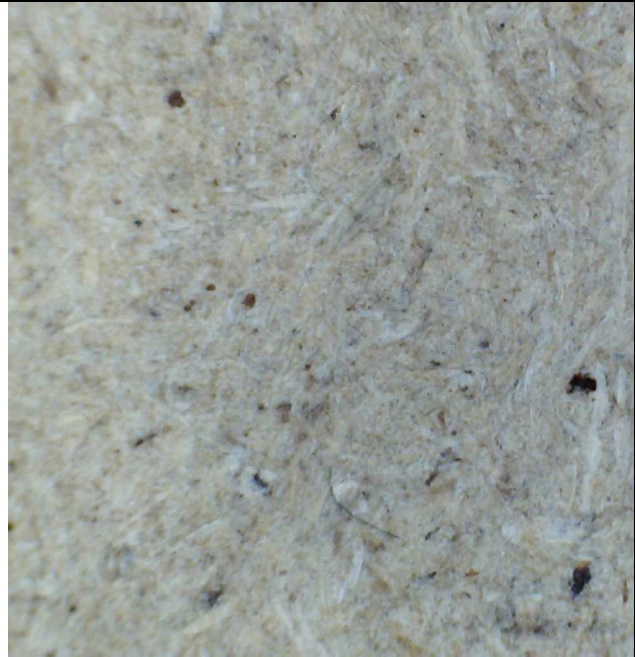


Imagen de cara tras 48 horas.

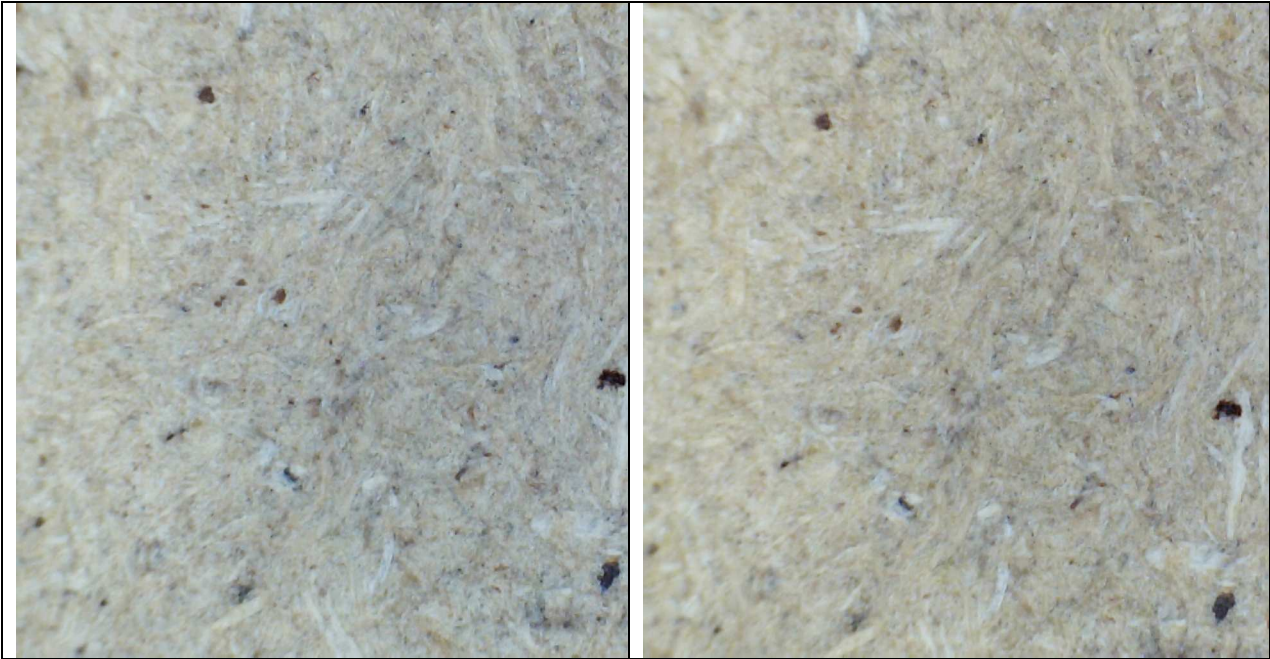


Imagen de cara tras 72 horas.

Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS

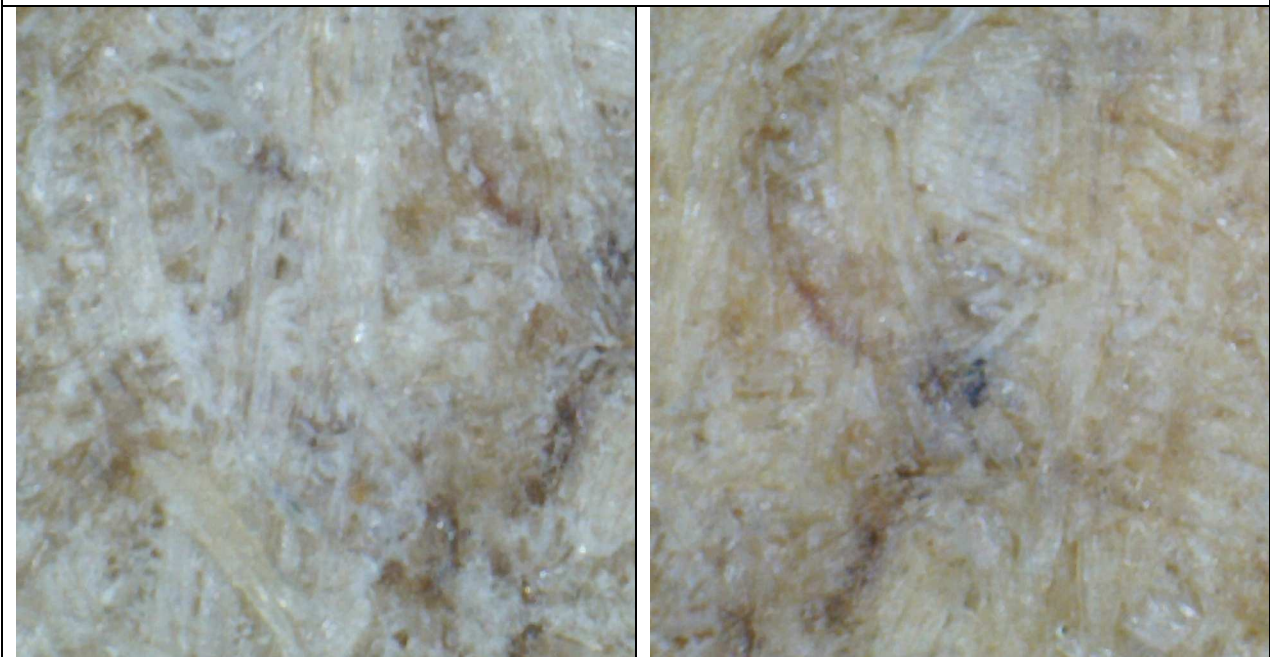


Imagen de cara tras 24 horas.

Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012)..

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS



Imagen de canto tras 24 horas.



Imagen de canto tras 48 horas.



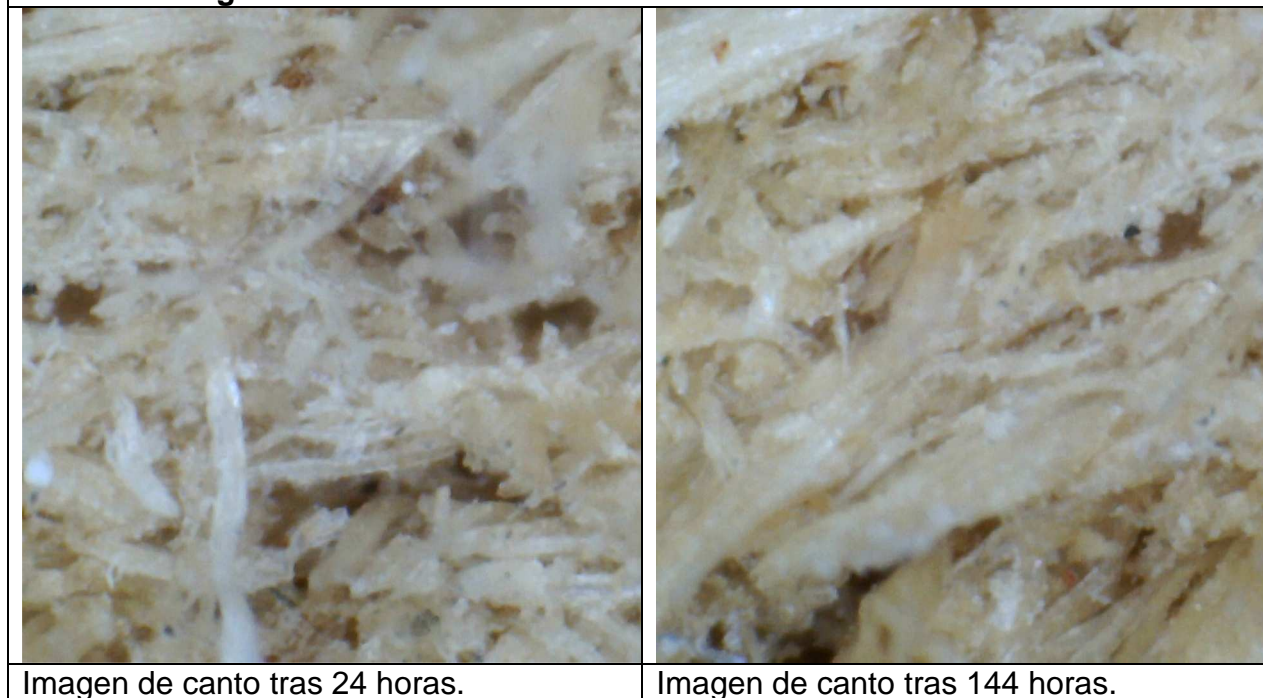
Imagen de canto tras 72 horas.



Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012)..

Figura 33. IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS



Imágenes de elaboración propia (2012)..

Observaciones:

Podemos observar tras finalizar el test de envejecimiento acelerado, que la probeta de MDF sufre una merma de 0,5 mm. (1,6%) en el canto (grosor) de la probeta tras las 24 horas iniciales de test, que se mantendrá durante el resto del periodo de exposición al mismo. Esto se verá motivado por el envolvente calor ambiental y la incidencia de la luz directamente sobre la probeta durante 24 horas seguidas que causa la retracción de sus fibras. Es tras las 24 primeras horas cuando se percibe una modificación en la coloración de la superficie de la probeta, tendiendo al oscurecimiento, que se acentuará levemente durante las 120 horas siguientes. Para comprobar dicho oscurecimiento podemos observar las imágenes microscópicas a 400 aumentos del canto de la probeta realizadas tras las 144 horas de exposición al test (Figura 33), en las que se puede apreciar la leve contracción de las fibras y la modificación de la coloración si la comparamos con la misma imagen tomada antes del inicio del test. Se aprecia igualmente unas ligeras alteraciones en el peso de la probeta de 0,68 gr. (3,31%) durante las 72 primeras horas, oscilando entre los 53 y 68 gr. cada 24 horas, debido a la acción del calor,

incidencia de la luz y la humedad relativa. Este dato se verá contrastado con el registro que se realiza desde la 72 hasta la 144 horas, entre las que el peso de la probeta aumenta en 35 gr., aproximándose de nuevo al peso de la probeta en estado de equilibrio higroscópico. Este aumento se debe a la prolongada exposición a las condiciones ambientales programadas durante las últimas 72 horas sin que se interrumpa el test cada 24 para realizar los registros, como ocurría anteriormente, lo que hace que la probeta regularice su contenido en humedad y vuelva al estado de equilibrio.

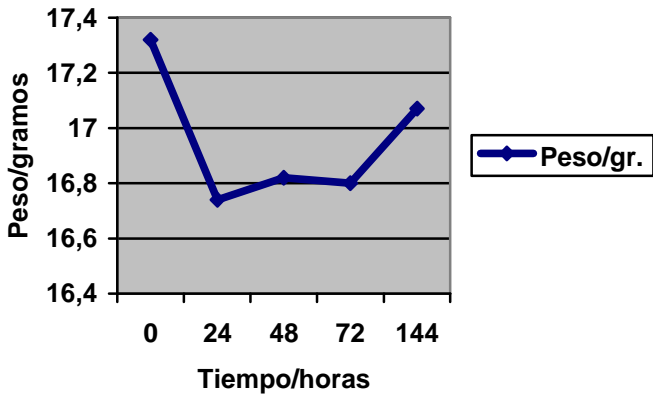
16.3.2. Probeta de madera de haya.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

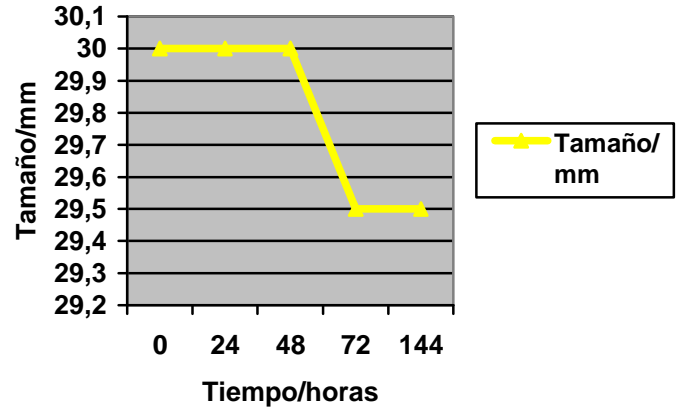
PROBETA HAYA			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x30	17,32	0%
24	30x30x30	16,74	0%
48	30x30x30	16,82	0%
72	30x30x29,5	16,80	1,6%
144	30x30x29,5	17,07	0%

PROBETA HAYA

VARIABLE DE PESO



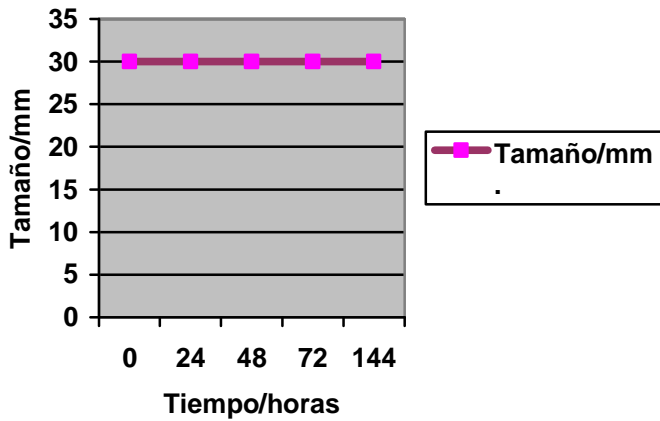
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



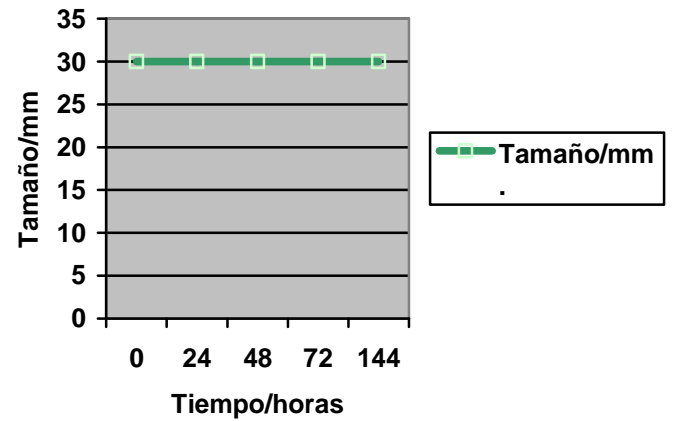
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA HAYA

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

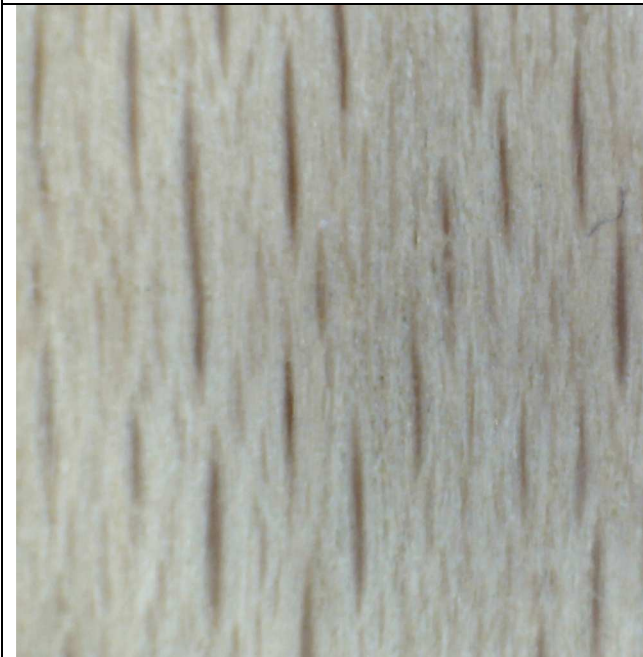


Imagen de cara tras 24 horas.

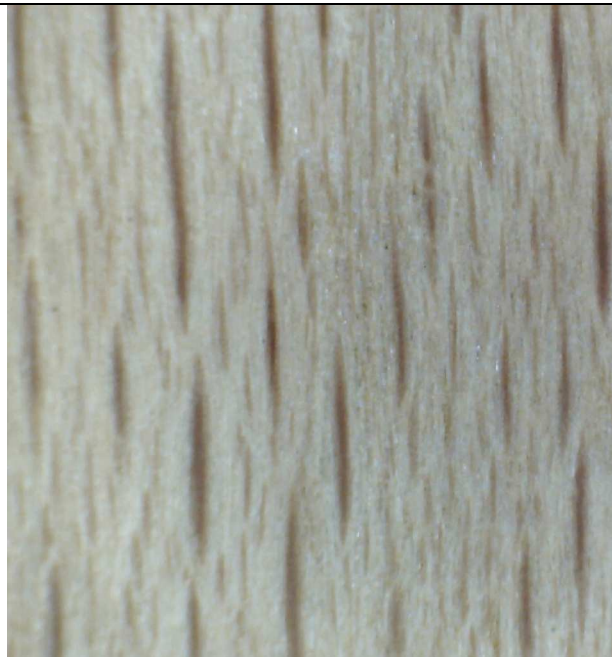


Imagen de cara tras 48 horas.



Imagen de cara tras 72 horas.



Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS



Imagen de cara tras 24 horas.



Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia(2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

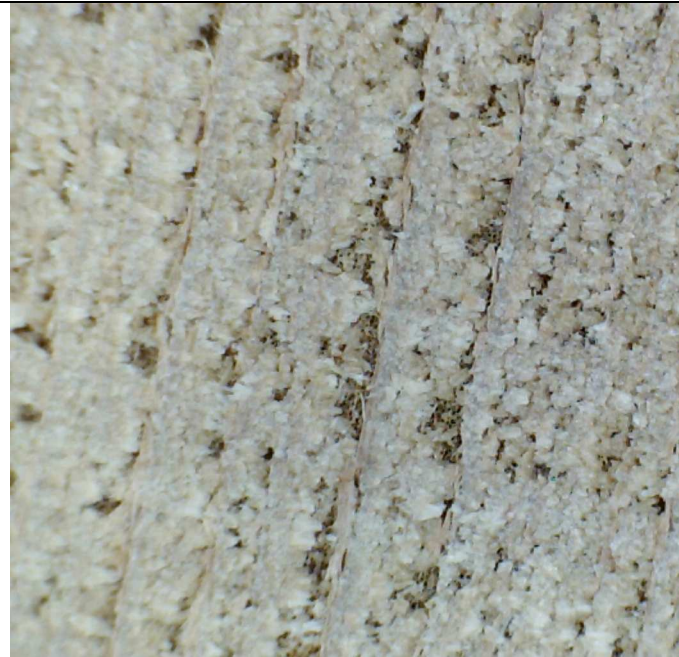


Imagen de canto tras 24 horas.



Imagen de canto tras 48 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).



Imagen de canto tras 72 horas.

Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Figura 34. IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS



Imagen de canto tras 24 horas.

Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

En el caso de la probeta de madera de haya, tras el test realizado se puede observar una disminución de 0,58 gr, (3,33%) en el peso de la misma tras las 24 horas iniciales debido, como en el caso anterior, a las condiciones de calor y la incidencia directa de la luz. Será a partir de las 48 horas cuando el peso irá ascendiendo progresivamente hasta alcanzar tras el final del test 0,25 gr. (1,4%) más, debido al regreso a estado de equilibrio higroscópico dentro de las condiciones programadas en el interior de la cámara. Tras la 72 hora de exposición al test, la probeta se contrae en 0,5mm. (1,6%) reflejado en los registros referentes a la dirección perpendicular a la fibra y debido, como en el caso del MDF, a la retracción de sus fibras por la acción de la luz, la humedad y la temperatura. Se puede observar la retracción de las fibras y el oscurecimiento de la superficie al comparar las imágenes de microscopía en estado inicial del test y tras finalizarlo (Figura 34).

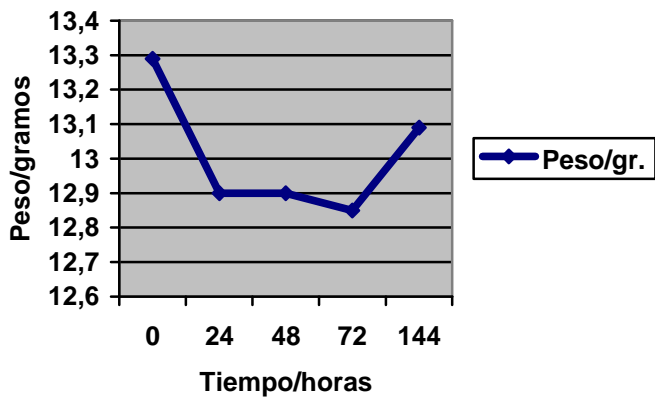
16.3.3. Probeta de madera de cedro.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

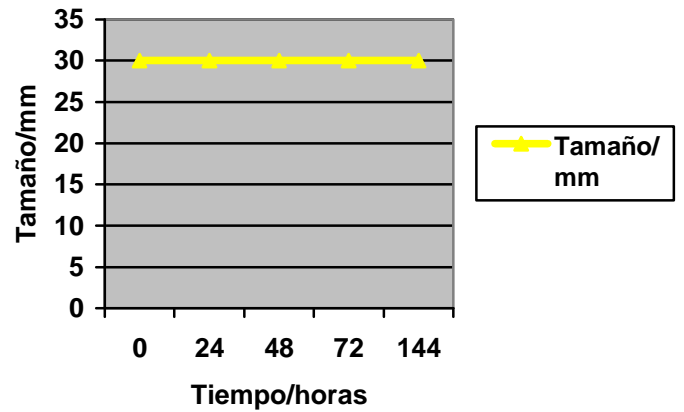
PROBETA CEDRO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x30	13,29	0%
24	30x30x30	12,90	0%
48	30x30x30	12,90	0%
72	30x30x30	12,85	0%
144	30x30x30	13,09	0%

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE PESO



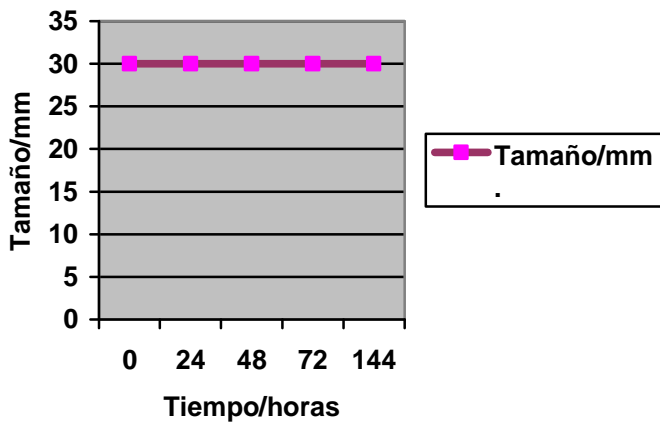
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



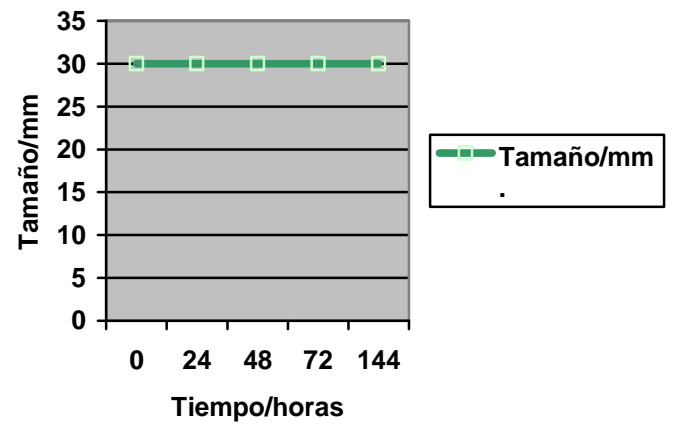
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA CEDRO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

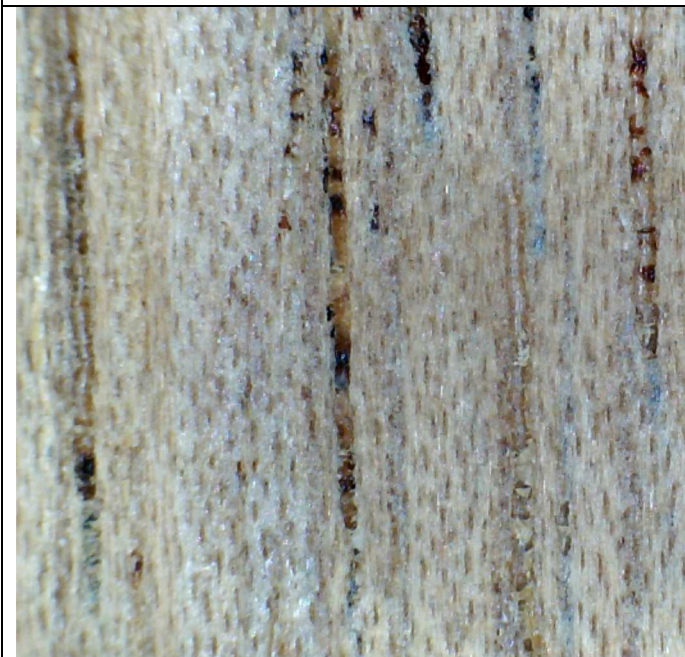


Imagen de cara tras 24 horas.

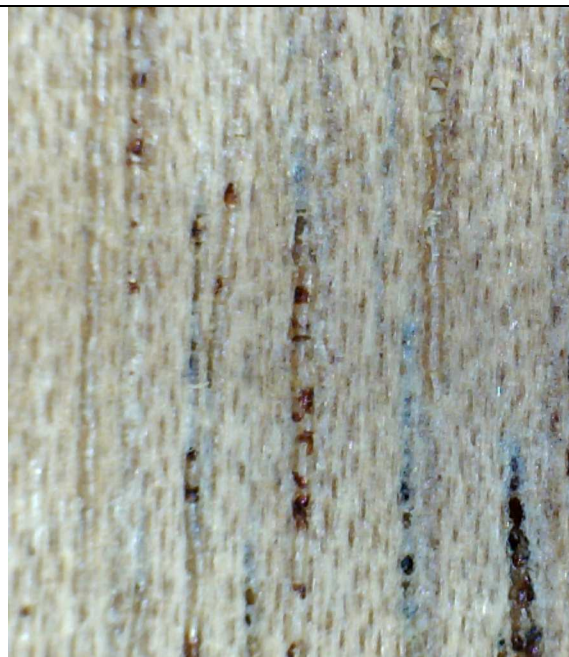


Imagen de cara tras 48 horas.

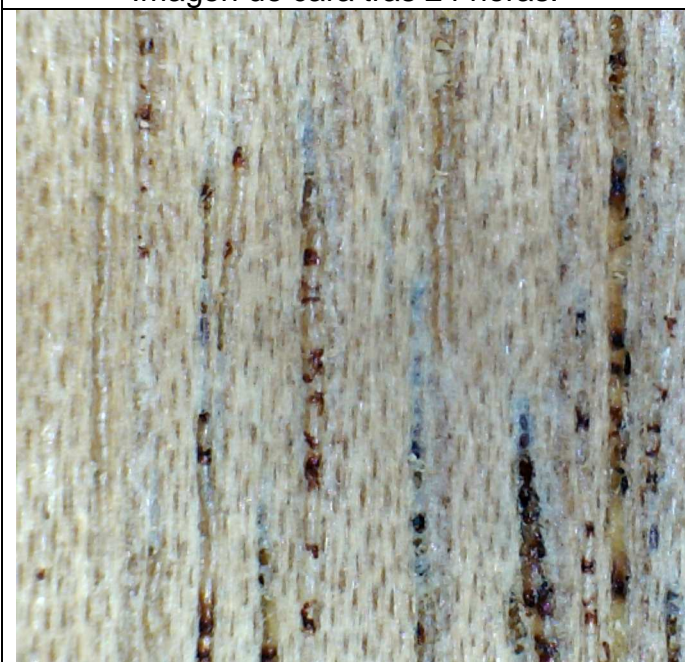


Imagen de cara tras 72 horas.

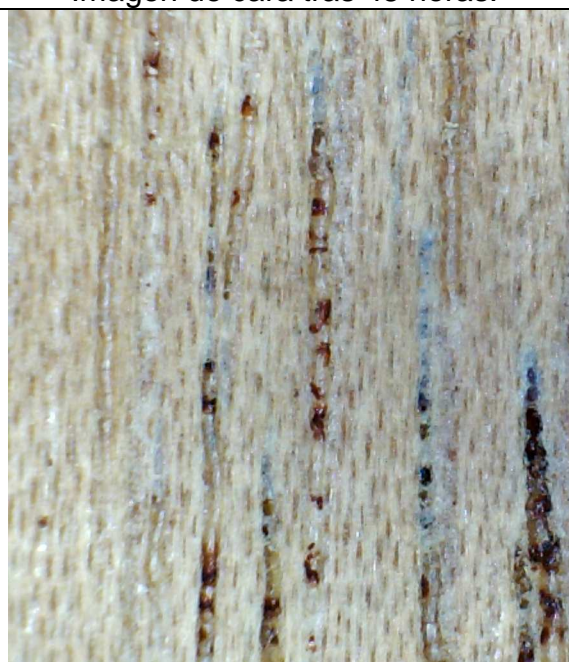


Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS

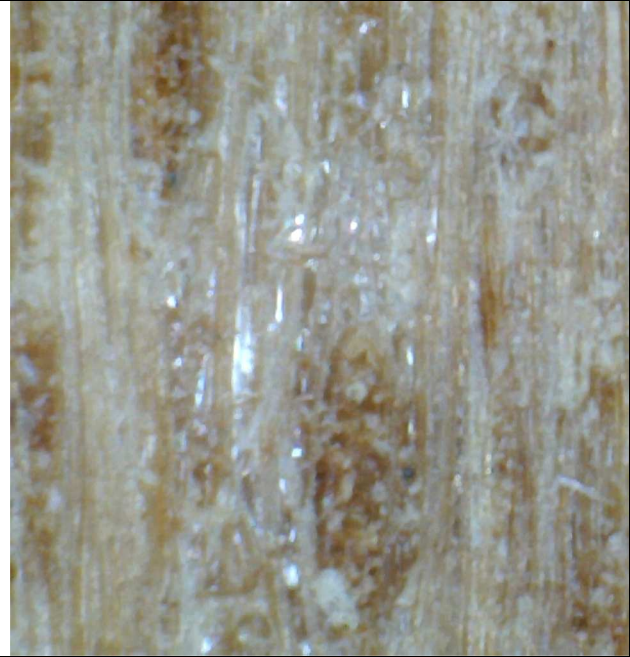


Imagen de cara tras 24 horas.



Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS



Imagen de canto tras 24 horas.

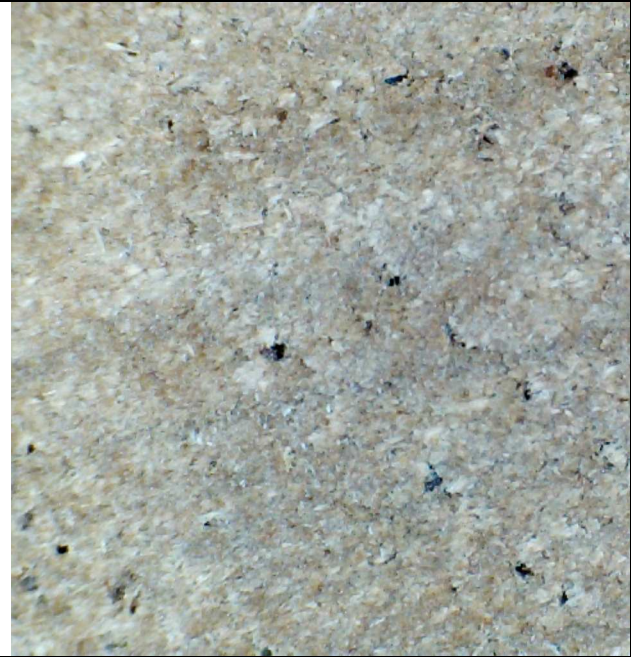


Imagen de canto tras 48 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).



Imagen de canto tras 72 horas.



Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS

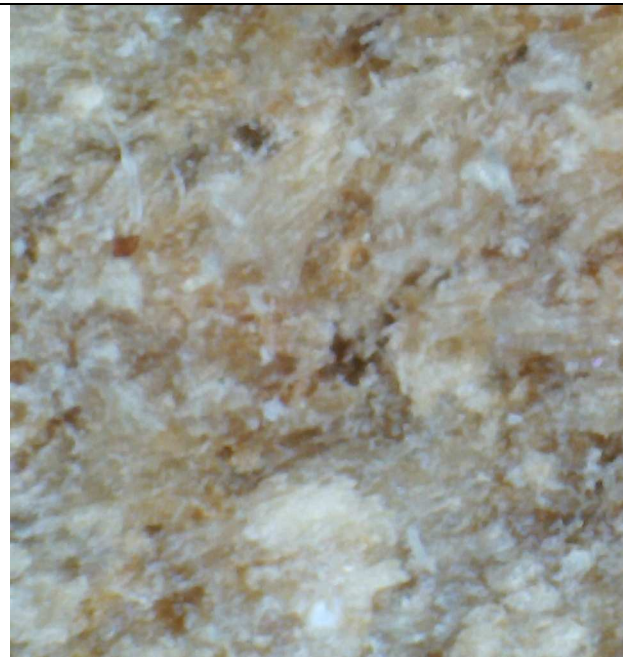


Imagen de canto tras 24 horas.

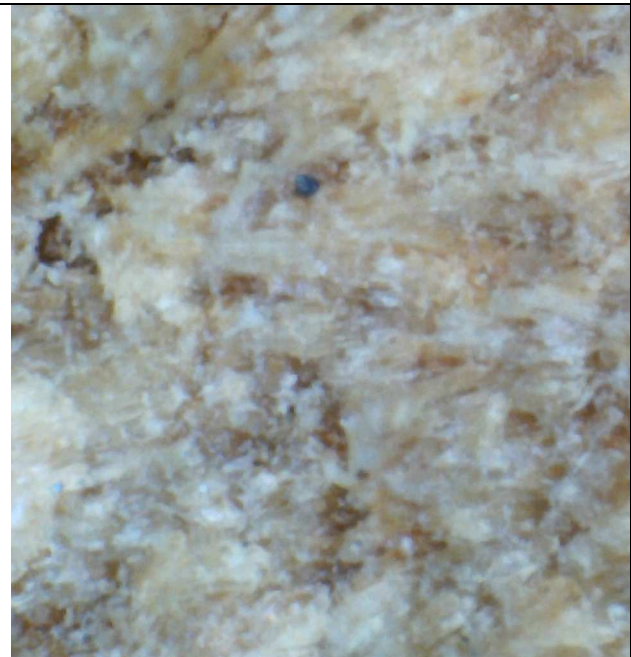


Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Podemos observar que la probeta de cedro sufre modificaciones similares al resto de probetas en cuanto a la disminución gradual de peso durante las 72 primeras horas de exposición al test, en un total de 0,44gr. (3,31%). Como en anteriores casos, es en el periodo comprendido entre las 72 y las 144 horas cuando el peso de la probeta aumenta en 0,24 gr. (1,8%), debido a la estabilización dentro de las condiciones ambientales de la cámara en el periodo ininterrumpido de las 72 horas finales. La modificación en la coloración es apreciable en este caso, sobre todo en la cara de la probeta en la que la luz incide directamente y se pueden contrastar por medio de las imágenes de microscopía que acompañan a los datos mostrados, en las que además podemos observar pequeñas exudaciones de resina en las grietas naturales de la madera. Sin embargo y al contrario que ocurre en las probetas de MDF y madera de haya, la probeta de cedro no sufre retracción en sus fibras por lo que el tamaño de la probeta se mantiene inalterado en cualquiera de sus direcciones durante todo el test.

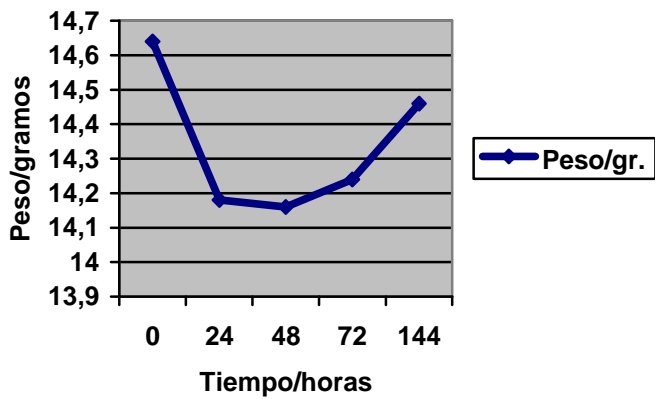
16.3.4. Probeta de madera de tilo.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

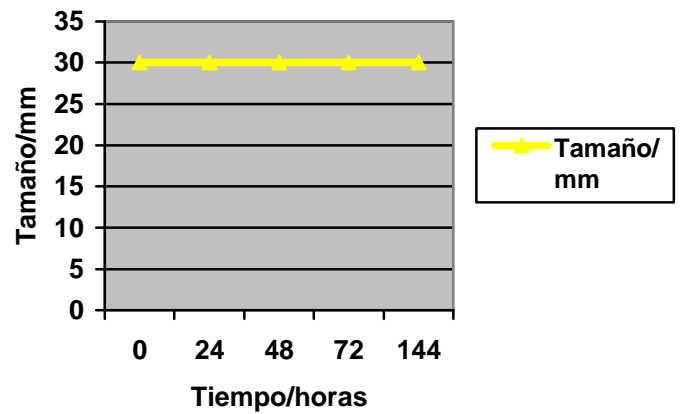
PROBETA TILO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x30	14,64	0%
24	30x30x30	14,18	0%
48	30x30x30	14,16	0%
72	30x30x30	14,24	0%
144	30x30x30	14,46	0%

PROBETA TILO

VARIABLE DE PESO



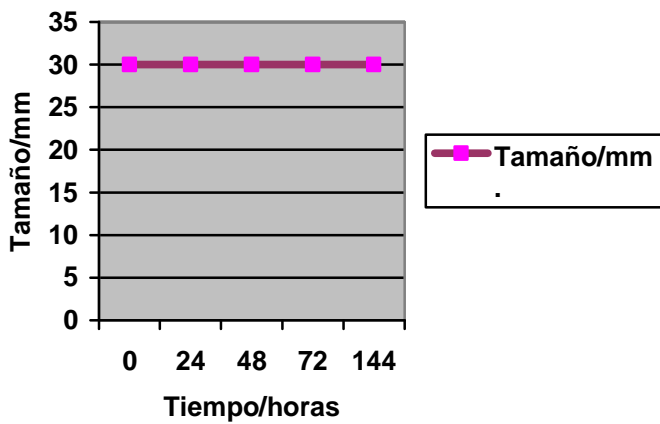
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



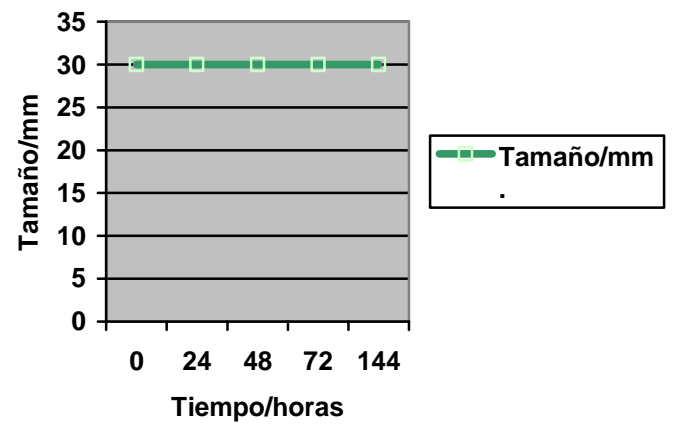
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA TILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



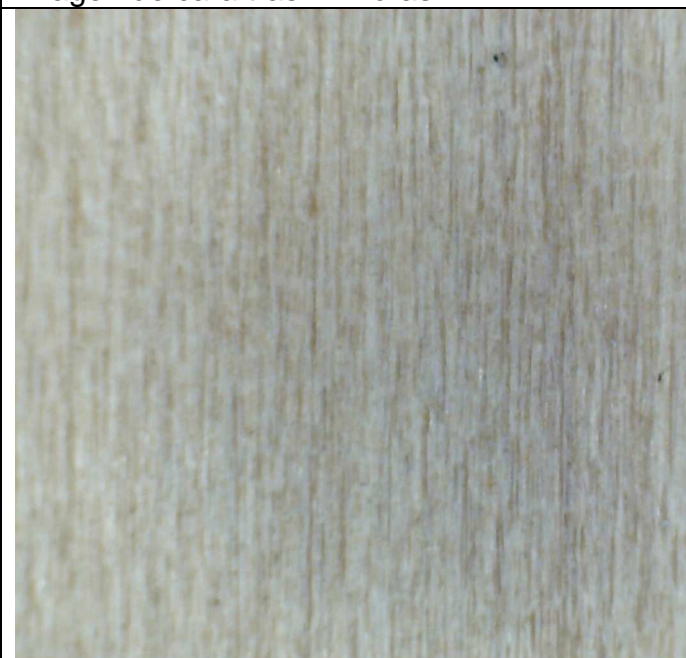



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

	
Imagen de cara tras 24 horas.	Imagen de cara tras 48 horas.
	
Imagen de cara tras 72 horas.	Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS



Imagen de cara tras 24 horas.

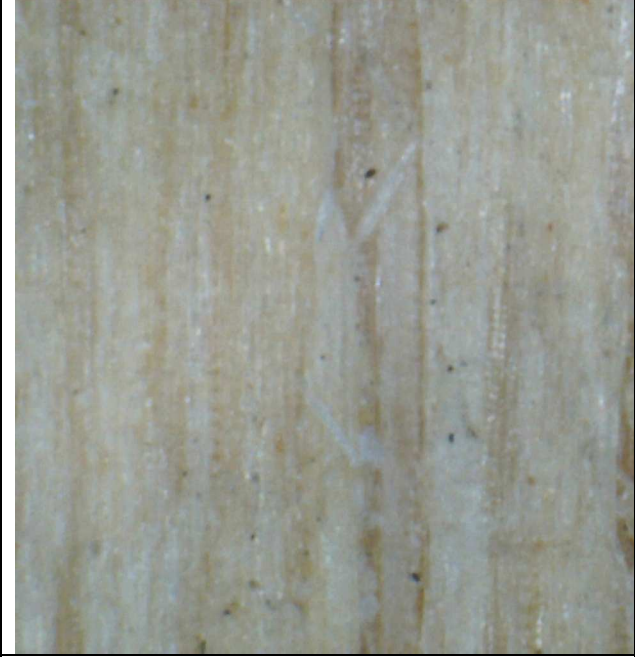


Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS



Imagen de canto tras 24 horas.



Imagen de canto tras 48 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

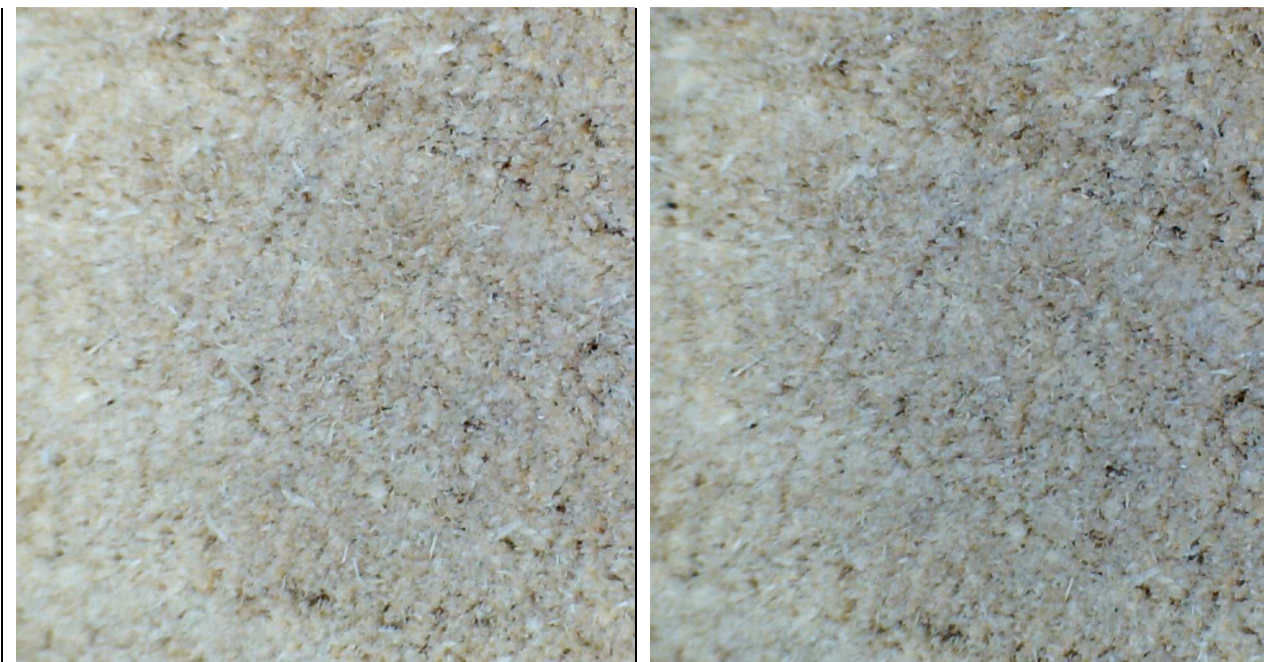


Imagen de canto tras 72 horas.

Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS

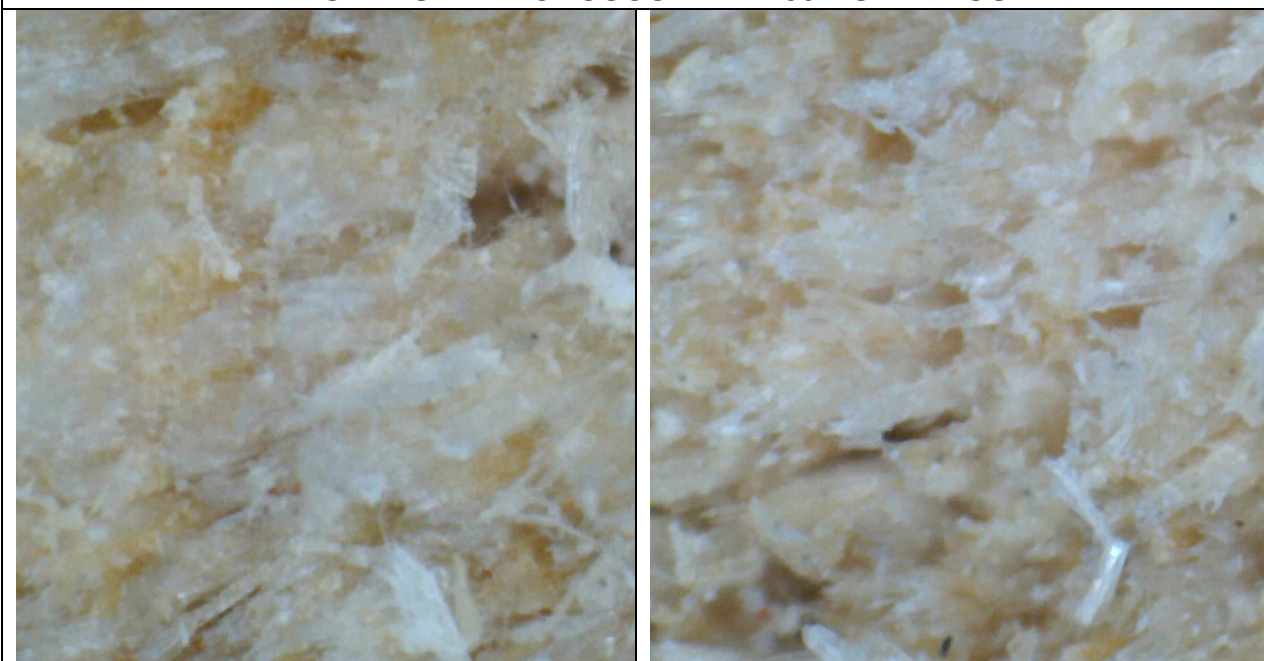


Imagen de canto tras 24 horas.

Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

En este caso, la disminución de peso que se produce durante el transcurso del test es igualmente leve y de forma gradual, con un total de 0,48gr. (3,27%) hasta la hora 48, a partir de la cual la probeta vuelve a aumentar de peso en 0,30 gr. (2,1%) conforme se estabiliza dentro de las condiciones ambientales del interior de la cámara de envejecimiento. No se percibe modificación alguna en el tamaño de la probeta en cualquiera de sus direcciones, pero sí en el cambio de coloración de esta, con un leve oscurecimiento de su superficie.

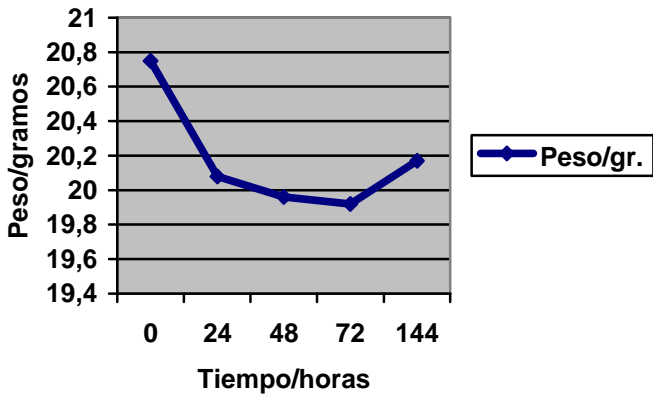
16.3.5. Probeta de madera de pino.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

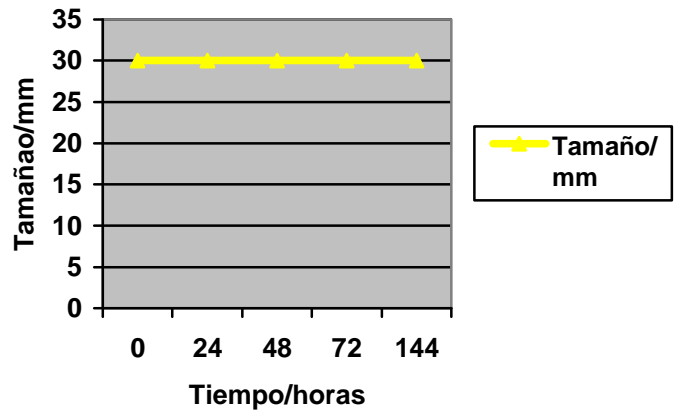
PROBETA PINO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x30	20,75	0%
24	30x30x30	20,08	0%
48	30x30x30	19,96	0%
72	30x30x30	19,92	0%
144	30x30x30	20,17	0%

PROBETA PINO

VARIABLE DE PESO



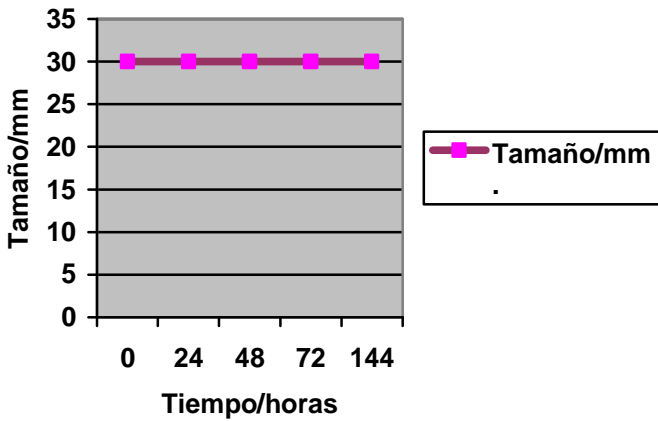
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



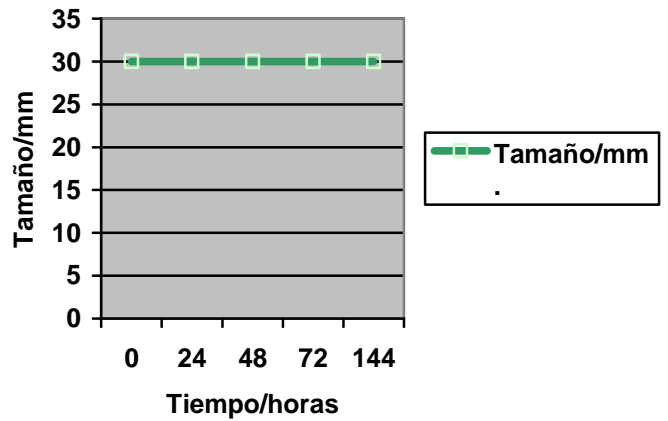
Gráficas de elaboración propia.

PROBETA PINO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

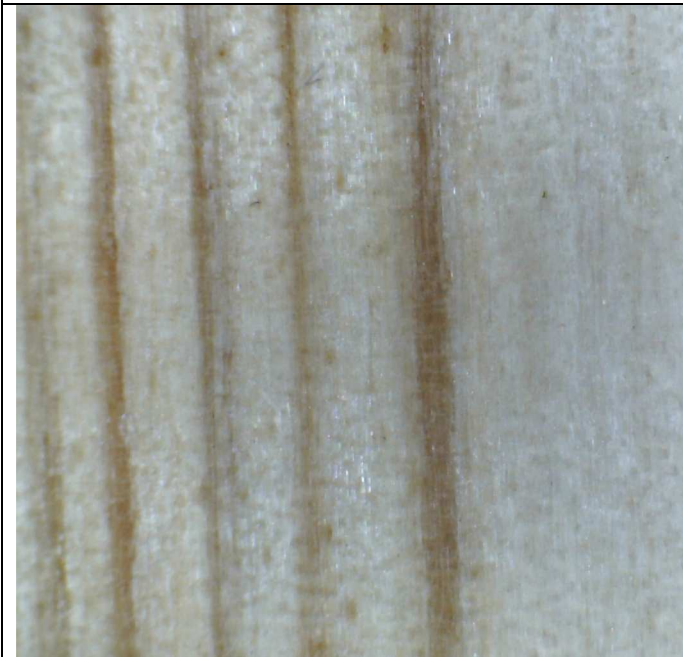


Imagen de cara tras 24 horas.



Imagen de cara tras 48 horas.

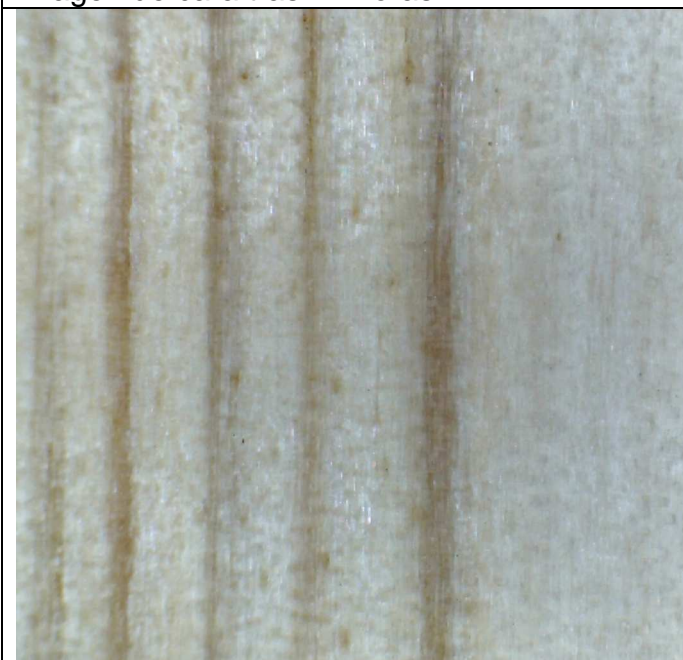


Imagen de cara tras 72 horas.



Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS



Imagen de cara tras 24 horas.



Imagen de cara tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS



Imagen de canto tras 24 horas.



Imagen de canto tras 48 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

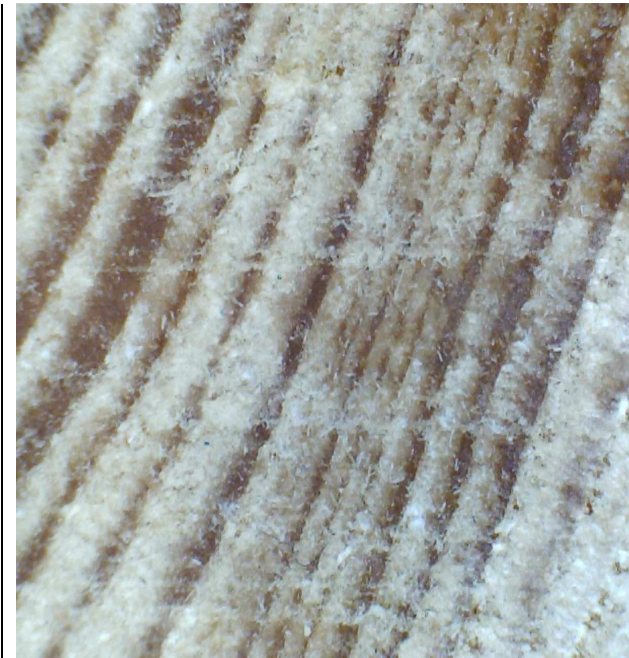


Imagen de canto tras 72 horas.



Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Figura 35. IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 400 AUMENTOS

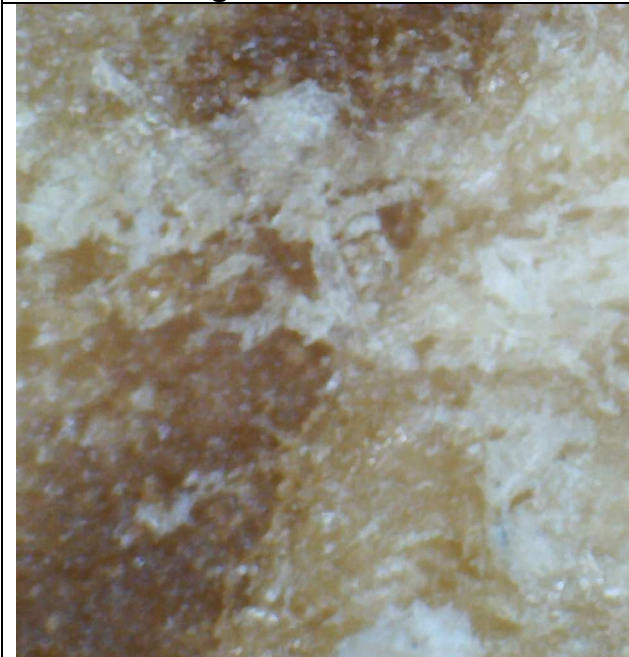


Imagen de canto tras 24 horas.



Imagen de canto tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Podemos observar en los resultados del test que la probeta de pino sufre el descenso en su peso por pérdida de humedad en un total de 0,83 gr. (4%) desde el inicio del test hasta la hora 72 debido a las altas temperaturas y la incidencia directa de la luz. A partir de la hora 72 y debido a la continuidad de la exposición al test hasta la hora 144, el peso de la probeta aumenta en 0,25 gr. (1,25%) ya que, y como ocurre en los anteriores casos, la probeta comienza a estabilizarse de acuerdo a las condiciones ambientales de la cámara. Al contrario que cabría esperar, la probeta de pino no muestra deformación volumétrica en cualquiera de sus direcciones en ninguno de los registros efectuados durante el transcurso del test. Tampoco presenta aparición de fendas, pero sí una leve exudación de resina a través de los anillos medulares que podemos observar en las imágenes que acompañan la exposición de los datos (Figura 35) y el oscurecimiento característico en aquellas zonas en las que la luz incide de modo directo.

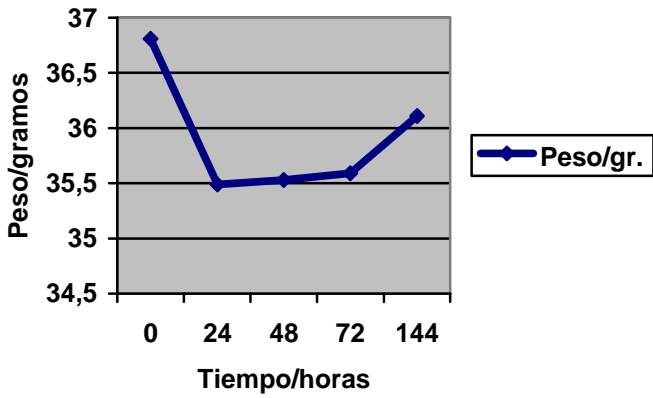
16.3.6. Embón MDF por medio de acetato de polivinilo.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

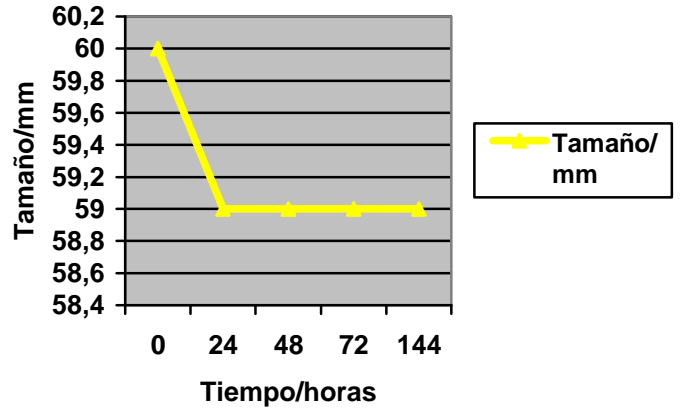
EMBÓN MDF ACETATO POLIVINILO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x60	36,81	0%
24	30x30x59	35,49	1,6%
48	30x30x59	35,53	0%
72	30x30x59	35,59	0%
144	30x30x59	36,11	0%

EMBÓN MDF ACETATO POLIVINILO

VARIABLE DE PESO



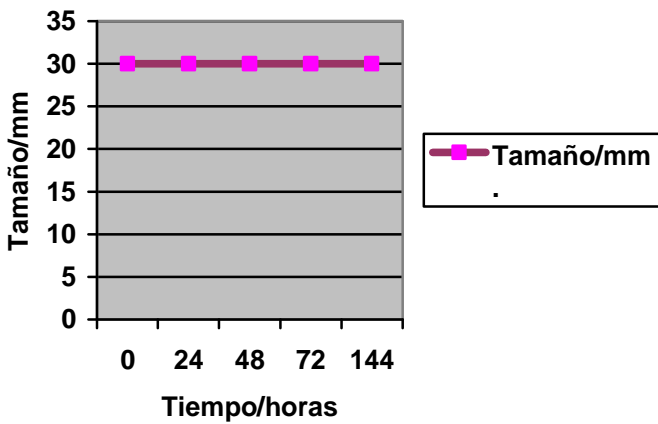
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



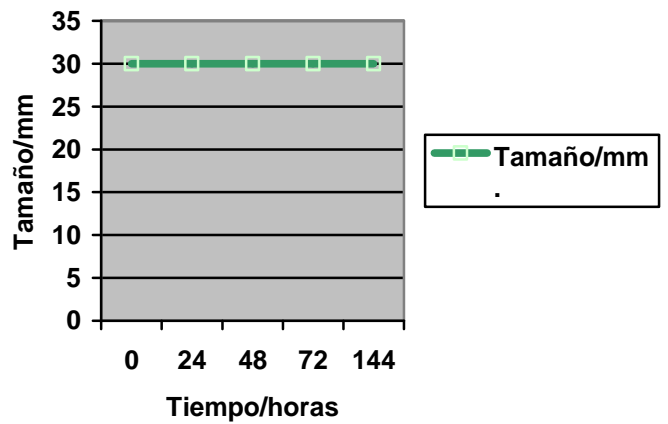
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF ACETATO POLIVINILO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO




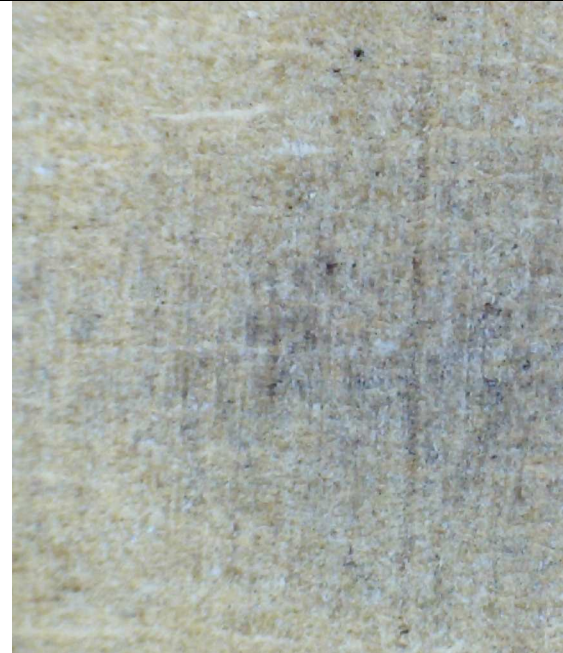


VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Figura 36. IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

	
Imagen de junta de unión tras 24 horas.	Imagen de junta de unión tras 48 horas.
	
Imagen de junta de unión tras 72 horas.	Imagen de junta de unión tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

En el caso del embón MDF realizado por medio de adhesivo de acetato de polivinilo los datos reflejan efectos similares a los de la probeta del mismo material. Se aprecia un descenso en el peso del embón de 1,28 gr. (3,4%) en total, disminuyendo de forma progresiva desde el inicio hasta las 48 horas, momento en que el peso comienza a aumentar un total de 0,58 gr. (1,6%) más hasta la conclusión del test. Esta pérdida de humedad es causada por el efecto del calor y la incidencia directa de la luz sobre el embón, pero además, estas condiciones provocan la contracción de sus fibras y por tanto la merma total del embón en 1 mm. (1,6%) tras las 24 primeras horas, en la que 0,5mm. corresponden a cada una de las piezas que lo componen. Se percibe el cambio de coloración (oscurecimiento) en aquellas zonas en las que la luz incide directamente y sin embargo, no se percibe la pérdida de las cualidades del adhesivo que compone el embón (Figura 36). Este dato es de importancia porque nos indica la integridad del bloque ante las condiciones ambientales programadas en la cámara.

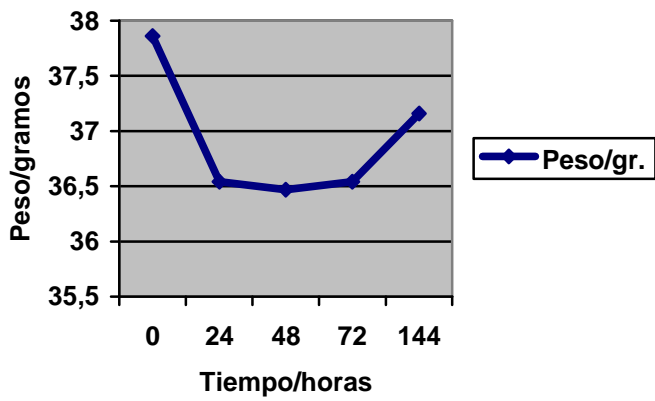
16.3.7. Embón MDF por medio de adhesivo de poliuretano-isocianato.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

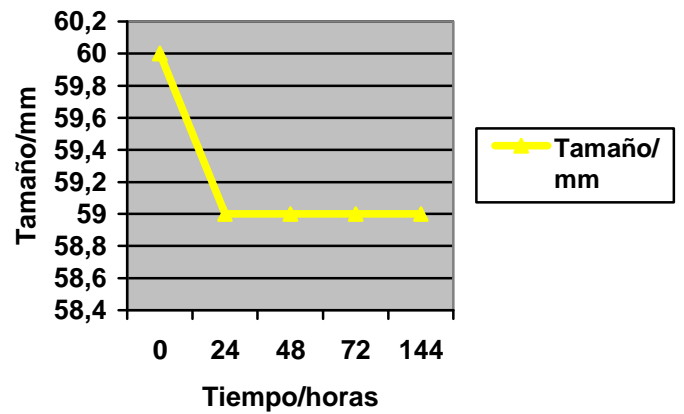
EMBÓN MDF POLIURETANO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x60	37,86	0%
24	30x30x59	36,54	1,6%
48	30x30x59	36,47	0%
72	30x30x59	36,54	0%
144	30x30x59	37,16	0%

EMBÓN MDF POLIURETANO

VARIABLE DE PESO



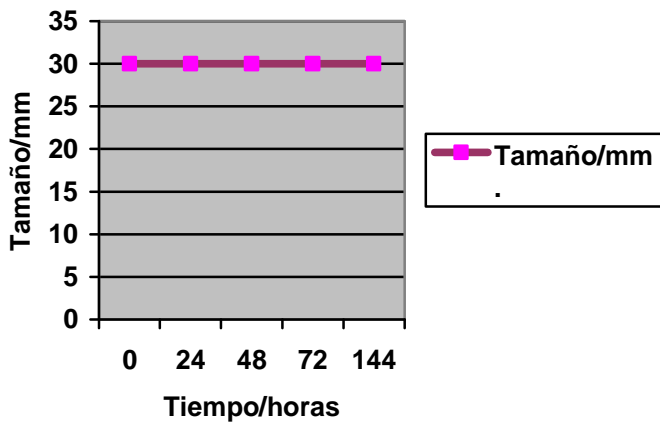
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



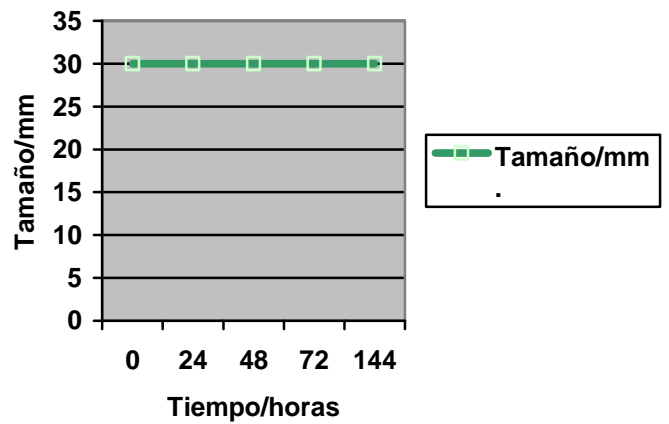
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF POLIURETANO



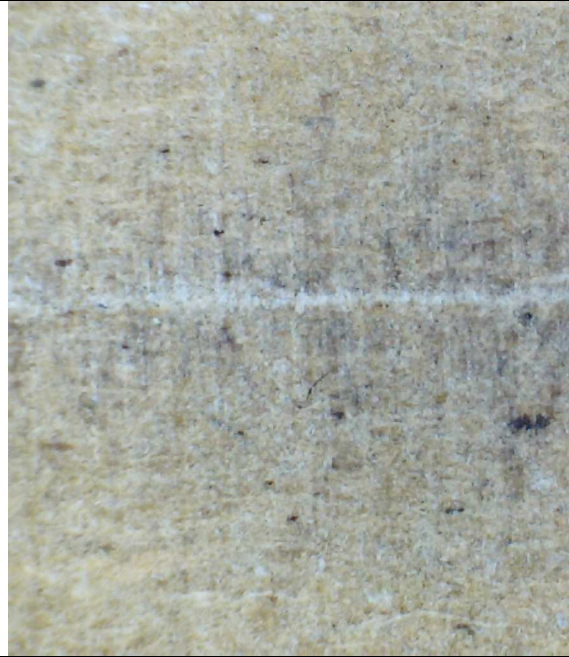
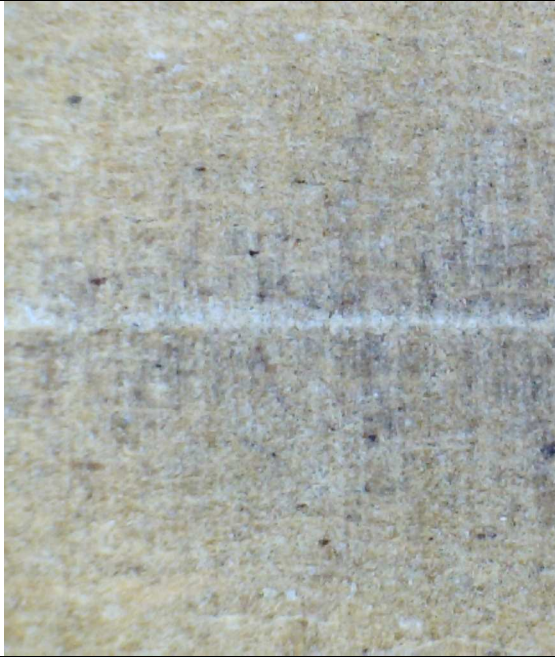
VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO



VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO



Gráficas de elaboración propia.

Figura 37. IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS	
	
Imagen de junta de unión tras 24 horas.	Imagen de junta de unión tras 48 horas.
	
Imagen de junta de unión tras 72 horas.	Imagen de junta de unión tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

En el caso del embón de MDF realizado por medio de adhesivo de poliuretano en base de isocianato los efectos producidos tras el test de envejecimiento acelerado son similares a los descritos anteriormente. Se aprecia el descenso de peso progresivo hasta la hora 48 en un total de 1,39 gr. (3,6%), pero es a partir de esta misma hora, cuando el peso comienza a aumentar en un total de 0,69 gr. (1,8%) más hasta la finalización del test. En cuanto a la deformación volumétrica, la pérdida de 1mm. (1,6%) en el grosor del embón a partir de las 24 primeras horas es similar a la del anterior caso, debido a la retracción de las fibras por la incidencia de la luz y el calor en el interior de la cámara. Se percibe la modificación del color por oscurecimiento de la superficie y no se aprecia la pérdida de las cualidades del adhesivo que compone el embón (Figura 37).

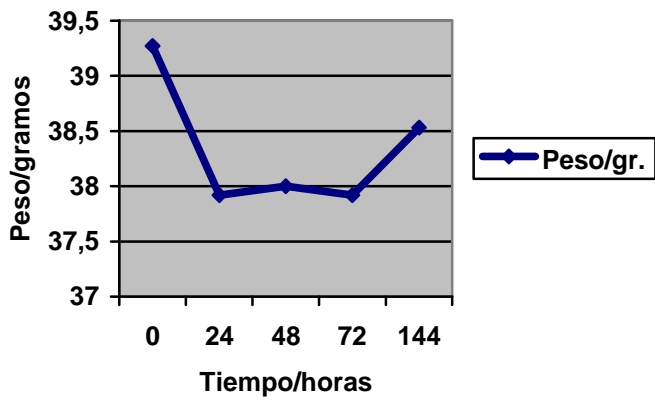
16.3.8. Embón MDF por medio de adhesivo vinílico en base neopreno.

Características de la probeta tras el test de envejecimiento acelerado:

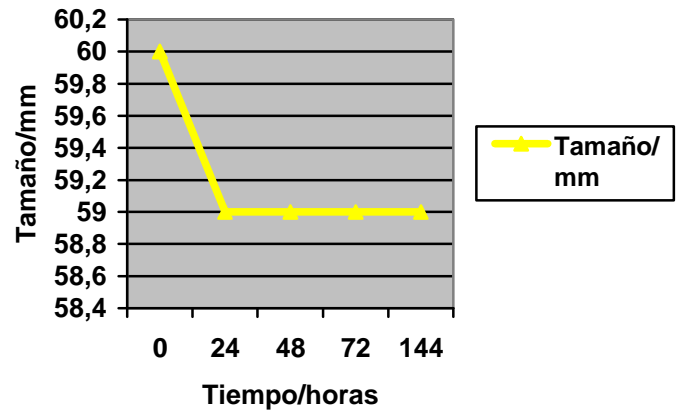
EMBÓN MDF NEOPRENO			
Tiempo/horas	Dimensiones/mm.	Peso/gr.	</>Volumen/%
0	30x30x60	39,27	0%
24	30x30x59	37,92	1,6%
48	30x30x59	38,00	0%
72	30x30x59	37,92	0%
144	30x30x59	38,53	0%

EMBÓN MDF NEOPRENO

VARIABLE DE PESO



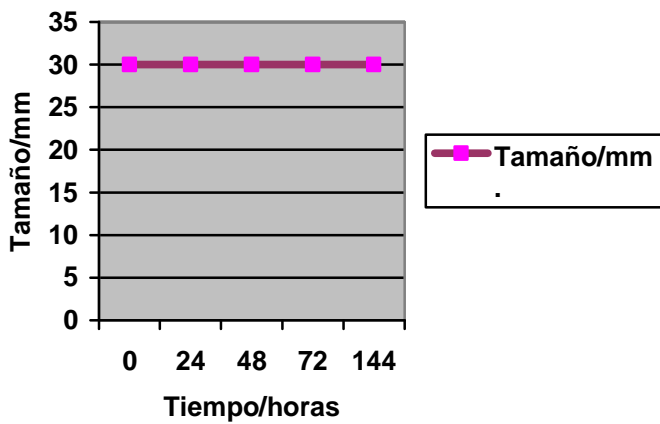
VARIABLE DE TAMAÑO / GROSOR



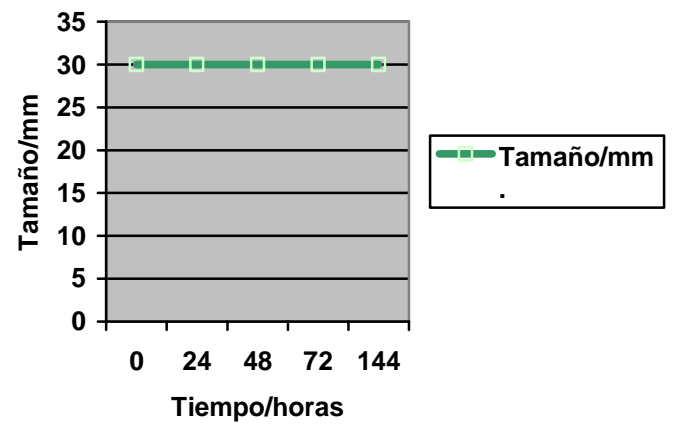
Gráficas de elaboración propia.

EMBÓN MDF NEOPRENO

VARIABLE DE TAMAÑO / ANCHO







VARIABLE DE TAMAÑO / LARGO

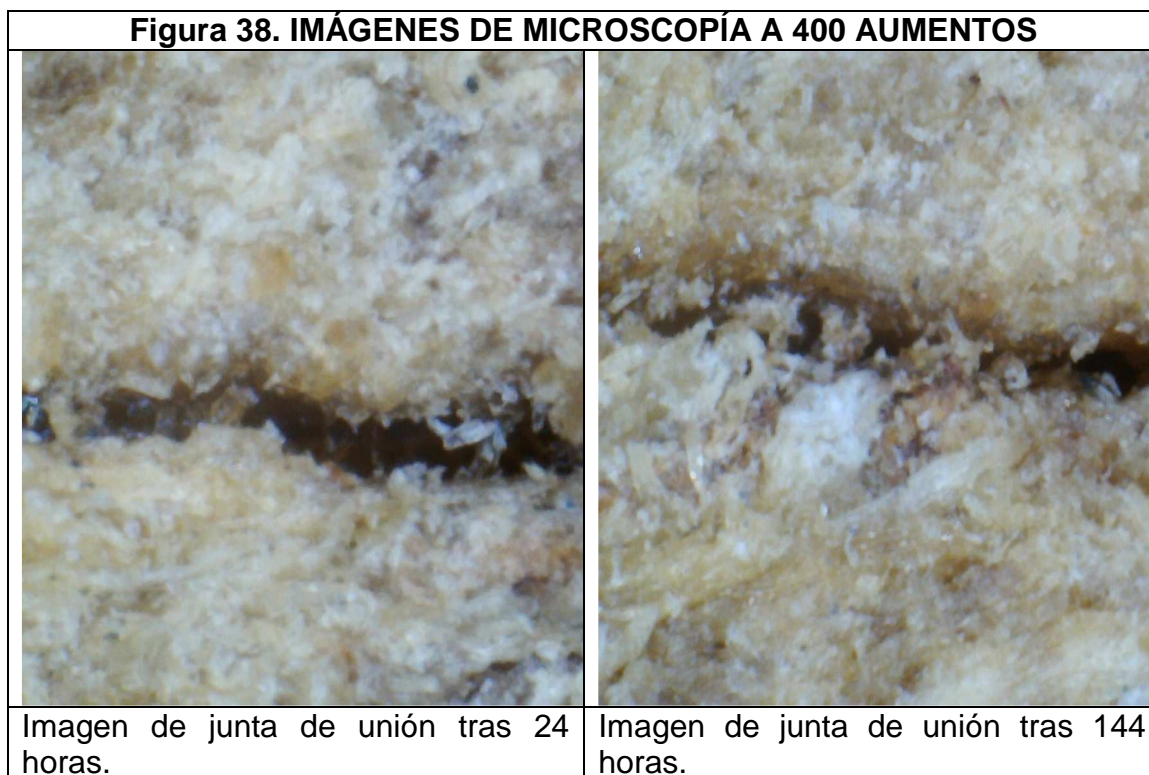


Gráficas de elaboración propia.

IMÁGENES DE MICROSCOPIA A 20 AUMENTOS

	
Imagen de junta de unión tras 24 horas.	Imagen de junta de unión tras 48 horas.
	
Imagen de junta de unión tras 72 horas.	Imagen de junta de unión tras 144 horas.

Imágenes de elaboración propia (2012).



Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Atendiendo al último embón sometido al test, encontramos datos similares a los anteriores casos. Se produce la pérdida total de peso de 1,32 gr. (3,4%), pero en este caso no es progresiva y se prolonga hasta la hora 72 de forma irregular. Desde la hora 72 y hasta la 144 existe un incremento de 0,61 gr. (1,6%) en el peso total del embón. En cuanto a la deformación volumétrica, los datos nos indican que la retracción en las fibras del MDF produce la merma del embón en 1mm. (1,6%) en total. El oscurecimiento de la superficie es otro de los aspectos comunes entre los tres embones, pero en este último caso se produce la pérdida del adhesivo que compone el bloque tras las 24 primeras horas debido al calor ambiental, lo que desemboca en un principio de separación de piezas como puede observarse en las imágenes anteriores (Figura 38).

16.4. Resultados generales de las pruebas anteriores.

Como es de esperar, el rasgo más característico de las consecuencias de este tipo de test es el cambio de cromatismo en las superficies de las probetas, de tal modo que se oscurecen en aquellas zonas en las que la luz incide directamente debido al secado y oxidación de la capa superficial de la madera gracias a la temperatura, la luz y la humedad ambiental dentro de la cámara. La luz directa y el calor hacen que aquellas maderas con un alto contenido en resinas exuden moderadamente, como se puede apreciar en las imágenes de la probeta de pino y en algunas de las imágenes de la probeta de cedro donde se puede distinguir restos dentro de las propias grietas de la madera. La pérdida inicial de peso es otro dato a tener en cuenta y desfavorable si no fuese por la recuperación y estabilización conforme el tiempo avanza, lo que no asegura la adaptación de las probetas ante condiciones ambientales determinadas sin sufrir alteraciones físicas.

En el caso del MDF, las condiciones a las que ha sido sometido durante el transcurso del test, debido a la incidencia directa y continuada de la fuente de luz y las altas temperaturas, hacen que la probeta y embones pierdan gran parte de la humedad de equilibrio (aunque vuelve a recuperarla conforme el test avanza viéndose reflejado en el peso de las probetas) sin llegar a producirse desecación, provocando la retracción en sus fibras que se puede apreciar en la modificación de las dimensiones de su grosor en 0,5 mm. En el caso de los embones ocurre igual, la retracción de 0,5 mm en cada recorte hace que la modificación en las dimensiones del grueso del embón llegue a 1 mm. en total. La diferencia del MDF con respecto a las demás probetas es que éste sufre esa merma o retracción antes que la madera natural: a las 24 horas, con la ventaja de permanecer constante durante el resto del tiempo de exposición al test. En cuanto a los adhesivos, sólo presenta pérdidas de sus cualidades el adhesivo en base de neopreno, donde el calor hace que se disuelva y se evaporen sus componentes produciéndose pérdida por capilaridad y la consecuente separación de piezas. Por el contrario, los adhesivos de acetato de polivinilo y en base de poliuretano permanecen intactos como puede apreciarse en las imágenes.

A pesar de las condiciones a las que han sido expuestas las probetas y embones de MDF, no se aprecia alteración física más que la variación dimensional de 0,5 mm en el grosor de la probeta, que se mantiene constante, pero no la aparición de fendas y grietas, desfibrado o pérdida de los adhesivos aglutinantes de las fibras que forman el tablero, pudiendo aventurarnos a decir que este tipo de material soportaría las condiciones ambientales en salas de exposiciones y museos tras el periodo de aclimatación pertinente.

CAPÍTULO 6.

TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADO SUPERFICIAL PARA LA ESCULTURA EN MADERA.

17. INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES Y ACTUALES DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADOS SUPERFICIALES PARA LA ESCULTURA EN MADERA.

17.1. ESCULTURA: MATERIA, FORMA Y COLOR.

Hablar de escultura es hablar de volumen y espacio, donde en esencia se establecen relaciones de materia-forma-color, íntimamente ligadas sin la posibilidad de prescindir de alguna de ellas. Es cierto que pueden tratarse con independencia, trabajarse y modificarse (como es el caso de la policromía en escultura) pero siempre han de tenerse en consideración por la conjunción que en sí forman: escultura.

El color en la escultura no depende exclusivamente de las aportaciones pictóricas que puedan hacerse para modificar el acabado superficial, sino que es la propia naturaleza de la materia la que infunde una serie de características cromáticas a la obra (como en el caso de la madera con su particular cromatismo en las diferentes especies, veteados, secado, envejecimiento, etc.) Por eso, estudiar el color en escultura, ya sea el original del material o el aplicado por medio de acabados superficiales no debería pertenecer al *“patrimonio exclusivo de la pintura”*¹³² y sí considerarlo como algo plenamente escultórico. Tradicionalmente se han independizado las labores propias del escultor con las exclusivas del pintor por pertenecer a asociaciones gremiales distintas (sobre todo durante el Renacimiento y Barroco) bien sea por profesionalizar al máximo ambas labores con independencia o bien por aligerar en los procesos de elaboración de la escultura policromada. En el caso de Granada, la figura del escultor-policromador destaca sobre otras escuelas como la de Castilla, Sevilla o Navarra, ocupándose él mismo de las encarnaciones tras realizar la talla.¹³³

¹³² SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 10.

¹³³ Véanse casos como el de Alonso Cano en los que el escultor era policromador de sus propias obras, porque de hecho, estaba acreditado como tal.

El color tiene la capacidad de modificar las propiedades físicas de la materia al crear sobre su superficie una paradoja visual, ocultando la naturaleza propia y por tanto sus propiedades físicas de peso, dureza, etc. A parte de las relaciones que se establecen entre volumen-forma-materia-color, debemos, en todo caso, considerar un quinto elemento que influye en la determinación del acabado superficial de la obra escultórica y que sirve como eje vertebrador entre los cuatro anteriores: el concepto. El cromatismo puede potenciar o atenuar la carga conceptual de una obra, cumplir con las expectativas del autor, causar dramatismo o reclamar una reacción en el espectador con la mayor intencionalidad propia del Arte Contemporáneo.

De estas reflexiones nace la necesidad de incluir un apartado en nuestra investigación para tratar el papel que desempeña el color en escultura y en escultura en madera y cómo éste puede aplicarse y enriquecer las posibilidades plásticas del MDF como material escultórico. De ahí que estudiemos las técnicas tradicionales y actuales de policromía y acabados para la madera, ya que en esencia, el MDF es un derivado de la madera, suponemos que ofrecerá una disposición a la aceptación de dichas técnicas de un modo similar a la de la madera natural. Cabría señalar que:

“La historia evolutiva de las diferentes técnicas y materiales usados en el acabado final de las esculturas es algo fascinante y aún más revelador cuando se relaciona con la historia de las ideas y el pensamiento de la época en las que se utiliza.”¹³⁴

Desde siglos atrás, quienes se dedicaban a pintar o policromar las esculturas en madera eran los pintores, no existiendo *“diferencia entre el pintor de cuadros y el de esculturas”¹³⁵*, incluyendo las tareas propias de dorar. Son los propios policromadores y doradores del siglo XVI y primera mitad del XVII los

¹³⁴ GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnica y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 24.

¹³⁵ Sánchez Mesa afirma la existencia de exámenes que tras su superación acreditaban como pintor de imaginería, que además, facultaba para la pintura de cuadros. Dentro de estas modalidades, otros tipos de exámenes acreditaban a quienes los superaban a las tareas de dorado como el de “pintor y dorador de oro bruñido y mate”. SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 33.

que manifiestan la importancia, no sólo decorativa, del color¹³⁶ en la escultura, donde este aporte cromático se equipara, dialoga, potencia y complementa en cualquiera de los casos al propio concepto de la escultura, su expresividad y plasticidad. El color en la escultura desempeña un apartado importante y hay que tener en consideración que este aspecto determina desde la elección primaria del material (en el caso de la madera, el tipo de madera de acuerdo a su cromatismo y tonalidad) y las particularidades que éste tenga (veteado en tonos distintos, cambios de tonalidad e intensidad por el paso del tiempo, nudos, etc.) hasta la aplicación de acabados superficiales, ya sean monocromos, como tintes homogéneos y barnices, o policromos, en sus diferentes técnicas.

Así pues, entendemos como policromía a la aplicación de colores (ya sea de forma armónica o no) que se diferencian por contraste entre sí y que modifican de forma intencionada la apariencia visual de la obra escultórica. C. Gañán Medina hace referencia a tres grandes grupos donde enmarcar las diferentes técnicas de acabados superficiales para escultura en:¹³⁷

1. Técnicas de enmascaramiento: las cuales, mediante técnicas pictóricas cambian el aspecto externo del material soporte, otorgándole así nuevos valores de naturalismo y realismo (en escultura figurativa). Aquí se encuentran las técnicas de las encarnaciones y estofados propias de la escultura e imaginería policromada.
2. Técnicas de imitación: son similares a las anteriores, pero la pretensión de éstas no es la simulación del aspecto exterior naturalista de la figura humana, sino la apariencia o imitación de otro material soporte. Ejemplo de ello puede ser:
 - Metalización: incluidos los dorados, plateados y demás acabados metálicos.

¹³⁶ ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Pág. 23.

¹³⁷ GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnica y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 148.

- Pátinas de imitación: suelen simular acabados en piedra, bronce, hierro, además del grado de envejecimiento y deterioro que podían sufrir estos materiales como un valor estético añadido (óxidos, etc.)

3. Técnicas de potenciación o también llamadas de reactivación matérica: cuya pretensión, como se puede intuir, es la de potenciar los valores estéticos, plásticos y visuales propios de la naturaleza del material. En el caso de la madera y tras los procesos de trabajo (talla, escofinado, lijado...) la aplicación de barnices, tintes o ceras potenciará las características visuales de la naturaleza de la madera como los nudos, veteado o posibles heridas producto del trabajo sobre ella.

La fusión, el diálogo y el complemento de la policromía en la escultura produce una *“Íntima fusión de la forma y el color”*¹³⁸, que como dijimos, sirve de complemento al propio concepto simbólico de la obra escultórica¹³⁹, pero además, cabría señalar, que el color en la escultura proyecta resultados estéticos de interés para el artista. No existen manuales universales sobre las técnicas de policromía para madera en los que se describa un único método de preparación del soporte y aplicación de color, ya que esta actividad, de modo tradicional la realizaban talleres independientes en los que trabajaban diferentes profesionales de varias generaciones, donde las fórmulas y secretos de taller eran transmitidos de forma oral (por ser la formación en el oficio específicamente práctica) con independencia de otros talleres familiares. Existían también, una serie de pruebas y exámenes¹⁴⁰ que certificaban la

¹³⁸ ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Pág. 24.

¹³⁹ Como podría ocurrir en la imaginería religiosa, en la que la policromía ayuda a la celebración y escenificación de la liturgia eclesiástica y a las manifestaciones procesionales de la pasión de Cristo. Pero no sólo la policromía ha de funcionar en el arte sacro como complemento potenciador de la simbología, sino que en el Arte Contemporáneo, la escultura policromada cobra un nuevo valor a la hora de hablar de conceptos meramente humanos, aún sirviéndose de recursos plásticos y estéticos más propios de la escultura Renacentista y Barroca.

¹⁴⁰ Véase el caso de Jerez de la Frontera durante el siglo VXIII, que mediante las pruebas del Catastro de Ensenada quedaban protegidos por las asociaciones gremiales. MORENO ARANA, J.M. (2010) *La policromía en Jerez de la Frontera durante el siglo XVIII*. Editorial Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 27.

cualificación de los policromadores y doradores. La falta de vocación que en ocasiones se mostraba al oficio hizo que no se investigase e innovara durante largos periodos de tiempo y por esto, además de por la efectividad demostrada durante siglos, es que aún hoy día se continúa con métodos y técnicas de policromía prácticamente idénticas a las de los siglos XV-XVIII. No obstante, las publicaciones que encontramos sobre este tema en cuestión, hacen referencia a técnicas y procedimientos específicos de un territorio y de una época. Los ejemplos son los trabajos de Sánchez-Mesa Martín (1979) en el caso de la *Técnica de la escultura policromada granadina*; Echeverría Goñi (1987) con *Policromía del Renacimiento en Navarra*; Gañán Medina (1999) en su trabajo *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*; Marcos Ríos (2005) en su libro *La escultura policromada y su técnica en Castilla. Siglos XVI y XVII*, que coincide en tiempo con la de Echeverría Goñi y por último la investigación de Moreno Arana (2010) *La policromía en Jerez de la Frontera durante el siglo XVIII*.

17.2 DORADO, ESTOFADO Y ENCARNADO: ASPECTOS TÉCNICOS.

Los materiales básicos que podían encontrarse en un taller de dorador y policromador en la Navarra del XVI, como señala Echeverría Goñi, son “*cola, el yeso de dorador, el albayalde, el bol de Llanes, varios miles de panes de oro, los aceites de linaza y de nueces, así como los matices y colores entre los que predominaban los carmines, azules, verdes, sombras y ocre en libras, onzas y cuarterones, los bálsamos, las resinas y los barnices*”¹⁴¹. Cabría señalar, como dato anecdótico, que el comercio de oro de forma legal en Europa accedió al continente por el Sur de España, concretamente por las capitales que poseían el monopolio del comercio con América (Comercio Indiano) como Sevilla y Cádiz.¹⁴² Este dato nos anticipa un hecho relevante en cuanto a la historia de la

¹⁴¹ ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Págs. 175-176.

¹⁴² ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Pág. 178.

escultura española y es el de la importancia que tuvo el dorado y policromado en la escultura del XVI, XVII y XVIII en Andalucía, debido expresamente al fervor religioso de la cultura y cómo no, del factor potencial y económico del comercio del oro. En el caso de Jerez de la Frontera, el desarrollo económico y social culminará en el siglo XVIII, además de con el comercio y la Iglesia, con los sectores agrícolas y pesqueros que beneficiarán a los terratenientes nobles y familias aristócratas que poseían capillas particulares,¹⁴³ y por tanto, eran los principales mecenas de la escultura policromada.

El proceso que tradicionalmente se designa en fuentes documentales y desde los propios maestros para la aplicación de policromía y dorado consta de cuatro fases:

1. Aparejado: que consiste en la fase de preparación e imprimación del material.
2. Dorado-plateado: consistente en el revestimiento de la superficie exterior de la escultura mediante láminas finas de oro o plata.
3. Estofado: que trata de la realización de una ornamentación sobre el oro que simula estofas y brocados.
4. Encarnado: considerado como el tratamiento pictórico de las zonas de piel de las esculturas policromadas.

El proceso inicial de la policromía, incluso antes que el aparejado, es el repaso con pasta y cola de los posibles errores de talla o pérdidas de material, e incluso el modelado de algunos detalles como venas en brazos y manos que debido a su sutileza resultan más fáciles en su modelado con pasta que en la talla. De forma tradicional y en primer lugar, es recomendable policromar las zonas de vestiduras, ropajes y todo aquello que no forme parte de las zonas desnudas o visibles de piel, que se reservarán para el final por ser éstas últimas las de un tratamiento más preciso que simule la naturaleza de la piel humana y evitar así manchas producidas por los otros procesos.

¹⁴³ MORENO ARANA, J.M. (2010) *La policromía en Jerez de la Frontera durante el siglo XVIII*. Editorial Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 17.

Existían acuerdos, ordenanzas y normas que regularizaban la calidad y los procesos de policromía para las esculturas de los siglos XVI y XVII, pero no eran los únicos justificantes de que grandes retablos de catedrales y pequeñas piezas devocionales se policromasen y dorasen. Estos siglos en los que no existían los suficientes medios y avances como para idear métodos y productos que conservasen piezas de madera policromada, se consideró que las capas de policromía y dorado funcionasen, a parte de potenciar el sentido y simbolismo de éstas y ennoblecer y caracterizar de humano-divino las piezas, como refuerzo y protección de la madera frente a ataques biológicos.¹⁴⁴ Pero ésta era una idea que convencía durante los siglos XVI y XVII de la buena protección de la escultura para su correcta conservación. Los ejemplos son muy claros en cuanto que una gran parte de las manifestaciones escultóricas que se conservan de esta época e incluso posteriores muestran señales de ataques xilófagos y hongos, debido, con casi total seguridad, a la falta de limpieza y renovación de las capas protectoras con el paso de los años. De hecho, la forma de imprimir y preparar la superficie, el sellado de poros incluyendo productos fungicidas, aplicación de capas de policromía y tras de eso, la protección del color con barnices asegura una mejor conservación (aunque no infalible) de la escultura en madera.

17.2.1. Aparejado.

El aparejado consiste en la preparación de la superficie de la escultura por medio de imprimación antes y para que reciba correctamente las capas pictóricas que conformarán la policromía y el dorado. Por lo tanto, esta fase es crucial ya que aporta una película nutritiva en la superficie de la madera que fortalecerá las partes más débiles, pequeños detalles de la obra y como no, ayudará a la fijación de las posteriores capas de acabado (ya sea policromo, dorado o plateado) debido a las colas componentes, así como al ahorro de pintura evitando la absorción de la misma por los poros de la madera que

¹⁴⁴ No era el caso de techumbres, artesonados y elementos estructurales de madera empleados en arquitectura, mobiliario y decoración que sí se protegían con barnices y aceites específicos para la protección contra ataques.

quedarán sellados una vez aparejada. Las capas de aparejo han de ser aplicadas con un espesor determinado de acuerdo a las propiedades absorbentes de los soportes: cuanto más absorbente más delgada ha de ser la capa de imprimación. En el caso de la madera, sabemos que las diferentes especies tienen propiedades de absorción determinadas¹⁴⁵ y ello ha de condicionar el espesor de la capa de aparejo a fin de asegurar una correcta penetración en los conductos capilares de la madera y su fijación. De no ser así, se correrá el riesgo de desprendimiento de las diferentes capas.

De la correcta aplicación del aparejo dependerá lo anteriormente expuesto, además del estado de conservación de la policromía y su durabilidad, ya que de no estar bien imprimada una escultura, las capas de acabado podrían desprenderse o agrietarse, corriendo el riesgo de que se produzcan pérdidas sustanciales. P. Echeverría Goñi, nos habla además del condicionamiento que suponía el factor climático del territorio donde se asentaban los talleres de policromadores, ya que en el caso de la escultura Navarra renacentista y los lugares pirenaicos, el frío hacía y causa hoy día, que se cuarteen los materiales de imprimación. Además, la humedad perjudica a la madera y al aparejo, no permitiendo que pueda adherirse el resto de capas de acabado. De ahí que en territorios frío se pospusiesen los procesos de aparejado y policromía a las estaciones más calurosas del año. J. A. Marcos Ríos, nos recuerda de igual modo y haciendo referencia al propio F. Pacheco, que ha de tenerse en cuenta la climatología de los lugares donde se policroma puesto que aquellos lugares fríos y secos harán que se cuartee, por lo que en ellos la cola ha de estar rebajada; sin embargo, en los lugares onde el clima es templado y húmedo ésta debe ser más fuerte.¹⁴⁶

De modo tradicional, aquellas partes que se tallaban individualmente para después ser ensambladas al cuerpo central de la escultura, las juntas de unión, grietas y demás fisuras se tapaban y reforzaban con trozos de tela de lino, cáñamo o arpillera bañadas en colas animales. También los refuerzos se

¹⁴⁵ Podemos ver de forma experimental cómo se comportan algunas de ellas en el apartado dedicado a los test de absorción de humedad en esta investigación.

¹⁴⁶ MARCOS RÍOS, J. A. (2005) *La escultura policromada y su técnica en Castilla: siglos XVI-XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 42.

hacían mediante puntillas, clavos y de forma más eficaz, con grampillones, aunque a la larga podrían suponer un problema para el estado de conservación de la escultura. Hoy día esta práctica no ha desaparecido y en los talleres aún se emplean este tipo de técnicas de refuerzo de uniones con materiales tradicionales y otros actuales industrializados como la gasa de fibra de vidrio bañada en acetato de polivinilo.

Para continuar con los procesos de aparejado es necesario realizar la limpieza de la escultura para eliminar polvo, restos de serrín y grasa y para ello se humecta o directamente se lava en diferentes baños de agua limpia, a poder ser tibia. Como cita C. Amich Badosa en *Manual del dorado sobre madera*: “Antes de nada se desgrasa convenientemente la madera por medio de un lavado de agua muy caliente, o bien con agua de madera de Panamá. Importa que el desgrase sea absoluto, sin lo cual comprometemos, son sólo los buenos resultados de los blancos, sino que también el del dorado.”¹⁴⁷ Esto sucede porque las diferentes capas de yeso y cola, al estar diluidas en agua no podrán adherirse a la superficie de la madera si ésta tiene restos de grasa. Cabría recordar en este momento una de las leyes básicas de preparación de soportes y de aplicación de pinturas: graso sobre magro.

A continuación se procedería a frotar con ajo los nudos que no se hubieran eliminado con anterioridad, de tal modo que se cree una película que evitará la exudación de resinas. Un par de manos de agua cola dejará la superficie de la madera lista para recibir las sucesivas capas de yeso que configuran el engrudo que sirve de soporte para la policromía. Se deben hervir colas animales de conejo o carnero en una proporción determinada de agua que dará como resultado una cola más o menos fuerte, indicándose para un tipo de madera u otra: más fuerte para maderas duras y más débil para maderas blandas. Estas colas animales proceden de residuos de pieles y son un conjunto de sustancias proteicas cuyos componentes colágenos¹⁴⁸,

¹⁴⁷ AMICH BADOSA, C. (1969) *Manual del dorador sobre madera*. 2ª Edición. Editorial Sintés. Palma de Mallorca. Pág. 49.

¹⁴⁸ El colágeno es un tipo de proteína que compone un 30% de las proteínas de los vertebrados, constituyente de los tendones, huesos y la piel donde las fibras son flexibles y resistentes a la tracción.

queratina, elastina y conolcina sirven como adhesivo del yeso que servirá para imprimir o para el bol de dorar¹⁴⁹ (además de servir como consolidante en la restauración de obras de arte) Al sustraerse y hervirse, el colágeno sufre una dispersión polimérica soluble que al enfriarse solidifica en forma de gelatina. La mayoría de las colas animales derivadas de la piel se obtienen a partir de los desperdicios de las fábricas de curtido, sin recibir a penas tratamientos posteriores¹⁵⁰, en especial de las raspaduras de la cara interna de la piel, como en el caso del conejo. Al hervir las pieles y formarse la gelatina que contiene las propiedades adhesivas, ésta se deja secar par formar tabletas, virutas, perlas e incluso polvo al ser molida.

Sánchez-Mesa y más tarde Gañán Medina, además, hacen mención de la incorporación a esta cola en caliente de unas cabezas de ajo mondadas para que cierren aún más el poro de la madera y se incremente la resistencia al agrietado del aparejo. La denominación de esta mezcla es la de giscola. Se puede incluir algo de hiel de buey porque actúa como desengrasante, incluso algún producto fungicida a fin de prevenir de futuros ataques xilófagos. En la madera, esta capa de giscola o aguacola es muy favorable antes de aplicar el resto de aparejo, porque ayudará a la regulación higroscópica de la madera después de policromarse. Además, el aguacola dota a la madera de una película homogénea que favorecerá la adherencia de las demás capas de aparejo, independientemente de la zona de madera que se trate.¹⁵¹ A la misma cola en caliente se le puede añadir directamente el yeso y un poco más de agua para rebajar la fuerza del adhesivo y elaborar así el engrudo. Tradicionalmente se aplican de 7 a 10 (dependiendo del espesor de la capa y de las propiedades de absorción de la madera) capas de yeso en caliente: las primeras 5 en yeso grueso y las 5 últimas en yeso fino rebajado de nuevo con agua, pero ésta norma dependerá de las diferentes escuelas y tradiciones. Sánchez-Mesa menciona que algunos maestros incorporaban a esta última mezcla aceite de linaza para evitar el burbujeo de la mezcla a la hora de su

¹⁴⁹GONZÁLEZ-ALONSO MARTÍNEZ, E. (1997) *Tratado del dorado, plateado y su policromía. Tecnología, conservación y restauración*. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 68-71.

¹⁵⁰ VARGAS TAO, A. O. (2005) *Colas animales*. El Cid Editor. Argentina. Pág. 24.

¹⁵¹ En el caso de la madera natural es importante y en el del MDF suponemos que también favorecerá, aún siendo este último un material más homogéneo.

aplicación. En las zonas donde se realizarán carnaciones, como rostros, extremidades y el torso, la mezcla de yeso mate y albayalde era la que componía el aparejo, con la necesidad de aplicar menos capas ya que el albayalde permite una compactación mayor de la imprimación y un acabado superficial mejor. La aplicación de las sucesivas capas ha de hacerse tras el secado de la anterior y después de repasar las superficies con papel de lija.

J. A. Marcos Ríos realiza una enumeración de la proporción de cola de conejo y agua necesaria para la elaboración del aparejo de acuerdo a las diferentes localizaciones geográficas de los talleres:¹⁵²

- Castilla: 100 gr. de cola seca de conejo por 800 cm³ de agua.
- Córdoba: 100 gr. de cola seca de conejo por 650 cm³ de agua.
- Huelva: 100 gr. de cola seca de conejo por 500 cm³ de agua.
- Sevilla: 100 gr. de cola seca de conejo por 600 cm³ de agua.

Podemos observar en esta relación cómo se cumple la norma que recuerda Pacheco a la hora de elaborar el aparejo si atendemos a los diferentes lugares que se muestran. Las zonas de Castilla, al ser algo más frías y secas que Andalucía necesitan de más cantidad de agua, mientras que en las zonas costeras como Huelva, la cantidad de agua disminuye para hacer la cola más fuerte. Cuando la cola se haya disuelto en el agua gracias a la acción del calor, se le añade el yeso mate (sulfato de cálcico: CaSO₄) en ligeras cantidades, soltándolo de entre los dedos para evitar el apelmazamiento en el interior del recipiente y favorecer así la hidratación por igual. El nivel de proporción entre cola y yeso se alcanza en el momento en el que falten unos tres centímetros para llegar a la superficie del recipiente donde se haga la mezcla, volviendo a calentarla al baño maría removiendo constantemente hasta lograr la homogeneidad que nos permita aplicarla con facilidad.

Al finalizar la aplicación de las capas de yeso, conviene repasar de nuevo las superficies con lijas y con los propios raspines a fin de volver a afinar las

¹⁵² MARCOS RÍOS, J. A. (2005) *La escultura policromada y su técnica en Castilla: siglos XVI-XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 42.

formas y los volúmenes. Tradicionalmente, este repaso se hacía sirviéndose de papeles de lija de distintos grosores, rediciendo el grosor a medida que se alcanzaba el nivel deseado hasta el punto de emplear gasas o linos para aquellas zonas más delicadas como los rostros por ser elementos ligeramente abrasivos.

17.2.2. Dorado.

Este tipo de acabado consiste en el revestimiento de la superficie de la madera empleando láminas finas de oro denominadas panes de oro que se caracterizan por tener un grosor de una diezmilésima parte de milímetro aproximadamente. Debido al material que se emplea, este tipo de acabado dota a la escultura de un valor añadido por su coste, llegando a cotizarse altísimo el trabajo de dorador. Como dijimos, la intención principal del dorado en la escultura era la de otorgar decencia y nobleza a esculturas realizadas en madera¹⁵³, dado el carácter divino de las imágenes religiosas. Pero no sólo la madera era expresamente el material que se ennoblecía por medio del dorado, existían y aún se conservan dorados y plateados sobre otros materiales que formaban el conjunto del mobiliario y arquitectura de los templos: rejas metálicas, púlpitos, urnas, frontales pétreos (arcos, bóvedas, muros y cornisas) y escultura en piedra que seguían sus propios procesos de preparación del soporte, dorado y policromado. A lo largo de la historia han sido muy estrictas las exigencias de los contratos de dorado con respecto a la pureza y a los quilates del metal. En el texto de Echeverría Goñi (aunque en todos los referentes consultados se menciona) rescatamos expresiones como¹⁵⁴ “oro muy perfecto”, “buen oro”, “oro limpio”, etc., rechazándose en todo caso

¹⁵³ No es nuestra ocupación aquí juzgar la nobleza de los materiales cuanto menos, decidir si deben de ocultarse sus verdaderas características mediante el empleo de policromías, más aún, cuando proponemos el uso de materiales industriales derivados de la madera como es el tablero MDF. Nos referimos a la cuestionada nobleza de los materiales en cuanto a la consideración popular de la madera como material pobre, barato y no equiparable a otros como el mármol, el bronce, plata, etc. No obstante durante el Renacimiento y Barroco se señalaba expresamente que así debían de ennoblecerse las imágenes devocionales, ocultando su verdadero aspecto y su verdadera naturaleza.

¹⁵⁴ ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Pág. 194.

imperfecciones tales como hojas partidas, mezclas con plata y libres de mácula. Las láminas o panes de oro se obtenían de forma tradicional a partir de piezas de oro viejo, sin utilizar o incluso como ocurría en los siglos XVI, XVII y XVIII, con monedas que se batían y martilleaban hasta conseguir una hoja fina de aproximadamente 20 cm.

Después de la última capa de yeso, éste se debe lijar, como ya dijimos, para dejar perfectamente uniforme la superficie. A continuación, deber de sellarse los poros y para ello se utilizan diferentes técnicas. Gañán Medina nos remite al uso tradicional de goma laca, pero de igual modo podemos utilizar el aguacola de usos anteriores, que además, ayudará a la adherencia de las sucesivas capas. Tras el sellado de poros, se realiza una templa que se le denomina bol de dorar y se constituye por un óxido de hierro (tierra roja) en suspensión acuosa de un adhesivo animal. Tiene una triple finalidad según González-Alonso:¹⁵⁵

1. Delimitar las zonas a dorar por contraste con el resto de imprimación o aparejo.
2. Procurar un mejor asentamiento del pan de oro.
3. Mejorar el posterior bruñido del oro.

A nuestro parecer, deberíamos añadir una cuarta, que sería la finalidad estética y ornamental, ya que los tonos tierra cálidos entran en armonía con los dorados e incluso en posibles faltas de oro, éstas no serán tan notorias por la entonación conseguida con el bol. De hecho, para el plateado se emplean tonalidades grisáceas y negras que de igual modo crean armonía y evitan los grandes contrastes. Los hay de diferente color, de acuerdo a la tierra que se escoja, de la técnica de dorado o plateado y del destino al que se dirijan: escultura de bulto redondo, tablillas o retablos. Para el bol rojo tradicionalmente se empela tierra de Armenia como base, mezclada con clara de huevo batida

¹⁵⁵ GONZÁLEZ-ALONSO MARTÍNEZ, E. (1997) *Tratado del dorado, plateado y su policromía. Tecnología, conservación y restauración*. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 155.

siguiendo el método descrito por Cennini¹⁵⁶, aunque este vehículo se sustituyó por la cola de pescado (o en raras ocasiones, cola de conejo rebajada e incluso gelatina alimenticia), y sigue siendo la que se emplea hoy día, en una proporción aproximada de un volumen de cola de pescado por cinco partes de agua. La realización de esta templa sigue un proceso sencillo de elaboración que consiste en la adición en caliente de la tierra a la cola diluía en agua, removiendo continuamente la mezcla hasta conseguir la fluidez necesaria: *“Una fluidez tal que cuando metamos un pincel y lo saquemos, el líquido <<haga hilo>>, ésta será la señal más fiable para no saturar el aguacola con el bol.”*¹⁵⁷ La aplicación del bol ha de ser en caliente (templado al baño maría) añadiendo un poco de agua para compensar la pérdida por evaporación (de no ser así la cola quedaría muy fuerte) y se debe hacer tras la última capa del aparejo, siendo un total de 3 ó 4 las capas necesarias hasta cubrir la superficie a dorar y conseguir la tonalidad deseada.¹⁵⁸ L. de la Colina nos recuerda que las diferentes manos de bol han de aplicarse con brocha fina sin insistir ni reincidir en las pinceladas, logrando la opacidad del color con las sucesivas capas y no por insistencia en la misma. Una vez aplicado no debe ser tocado con las manos, ya que la grasa crearía una película que impediría la adhesión de los panes de oro, pero sí ha de limpiarse y pulirse con un trapo seco de algodón o con un pincel limpio.

Para las técnicas de dorado al agua, sólo bastaría dejar secar el bol y humedecer con un pincel la superficie antes de aplicar el oro, de tal modo que la cola empleada en la elaboración de la mezcla vuelva a cobrar sus cualidades adhesivas y pueda adherirse el pan de oro a la superficie. Actualmente se han desarrollado productos industriales que imitan al bol. Así pues, podemos encontrar bol sintético rojo y amarillo constituido por látex. Este producto está indicado para el dorado a mixtión y no al dorado al agua, pudiéndose aplicar

¹⁵⁶ CENNINI, C. (1947) *El libro del arte*. Editorial Argos. Buenos Aires. Edición consultada de 2008 por Editorial Maxor. Valladolid.

¹⁵⁷ GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnica y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 199.

¹⁵⁸ Volvemos a reiterar, que estas normas se regulan de acuerdo a la escuela que se trate, puesto que J. A. Marcos habla de 6 a 8 manos de bol para el dorado tradicional castellano. MARCOS RÍOS, J. A. (2005) *La escultura policromada y su técnica en Castilla: siglos XVI-XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 50.

sobre cualquier soporte.¹⁵⁹ Incluso existe en el mercado bol hidratado y bol en pastillas que ha de hidratarse. El mixtión es un producto a base de aceite de linaza cocido y espesado indicado para aplicar sobre el bol antes de dorar, sirviendo como adhesivo en una técnica diferente a la del dorado al agua. Actualmente, podemos encontrar en el mercado mixtión al aceite y como alternativa sintética, mixtión acrílica con tonalidades blanquecinas que se tornan transparentes al secar. De acuerdo al dorado mediante esta técnica, tras la aplicación del mixtión, ha de esperarse a que esté mordiente para pegar los panes de oro y plata, incluso sin necesidad de bol, que empleándolo en todo caso, servirá más como recurso cromático que como médium adhesivo. De ahí que pueda sustituirse por cualquier pintura acrílica de tonalidades similares a las del bol.

Dependiendo del acabado que se pretenda dar al dorado, brillo o mate, nos recuerda L. de la Colina que se ha de elegir uno u otro proceso de dorado: “[...] *el dorado que se realiza sobre una base mordiente nunca se debe considerar bruñido, sino mate, reservando el primer término para los dorados al agua que tienen una base de yesos y bol [...]*”¹⁶⁰ Entendemos en este caso, al mordiente como mixtión, utilizada para dorar en mate y gracias a su base oleosa (no en el caso del mixtión acrílico) destinado a dorar superficies expuestas al exterior como cornisas, columnas o metales y en pintura de caballete. En escultura se emplea con mayor frecuencia el dorado al agua o al bol, por la posibilidad de bruñir, además de por el abaratamiento de costes y de tiempo de ejecución, puesto que de esta forma se pueden cubrir mayores superficies en menor tiempo. La gran ventaja de dorado a mixtión sobre el dorado al agua la señala L. de la Colina al referirse a la cantidad de materiales y de procesos de preparación de la superficie que puede admitir el mixtión, porque sobre materiales porosos y absorbentes, únicamente es necesario un sellado de poros.¹⁶¹ En el caso del MDF, un simple sellador de poros de madera o unas

¹⁵⁹ GONZÁLEZ-ALONSO MARTÍNEZ, E. (1997) *Tratado del dorado, plateado y su policromía. Tecnología, conservación y restauración*. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 59.

¹⁶⁰ DE LA COLINA TEJADA, L. (2008) *El oro en hoja: aplicación y tratamiento sobre soportes móviles tradicionales, muros y resinas*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 44.

¹⁶¹ DE LA COLINA TEJADA, L. (2008) *El oro en hoja: aplicación y tratamiento sobre soportes móviles tradicionales, muros y resinas*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 49.

capas finas de gesso, goma laca o cualquier pintura o barniz que aisle la superficie servirán.

El oro ha de manipularse con cuidado para no partirlo o arrugarlo y para ello existen instrumentos específicos de manipulación como pinceles y polonesas (paleta ancha de cerdas finas y algo engrasadas que permite aplicar el oro con facilidad) Más tarde, cuando el oro y el bol vuelven a estar seos, tradicionalmente se bruñían mediante piedras de ágata haciendo presión y frotando la superficie dorada, disimulando las uniones entre panes o las posibles arrugas del oro. E. González-Alonso nos recuerda las palabras de Eugenio Herranz, advirtiéndole de que deben de calentarse las piedras de ágata por frotación con la ropa, además de humedecer levemente la superficie con el aliento¹⁶², para a continuación, frotar vigorosamente controlando la presión ejercida y la posición de la herramienta.

17.2.3. Estofado.

Este proceso consiste en aplicar una capa de color sobre el dorado y posteriormente dibujar mediante un grafo (herramienta fina y puntiaguda de madera a modo de punzón con distintas puntas: estrelladas, redondas y dentadas) de tal modo que se elimina la capa de pintura dejando entrever el color del oro. Normalmente los dibujos o esgrafiados/gravados seguían, de modo tradicional, los patrones de un diseño previo que pretendía simular la ornamentación de telas bordadas en oro. En la escultura policromada navarra del renacimiento, los estofados se hacían sobre pintura al temple de huevo o al óleo con un aceite mate, creando así superficies bicromáticas entre el dorado y el color de la pintura con motivos geométricos, vegetales, florales, líneas, puntos y motivos mixtos. Otros autores como Sánchez-Mesa, advierten que la capa de pintura aplicada al óleo tendía a cuartearse y rara vez era utilizada en

¹⁶² GONZÁLEZ-ALONSO MARTÍNEZ, E. (1997) *Tratado del dorado, plateado y su policromía. Tecnología, conservación y restauración*. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 160.

la escultura policromada granadina.¹⁶³ El cincelado durante la época rococó de la escultura policromada andaluza, intentaba imitar las labores de los plateros y orfebres sobre el propio aparejo de la talla, para después dorar y policromar, quedando grabados como relieves los adornos de los ropajes.

También hay que considerar el estofado como tal a la pintura al temple policroma sobre el oro bruñido a modo de veladuras que juegan con la transparencia para dejar salir el dorado con un brillo apagado que no resulte estridente. Este modo de estofar era muy empleado en el Renacimiento donde existía más sosiego en cuanto a la ornamentación de la escultura. Incluso en el siglo XVIII, en Andalucía se evolucionó a una técnica de policromía consistente en dorar la totalidad de la obra en sus partes vestidas y aplicar sobre ella a modo de fondos, un color uniforme que producía efectos de contraste.¹⁶⁴

17.2.4. Encarnado.

Dentro del proceso general de policromía en la escultura, el encarnado podría ser el más pictórico en sí, porque va más allá de la representación o recreación de algo para imitar y así hacer creer que efectivamente se trata de piel humana, empleando recursos pictóricos propios de la pintura realista de caballete. La técnica comúnmente más empleada en las encarnaciones durante el Renacimiento navarro¹⁶⁵ fue al óleo con aceite graso, albayalde y barniz, por la capacidad de obtención de varias calidades, además de por el aporte luminoso que daba a la pintura los aceites, que de no ser así, debían de obtenerse por medio de barnices. En el caso de Granada, prácticamente la totalidad de las obras que se conservan están realizadas mediante la técnica del óleo. La policromía se aplicaba a pincel y más tarde, en estado fresco aún, se difuminaba para mezclar bien los colores y que se eliminases las marcas del

¹⁶³ SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 47.

¹⁶⁴ Información obtenida de MORENO ARANA, J.M. (2010) *La policromía en Jerez de la Frontera durante el siglo XVIII*. Editorial Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 71.

¹⁶⁵ Según expone ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana. Pamplona. Pág. 209.

pincel, con vejiga del cordero montada sobre el propio dedo o sobre pinceles para aquellas zonas de difícil acceso. Así las superficies quedan lisas y bruñidas alcanzando el efecto naturalista esperado. La vejiga de cordero debe sumergirse en agua al menos durante 2 días después de lavarla para que se sature bien de agua. A la hora de emplearla para mezclar los colores de la policromía se debe mojar constantemente (a poder ser en agua destilada que al carecer de cal evitará la aparición de manchas), de tal modo que se cree una emulsión entre el agua y el aceite del óleo.¹⁶⁶ Los autores aconsejan abastecerse de varias vejigas para encarnar, pudiéndose conservar perfectamente en estado de congelación. En la actualidad, la técnica de encarnado no dista en esencia de la descrita más que en la obtención de los colores al óleo que podemos encontrarlos en tubos y listos para su uso o como alternativa a la vejiga, puede emplearse tripa de vaca o sepia.

Podemos diferenciar dos tipos de superficies o de acabados para las encarnaciones:

1. Acabado mate: frecuentemente destinado a los rostros, pies y manos, por ser el acabado que más se asemeja a las tonalidades de la piel humana y permite acentuar con mayor efectividad los claroscuros que definen los volúmenes de la escultura.
2. Acabado al pulimento: que produce un acabado superficial brillante y algo más claro en cuanto a la tonalidad de la piel. Sin embargo confiere a las obras un carácter desnaturalizado e idealista.

La técnica de policromía mezcla el acabado pulimentado y el mate, de forma que los policromadores que también eran los propios escultores revalorizaban con brillos y mates el modelado de las esculturas.¹⁶⁷ Para realizar las carnaciones, Sánchez-Mesa hace la recomendación tradicional de [...] *“comenzar por la frente y ojos, bosquejándolo todo suavemente, desde la primera mano de carnaciones, para que se fundan suavemente las medias*

¹⁶⁶ Información obtenida de GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnica y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pág. 182.

¹⁶⁷ SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 52.

*tintas” [...]”En las figuras con los cabellos tallados, la unión entre los distintos tonos del pelo y las carnaciones se suavizan con sombreados que se disimulan con los colores de carnaciones”.*¹⁶⁸

17.3. Problemas de conservación.

La humedad es la causa mayor del deterioro de las superficies doradas y policromadas, no por atacar directamente sobre el metal o las superficies pintadas, sino por deteriorar las capas de preaparición del soporte y la madera. Colas, templeas y embolados tienen una característica común entre sí y con la madera: su alta capacidad higroscópica, propia de las colas animales que sirven de aglutinantes, por lo tanto los cambios bruscos de condiciones ambientales pueden alterarlos y volverlos inestables.

Pero a parte de los problemas de retracción y turgencia derivamos de la humedad y la temperatura, es la propia humedad la que crea en las colas animales un ambiente favorable para el desarrollo de microorganismos que pueden causar la descomposición y la consecuente pérdida de sus propiedades adhesivas. Esto traerá consigo el inevitable desprendimiento de la policromía y el dorado, tendiendo a la oxidación y oscurecimiento. A pesar de ello, éste no es el único motivo de pérdida de policromía, puesto que una mala preparación de las mezclas del aparejo (exceso o defecto de cola) puede causar craquelados, exfoliaciones y caídas del propio yeso que sirve de base, al no tener el aglutinante necesario par su consolidación.

Teniendo en cuenta los factores propios de deterioro y alteración de los parejos y embolados, ha de tenerse en cuenta las causas propias de alteración y deterioro de la madera como material soporte y en nuestro caso específico, del tablero MDF, que ya hemos desarrollado en los anteriores capítulos de nuestra investigación.

¹⁶⁸ SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnica de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada. Pág. 56.

18. ENSAYOS DE PREPARACIÓN DEL SOPORTE Y ACABADO SUPERFICIAL SOBRE MUESTRAS DE TABLERO MDF.

Para completar el apartado de estudio sobre el acabado superficial en la escultura en madera enfocado a las posibilidades plásticas del tablero de fibras MDF, trataremos los métodos y técnicas tradicionales y contemporáneas de preparación del soporte, dorado, plateado, estofado y policromía de manera práctica sobre diferentes muestras de tablero MDF. El objetivo es comprobar de qué modo se comporta el material, la admisión de los diferentes productos y si existe algún tipo de alteración provocada por la ejecución de dichos procesos. Para ello nos valdremos de diferentes muestras de tablero de 150x150x30mm.

18.1. Preparación del soporte mediante aparejo tradicional.

Como se especifica en el apartado de introducción a los métodos de preparación del soporte y acabados superficiales para escultura en madera de esta investigación, existe un método de preparación tradicional de la madera para la admisión de policromía, dorado, plateado y estofado. El método del que hablamos es el denominado aparejo mediante colas animales y yeso. En nuestro primer ensayo sobre tablero es necesario seguir con rigurosidad los pasos descritos para asegurar la correcta admisión por el MDF. Para ello, se comienza por la saturación de agua de la cola de conejo poniéndola en remojo en una proporción de 800cl de agua por 100gr de cola de conejo.

Pasadas 24 horas de saturación, disolvemos la cola en agua caliente al baño maría (Figura 39), para, a continuación, aplicar una capa de aguacola sobre la muestra de tal modo que selle la porosidad de este material y favorezca la adhesión de las siguientes capas de aparejo.

Figura 39. PREPARACIÓN DEL AGUACOLA



Figura 39. Imágenes de elaboración propia (2012).

La aplicación del aparejo sobre el MDF es fluida y con buena adherencia sobre la muestra, tanto en la cara del tablero como en el canto, sellando perfectamente la porosidad en esta zona de máxima absorción. Seguimos el método tradicional de aplicación de 7 capas en total, lijando suavemente (Figura 40) las superficies entre las distintas capas para homogeneizar correctamente la superficie de la muestra.

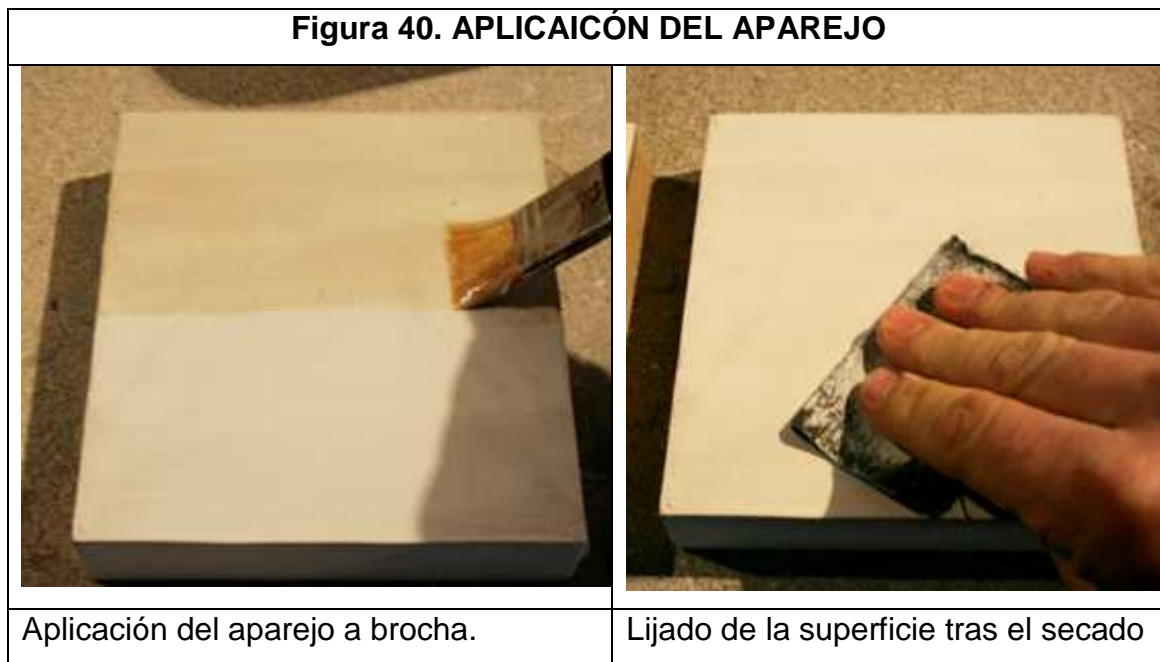


Figura 40. Imágenes de elaboración propia (2012).

Como resultado se obtiene una superficie homogénea tanto en la cara como en el canto (Figura 41) y tras finalizar el proceso no se percibe agrietamiento en la superficie, falta de adhesión o pérdida de material, ni tan siquiera principio de hinchazón debido al aporte de agua que incluye la templea del aparejo.



Figura 41. Imágenes de elaboración propia (2012).

18.2. Preparación del soporte mediante imprimación acrílica industrial.

Los productos acrílicos industriales de preparación de soporte conocidos con el nombre de Gesso están especialmente indicados para su aplicación sobre lienzos, géneros de algodón, madera, cartón y demás materiales porosos. La composición, similar a la del aparejo, consiste en una base de carbonato cálcico (CaCO_3) disuelto en agua, dióxido de titanio, acetato de polivinilo como adhesivo y otras resinas acrílicas

En este caso, no es necesario realizar plantillas ya que el gesso se comercializa listo para su aplicación, teniendo la opción de diluirlo en agua para conseguir una mayor fluidez.



Figura 42. Imágenes de elaboración propia (2012).

En cuanto a la aplicación (Figura 42) mediante brocha o rodillo, la primera capa no suele ser cubriente, pero actúa sellando los poros para favorecer la cobertura de las siguientes. No existe recomendación específica en cuanto al número de capas que deben aplicarse, pero sí es necesario realizar un suave lijado entre ellas para conseguir superficies perfectamente lisas y homogéneas.

En nuestro caso, decidimos aplicar un total de 7 capas al igual que con el aparejo, pero a diferencia de éste, el secado del gesso suele ser más rápido, por lo que se agiliza en el tiempo dedicado a la preparación del soporte. Tras el secado final (Figura 43) no se aprecia agrietado de la superficie, desprendimiento del soporte o principio de hinchazón del MDF por la humedad aportada.



Figura 43. Imagen de elaboración propia (2012).

18.3. Dorado al agua.

Sobre una muestra de tablero MDF con preparación mediante aparejo tradicional aplicamos bol de dorar. Para realizar el bol empleamos un preparado comercializado a base de látex en pasta al que le añadimos cola de pescado como adhesivo. La cola, en escamas, debe haberse saturado previamente de agua en una proporción de 1 parte de cola por 5 de agua. A continuación se diluirá al baño maría e incorporará al bol en caliente removiendo constantemente (Figura 44). En el momento de la aplicación no reincidimos demasiado sobre la pincelada para que así la superficie quede lo más homogénea posible, empleando un pincel de cerdas finas y suaves en un total de 5 capas hasta la obtención de la tonalidad deseada.

Figura 44. PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL BOL



Preparación del bol al baño maría.



Aplicación sobre probeta de MDF

Figura 44. Imágenes de elaboración propia (2012).

Después del secado final pulimos la superficie con un paño suave de algodón eliminando impurezas para preparar la admisión del oro (Figura 45).

Figura 45. PULIDO DEL BOL Y RESULTADO FINAL



Pulido del bol tras el secado.



Resultado final.

Figura 45. Imágenes de elaboración propia (2012).

Para el pegado del oro, sólo es necesario humedecer el bol en la superficie que ocupará el pan de oro, para inmediatamente después, depositarlo (Figura 46). El pan de oro se adherirá rápidamente, aplacándolo mediante un paño suave, un pincel seco de cerdas finas o con un trozo de algodón.

Figura 46. DORADO AL AGUA



Humectación de la superficie.

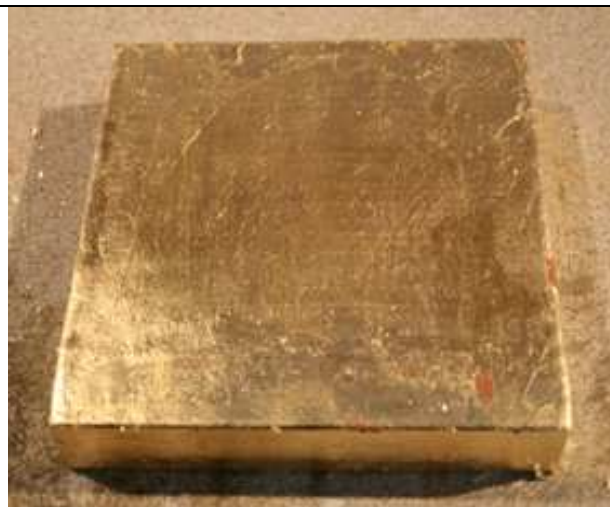


Pegado del pan de oro.

Figura 46. Imágenes de elaboración propia (2012).

Tras el secado total y el pegado del oro, podemos observar que no existe cuarteado en el bol ni desprendimiento de la superficie del aparejo. Sólo en pequeñas áreas se producen pérdidas de oro (Figura 47), debido en todo caso, a la falta de humectación de la superficie que reaviva las propiedades adhesivas de la cola de pescado. En este caso la solución es sencilla, puesto que volviendo a humedecer cuidadosamente aquellas zonas de desprendimiento y pegando nuevamente un trozo de pan, completamos el dorado total de la pieza.

Figura 47. DODARO TOTAL



Véanse las pérdidas de oro.

Figura 47. Imagen de elaboración propia (2012).

18.4. Dorado y plateado mediante mixtión al agua sobre preparación acrílica industrial.

En este caso pretendemos ofrecer una alternativa a los modos de dorado y plateado tradicionales mediante templeas, partiendo desde el inicio, de una muestra de tablero MDF con imprimación acrílica industrial (gesso). Como alternativa al bol de dorar, realizamos una mezcla de pintura en base acuosa en tonalidades grisáceas que nos servirá de fondo para la plata y en tonalidades tierras similares a las del bol para el oro (Figura 48).



Figura 48. Imágenes de elaboración propia (2012).

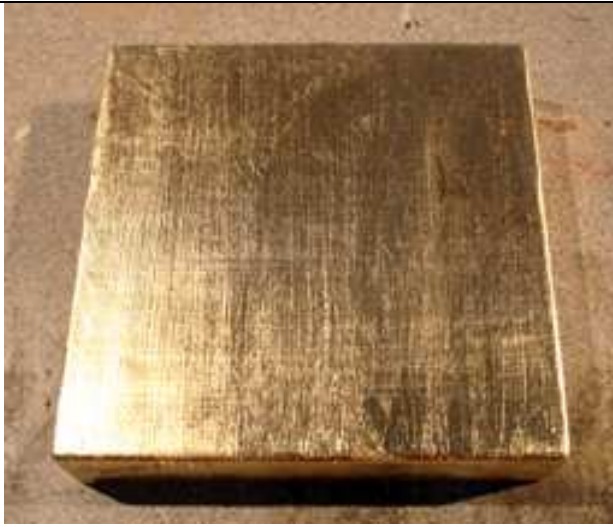
Aplicamos dos capas de este fondo para que, una vez haya secado, pueda aplicarse una fina capa de mixtión al agua. Se debe dejar secar hasta que se vuelva mordiente entre 20 minutos y 1 hora, dependiendo de la temperatura ambiente, antes de pegar los panes. Sólo resta realizar el pegado del oro y la plata sobre el mixtión, aplacando los panes para asegurar la adherencia total (Figura 49).

Figura 49. PEGADO DEL PAN DE PLATA	
	
Estado mordiente del mixtión. Véase la transparencia del producto.	Pegado del pan de plata aplacándolo con un pincel suave.

Figura 49. Imágenes de elaboración propia (2012).

A diferencia del proceso de dorado al agua, en el dorado y plateado al mixtión acrílica no se producen faltas tras el secado (Figura 50), debido, en todo caso, a las grandes propiedades adhesivas de este producto y la compatibilidad con el sistema de imprimación, el fondo coloreado previo al mixtión y el MDF como soporte.

Figura 50. RESULTADO FINAL



Resultado final del proceso de dorado.



Resultado final del proceso de plateado.

Figura 50. Imágenes de elaboración propia (2012).

Un aspecto a destacar de este proceso es la celeridad desde la preparación inicial, aplicación de fondos y pegado de los panes, reduciendo cuantitativamente los tiempos de elaboración y espera. De igual modo, estos productos industriales alternativos ayudan a asegurar la correcta conservación del oro y la plata en la aplicación sobre el MDF, evitando posibles alteraciones como craquelado, pérdidas por falta de adhesión tanto en el soporte como sobre las diferentes capas de preparación, pegado de los panes, etc. propias de la incorrecta elaboración de aparejos y bol de forma tradicional.

18.5. Estofado sobre dorado al agua.

Para realizar el ensayo de estofado sobre dorado al agua nos servimos de una muestra ya dorada. Como desarrollamos en el apartado introductorio a las técnicas de acabado superficial, el proceso de estofado consiste en la imitación de los ropajes y telas mediante la cubrición del oro con pintura y su posterior raspado para dejarlo entrever. En este caso, aplicamos una capa de pintura al óleo de tonalidad oscura (el oro se apreciará por contraste), sin apenas dilución, sobre la mitad de la superficie de la muestra dorada.



Figura 51. Imágenes de elaboración propia (2012).

Al realizar el raspado mediante un grafito de madera afilado, observamos que tras retirar el óleo, también se pierde parte del dorado (Figura 51) dejando al descubierto el bol. Esta pérdida de dorado puede deberse a dos motivos:

- 1) El espesor de la película de óleo es grueso, por lo que se fija a la muestra ofreciendo resistencia al raspado con el grafito y por lo tanto, al realizar un mayor esfuerzo, se pierde parte del oro.
- 2) En la preparación del bol se han cometido errores y la cola no ha cumplido con sus funciones adhesivas.

Somos conscientes de la fragilidad del pan de oro, así que realizamos otro ensayo sobre la misma muestra de MDF dorada, aplicando una capa de

óleo de un espesor menor, diluida en aceite de linaza con una pequeña proporción de secativo de cobalto para acelerar el secado.



Figura 52. Imagen de elaboración propia (2012).

Al retomar el raspado sobre esta segunda capa, observamos que no ofrece gran resistencia y se descubre el dorado con facilidad (Figura 52), sin que se produzcan pérdidas considerables. Así pues, es recomendable que la capa de óleo tenga un espesor mínimo suficiente que cubra el oro para que no suponga un perjuicio a la hora del raspado.

18.6. Estofado sobre dorado y plateado mediante mixtión acrílica.

En este caso, el ensayo de estofado mediante el raspado se realiza sobre muestras de tablero MDF doradas y plateadas mediante mixtión acrílica, siguiendo los procesos descritos anteriormente. Estando en estado seco ambas muestras, aplicamos una capa de pintura al óleo diluida en aceite de linaza y secativo de cobalto para reducir el espesor y consecuentemente, reducir la resistencia frente al raspado.

Figura 53. ESTOFADO SOBRE DORADO Y PLATEADO AL MIXTIÓN



Raspado de la película de óleo mediante el grafio. Véase cómo se descubre el oro.



Raspado del óleo mediante el grafio. Véase cómo se descubre la plata.

Figura 53. Imágenes de elaboración propia (2012).

En el momento del raspado, se observa la poca resistencia de la capa de pintura dejando entrever el oro y la plata de fondo sin que se produzcan pérdidas (Figura 53).

Figura 54. ESTOFADO SOBRE DORADO Y PLATEADO AL MIXTIÓN



Diferentes estofas sobre dorado al mixtión. Véase la diferencia de brillo entre las dos superficies.



Diferentes estofas sobre plateado al mixtión. Véase la diferencia de brillo entre las dos superficies.

Figura 54. Imágenes de elaboración propia (2012).

Recordamos que el mixtión tiene excelentes propiedades adhesivas, lo que aumenta la adhesión de los panes sobre la muestra, pero de alguna manera influye igualmente en la adhesión del óleo sobre la superficie dorada o plateada. A la hora de retirar la pintura, quedan sedimentos de óleo a modo de velo sobre las zonas metalizadas, opacando de este modo el brillo característico de estos materiales (Figura 54).

18.7. Estofado sobre dorado y plateado mediante veladuras.

Sobre las muestras de tablero MDF, doradas y plateadas mediante procedimientos al agua o al mixtión, el estofado por veladuras sigue un idéntico proceso y proporciona similares resultados. Consiste en aplicar una finísima capa de pintura al óleo muy diluida sobre la superficie dorada o plateada (Figura 55). Al ser a modo de veladura, la fina capa de pintura deja entrever el metal sin necesidad de raspado. Esta técnica es interesante para asegurar la integridad del oro o plata sin que puedan producirse desprendimientos como en el caso del estofado sobre dorado al agua.

Figura 55. ESTOFADO MEDIANTE VELADURA



Figura 55. Imágenes de elaboración propia (2012).

Si el pincel empleado para aplicar las veladuras es de cerda dura, dejará una impronta irregular sobre las superficies, influyendo en la transparencia del óleo asemejándose al raspado del grafio. Por el contrario, si las cerdas del pincel son suaves, el resultado será mucho más homogéneo. Estando el óleo aún fresco, podemos retirar parte de él con un trapo suave para matizar, sacar brillo o difuminar zonas de interés y ganar en cromatismo e iluminación.

Figura 56. ESTOFADO MEDIANTE VELADURA



Resultado final. Comparativa de los dos métodos de estofado sobre oro.



Resultado final. Comparativa de los dos métodos de estofado sobre plata.

Figura 56. Imágenes de elaboración propia (2012).

Esta técnica de estofado ofrece un sin fin de posibilidades plásticas y cromáticas que pueden enriquecer los modos de proceder tradicionales para la creación de la escultura contemporánea (Figura 56).

18.8. Carnaciones sobre aparejo tradicional.

Como procedimiento final de policromía de escultura en madera, las carnaciones ocupan un lugar privilegiado siendo un procedimiento especialmente pictórico dentro de los acabados superficiales (Figura 57). Sobre muestras de tablero MDF con preparación previa tradicional (aparejo) la pintura al óleo sigue varias fases, comenzando con la aplicación de un color base que cubrirá, a modo de veladura, la superficie aparejada de la muestra (Figura 58).



Figura 57. Imagen de elaboración propia (2012).

FIGURA 58. APLICACIÓN DE COLOR BASE SOBRE APAREJO

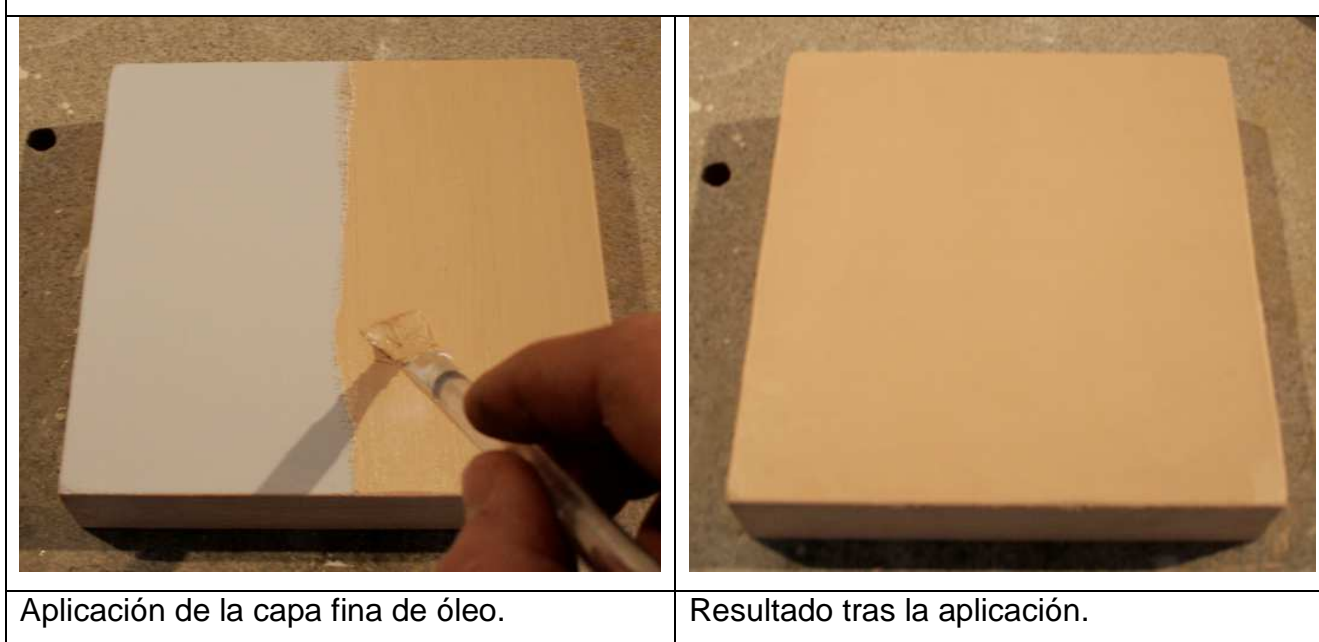


Figura 58. Imágenes de elaboración propia (2012).

La correcta admisión del óleo en el momento de las carnaciones no se debe esencialmente al material base (MDF), sino a la preparación del soporte y ahora sí, la correcta admisión de ésta por parte del tablero. Como resultado se obtiene una capa homogénea de color sin que se aprecie desprendimiento del mismo de la superficie del aparejo ni desprendimiento de éste del soporte.

Para continuar con el proceso de encarnado de superficies, es necesario aplicar una segunda capa de espesor mayor sobre la anterior completamente seca. En esta capa debe de aproximarse más al color de piel deseado y además, estando aún en fresco, incluirá los matices de color (Figura 59).

FIGURA 59. APLICACIÓN DE SEGUNDA CAPA DE ÓLEO Y MATIZ DE COLOR



Aplicación de segunda capa de espesor mayor.



Inclusión de matices de color. Ejemplificación del procedimiento tradicional.

Figura 59. Imágenes de elaboración propia (2012).

Con el objeto de seguir los métodos tradicionales de aplicación de policromías y acabados superficiales, decidimos homogeneizar la superficie del óleo y así fundir los colores, por el método de la vejiga descrito en el apartado de introducción a las técnicas y procedimientos tradicionales de policromía. En nuestro caso y por los problemas al conseguir vejiga de cordero, decidimos emplear como alternativa, tripa de vaca hidratada. La carnosidad de ésta es similar a la de la vejiga y su empleo ofrece resultados prácticamente idénticos.

Así pues y con el óleo aún fresco, ha de colocarse la tripa sobre el dedo índice hasta cubrirlo, para a continuación, humedecerla y frotar la pintura con movimientos circulares hasta fundir los colores (Figura 60).



Figura 60. Imagen de elaboración propia (2012).

Este modo de mezclar el color y homogeneizar la pincelada en la superficie crea una emulsión entre el aceite que aporta el color al óleo y el agua de hidratación de la tripa. El resultado final se caracteriza por el efecto pulimentado, de lustre y brillo que este método tradicional consigue tras la emulsión.

18.9. Carnaciones sobre preparación acrílica industrial.

El proceso de encarnado sobre preparación acrílica industrial (gesso) debe, a priori, ofrecer idénticos resultados que en el anterior caso de carnaciones sobre aparejo tradicional. En este caso, seguiremos el mismo método descrito para el apartado anterior. Sobre una muestra de tablero MDF con preparación acrílica industrial aplicamos una fina capa de óleo que funcionará como color base. Alcanzando el estado seco, aplicamos una segunda capa más espesa de un color más aproximado al natural de la piel, incluyendo, como anteriormente citábamos, los matices de color que crearán el efecto de naturalismo (Figura 61).

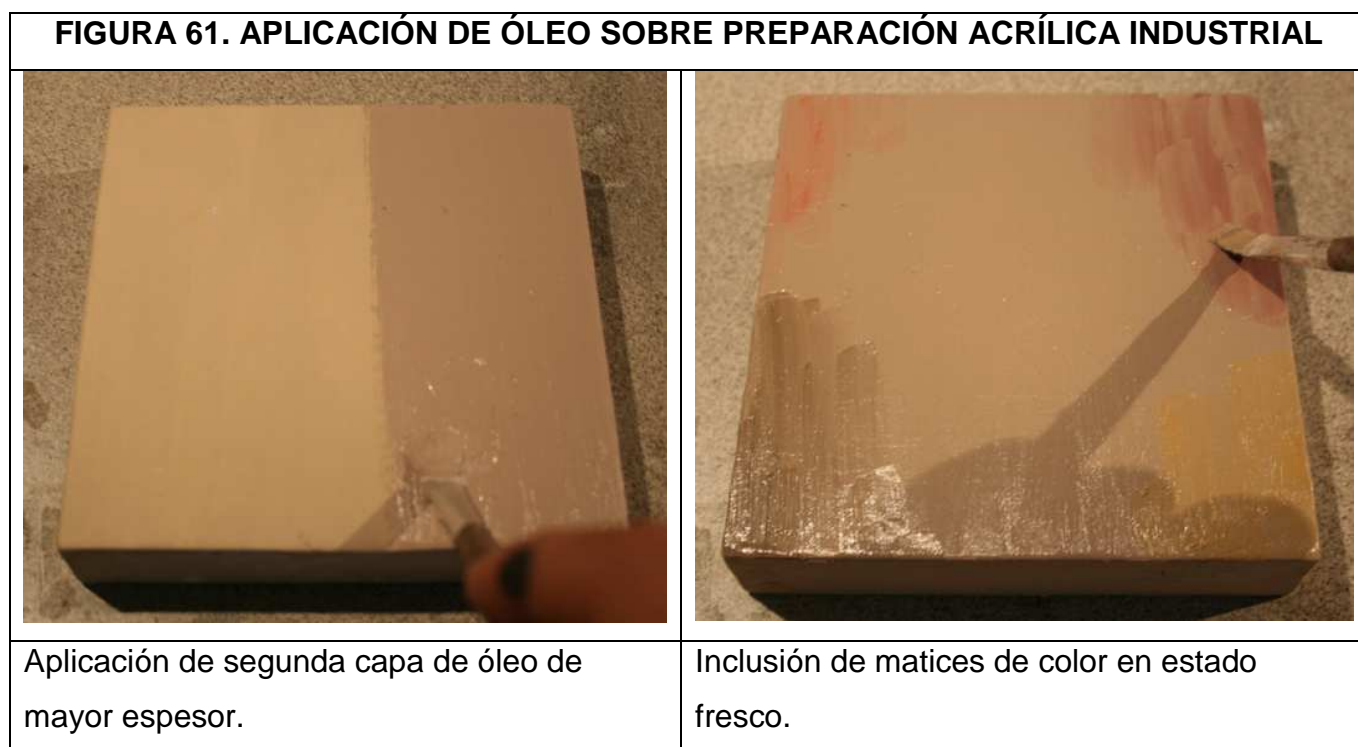


Figura 61. Imágenes de elaboración propia (2012).

De igual modo, pretendemos seguir los métodos tradicionales empleando otros actuales como es el caso de la preparación acrílica industrial y el tablero de fibras MDF, por tanto decidimos realizar las carnaciones al pulimento empleando tripa de vaca (Figura 62).



Figura 62. Imágenes de elaboración propia (2012).

Observando los resultados durante el proceso de aplicación, así como en el resultado final, podemos afirmar que no existe apenas diferencia alguna entre el método de encarnado al pulimento sobre aparejo tradicional y sobre preparación acrílica industrial. Al ser dos productos de similar composición (yeso como materia de carga y cola como aglutinante) la admisión posteriormente del óleo será correcta y el pulimento por el método de la vejiga o de la tripa ofrecerá soluciones satisfactorias. En este caso, el empleo de preparación acrílica industrial acelera, como venimos afirmando, los procesos de preparación y por tanto, de posteriores acabados superficiales, que pueden convertirse en cuanto al arte contemporáneo se refiere, en recursos perfectamente válidos.

19. OTROS PRODUCTOS EMPLEADOS PARA LA PROTECCIÓN Y ACABADO SUPERFICIAL DE LA MADERA Y LA ESCULTURA.

Existen métodos y tratamientos de protección para la madera complejos para los que son necesarias instalaciones específicas, como son el tratamiento a presión por autoclave, la inmersión en baños de productos protectores en frío y calor, la vaporización, etc. No teniendo como objetivo la profundización en esta clase de tratamientos, nos limitaremos a aquellos de uso ordinario y accesible al escultor y al artista plástico, que además pueden servir como productos que doten de un acabado superficial específico a la escultura en madera.

Estos productos se engloban en el grupo de los “*tratamientos protectores fluidos*”¹⁶⁹, que además de ofrecer protección contra los agentes del deterioro de la madera, proporcionan un acabado superficial en cuanto a coloración, brillo o realce de las cualidades de la madera. Entre estos productos se encuentran las ceras, barnices, pinturas y lasures, pero además, incorporamos otro tipo de productos de acabado, como los tintes, que pueden emplearse junto a barnices y ceras. Los barnices protectores pueden penetrar en la superficie de la madera con mayor o menor grado, de acuerdo a su fluidez y viscosidad, ofreciendo así una protección y coloración en penetraciones superficiales de entre 1 y 3mm.; protección media cuando la penetración es superior a los 3mm. sin llegar al 75% de impregnación; o protección profunda cuando el producto penetra más del 75%. Estos productos son “*tratamientos pasivos basados en la capacidad natural de la madera para absorber el protector*”¹⁷⁰, compuestos por materias activas, fijadores y solventes:¹⁷¹

- Materias activas: son los componentes que tienen propiedades protectoras insecticidas, fungicidas, hidrofugantes, etc.

¹⁶⁹ GARCÍA, J. J. (2011) *La madera y materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. Pág. 150.

¹⁷⁰ ZANNI, E. (2009) *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Editorial Brujas. Argentina. Pág. 121.

¹⁷¹ Información obtenida de ZANNI, E. (2009) *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Editorial Brujas. Argentina. Pág. 126.

- Fijadores: son componentes que sirven para que las materias activas queden adheridas a la superficie de la madera.
- Solventes: son el médium o vehículo que conduce las materias activas y los fijadores a la madera para su penetración.

Los barnices, pinturas y lasures se caracterizan por incorporar agentes protectores fungicidas, insecticidas, filtros solares, filtros UV, hidrofugantes, etc. que prolongan la vida útil de la madera y derivados y proporcionan un correcto estado de conservación a las obras de escultura. En el mercado podemos encontrar barnices en solución acuosa o en disolventes orgánicos que no dañan la madera y se diferencian entre sí en el grado de protección mediante los agentes que incorporan y en el grado de sellado de los poros de la madera, proporcionando una regulación higroscópica mayor. Entre los componentes de estos protectores encontramos además de lo anteriormente expuesto y según nos hace referencia E. Zanni:

- Resinas: que determinan las propiedades en el acabado final, tales como el brillo, la dureza, resistencia química, resistencia al agua y a los rayos UV. En los primeros barnices y protectores que se fabricaron se empleaban resinas naturales como la colofina, copal o ámbar, pero en la actualidad se emplean otras sintéticas como las alquídicas, uretanadas, epoxídicas, acrílicas, vinílicas, estireno acrílicas y de poliuretano.
- Pigmentos: cuya función es la de aportar la coloración al protector para conseguir un acabado deseado, pero además, los pigmentos ayudan a la protección contra los rayos UV. Entre los pigmentos que existen, los más comunes en la fabricación de barnices y protectores son los:
 - Opacantes: que dotan de un acabado blanco gracias al dióxido de titanio como su componente principal.
 - Colorantes: que son óxidos y sales metálicas.
 - Brillantes: son pigmentos de extensión que ofrecen brillo.

- Solventes y diluyentes: cuya función es, como dijimos anteriormente, disolver las resinas sin que esto afecte a la naturaleza química de la madera, además de reducir la viscosidad del producto favoreciendo su penetración.

- Aditivos: son compuestos que mejoran el comportamiento del protector frente a las condiciones ambientales y agentes biológicos. Dependiendo de qué función quieran desempeñar o qué protección quieran ofrecer, los aditivos suelen ser:¹⁷²
 - Protección contra la humedad: ceras naturales de abeja y ceras sintéticas como el propileno y polietileno, además de otros productos hidrófobos en base de estearatos, alcalonaminas y zirconio.
 - Filtros solares y contra los rayos UV: serán compuestos a base de benzofenonas o benzotriazol y antioxidantes inhibidores fenólicos.
 - Productos fungicidas e insecticidas

¹⁷² Información obtenida de ZANNI, E. (2009) *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. Editorial Brujas. Argentina. Pág. 137.

20. APLICACIÓN DE BARNICES, TINTES Y CERAS SOBRE MUESTRAS DE TABLERO MDF.

A continuación mostramos los resultados de ensayos sobre muestras de tablero MDF en la aplicación de algunos de los productos más comunes y el acabado superficial que proporcionan.

20.1. Barniz sintético coloreado brillante.

Producto recomendado para el barnizado, coloración y protección de la madera. La aplicación puede ser a brocha o pistola.



Figura 63. Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

El color característico caoba rojizo de este barniz modifica por completo el color natural del tablero, ocultando así la verdadera naturaleza de este material. En cuanto a la aplicación del producto sobre la muestra de MDF, debemos destacar la buena fluidez e impregnación sobre la superficie de la cara del tablero (Figura 63), no apreciándose, a primera instancia, el repelo de las fibras por la agresión de los disolventes sintéticos, componentes de cobalto y

metiletilcetoxina que incorpora. Al contrario que ocurre en la aplicación sobre la superficie de la cara, en la aplicación sobre el canto, la absorción es inmediata por lo que la fluidez es escasa, necesitando de mayor cantidad de producto. El tiempo de secado recomendado para ese tipo de producto oscila entre las 3-5 horas para madera natural, pero en el caso del MDF y su característica propiedad de absorción de líquidos, el tiempo de secado reduce. Esta diferencia en la absorción del producto entre la cara y el canto se debe a las propias resinas adhesivas empleadas e la fabricación del MDF que residen en la cara del tablero y que le dan ese aspecto pulido y una capacidad poco absorbente, lo que conlleva, que tras el secado, se aprecie una diferencia de coloración entre ambas partes (Figura 64), adquiriendo más brillo en la cara. Para alcanzar una igualación de color es necesario aplicar una segunda capa, lijando con abrasivos de grano fino la superficie antes de aplicar el barniz.

Tras el secado total del barniz, se puede apreciar el repelo producido por la agresión en las fibras de los componentes del producto, quedando la superficie irregular, debido también al contenido en materias sólidas del producto. Esta irregularidad de la superficie se puede paliar mediante un suave lijado con abrasivos de grano fino.

Figura 64. APLICACIÓN DE BARNIZ SINTÉTICO



Diferencia de coloración y brillo entre la cara y el canto. Resultado tras el secado total.

Figura 64. Imagen de elaboración propia (2012).

20.2. Barniz coloreado al agua.

Este tipo de barnices en solución acuosa se recomiendan para la coloración y protección de la madera, incorporando, en este caso, sistemas de protección insecticida, fungicida, filtro solar y protector contra humedad, aplicado directamente a brocha sobre la muestra de MDF.



Figura 65. Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Este tipo de barnices son recomendados para su uso en interior y exterior, por lo tanto, la elección en la aplicación sobre MDF mejorará sus cualidades frente a condiciones climatológicas adversas y ataques bióticos.

Atendiendo la aplicación del producto sobre el MDF, las características son similares a las descritas anteriormente, con buena fluidez en la cara del tablero y gran absorción en el canto, con lo que se debe aplicar mayor cantidad de producto (Figura 65). No obstante, al ser un barniz en solución acuosa, no se percibe repelo alguno en las fibras del MDF. El periodo de secado según recomendación del fabricante para este producto oscila entre las 3- 5 horas, pero de nuevo, las propiedades absorbentes del MDF y el disolvente acuoso

del barniz, provocan el secado cuasi inmediato durante la primera hora tras la aplicación.

Se aprecia un cambio notable de coloración entre la superficie del canto y la cara de la muestra (canto más oscuro), lo que puede convertirse en un inconveniente si lo que se pretende es conseguir un acabado superficial homogéneo en la totalidad del tablero (Figura 66).



Figura 66. Imágenes de elaboración propia (2012).

20.3. Cera protectora incolora.

La cera comercializada es un producto compuesto por cera natural de abejas mezclada con esencia de trementina, lo que le da la característica consistencia cremosa que aporta brillo natural a la madera. Existen ceras incoloras y ceras que aportan color en diferentes gamas que imitan los colores naturales de la madera. La aplicación de este producto suele hacerse a muñequilla con cabos o un trapo suave de algodón, impregnándolo con la propia cera y frotando sobre la superficie de la madera describiendo pequeños círculos (Figura 67). El objetivo de aplicación de este modo es la homogeneización y la penetración de la cera sobre la superficie de la madera sin dejar marcas.



Figura 67. Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Se produce, como en los anteriores casos, una menor fluidez en la aplicación de la cera sobre los cantos, aunque no se percibe una diferencia de coloración tan notable.

El acabado definitivo que proporciona este tipo de producto se alcanza tras el secado, de unas horas dependiendo de la cantidad de cera aplicada, y el pulido y frotado enérgico de la superficie con un paño suave o un cepillo (Figura 68). Así se obtendrá el brillo característico que ofrecen las ceras, tanto incoloras, como coloreadas.



Figura 68. Imágenes de elaboración propia (2012).

20.4. Tinte al agua.

Son productos especialmente indicados para el teñido de madera y cualquier material poroso. A diferencia de los anteriores sistemas de aplicación de barnices, los tintes al agua no ofrecen la acción protectora de la madera frente a ataques biológicos y no biológicos, ni siquiera aportan una capa protectora frente a ralladuras.



Figura 69. Imágenes de elaboración propia (2012).

Observaciones:

En cuanto a la aplicación del tinte sobre la muestra de MDF, la fluidez del producto en solución acuosa y la capacidad de absorción del MDF influyen en la inmediata absorción tanto en el canto del tablero como en la cara, además de producirse el secado al tacto en pocos minutos (Figura 69). El acabado superficial es homogéneo sin producirse una diferenciación de tonalidad entre la cara y el canto tan pronunciada como en los anteriores casos, debido, entre otras cosas, a su bajo contenido en sólidos (Figura 70). Este es otro de los motivos de la inmediatez en el secado y la baja depositación de residuos superficiales.

El acabado suele ser mate, y sobre el producto ya seco puede aplicarse barniz protector o ceras que nutran y den brillo a la madera o el MDF, respetando la coloración propia del tinte elegido.

Figura 70. APLICACIÓN DE TINTE



Resultado final tras el secado. Véase lo homogéneo y el resultado mate de la superficie, diferenciándose de aquellas partes no tintadas.

Figura 70. Imagen de elaboración propia (2012).

20.5. Betún de Judea.

Este producto es un derivado del petróleo que normalmente se comercializa diluido en aguarrás o esencia de trementina, aunque también se puede encontrar en polvo o en pasta. Está especialmente indicado para la coloración de fondos de madera, aunque normalmente se emplea para proporcionar un aspecto envejecido a la madera natural, productos derivados, así como a materiales porosos como la escayola, cerámica y morteros. Su tonalidad es muy oscura, pero gracias a la capacidad de dilución en aguarrás, puede matizarse, incluso puede ser mezclado con ceras incoloras para su aplicación.

En este caso, obtuvimos el betún directamente del recipiente y lo aplicamos sobre la muestra de MDF sin dilución alguna para comprobar cómo es el comportamiento en estado natural (Figura 71).



Figura 71. Imagen de elaboración propia (2012).

Observaciones:

Al igual que ocurre con el empleo de tintes, la aplicación del betún sobre el MDF se caracteriza por la pronta absorción del producto tanto en la cara del tablero como en el canto, aunque de nuevo se cumple la norma de mayor absorción en el canto. El secado al tacto se produce de forma casi inmediata, ya que el solvente que incorpora el betún es de rápida evaporación, aunque para el secado total haya que esperar algo más de tiempo. El acabado es homogéneo tanto en el canto como en la cara, no produciéndose gran diferenciación de tonalidad entre ambos (Figura 72). Lo interesante de este producto es su aplicación combinada con ceras o tras el barnizado, como última capa de acabado superficial, que dotará de aspecto envejecido y brillo sobre el material en que se aplique.

Figura 72. APLICACIÓN DE BETÚN DE JUDEA



Resultado tras el secado total. Véase la diferenciación de color con las partes no pintadas y el resultado homogéneo

Figura 72. Imágenes de elaboración propia (2012).

CAPÍTULO SÉPTIMO.
EL TABLERO DE FIBRAS MDF COMO MATERIAL ESCULTÓRICO

21. EL TABLERO DE FIBRAS MDF Y SU TRABAJO EN ESCULTURA

21.1. Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: busto femenino mediante embón macizo.

Como aportación final con la que concluir nuestra investigación, realizaremos escultura en MDF siguiendo las técnicas y procedimientos tradicionales propios para la escultura en madera. Partiremos de un modelo dado y para ello realizamos un busto femenino (Figura 73) en barro de dimensiones algo mayores a las del natural, 570x370x280 mm aproximadamente, con el fin de comprobar si es posible realizar escultura a esta escala con el material objeto de nuestro estudio.



Figura 73. Elaboración propia (2012). Modelo en barro.

Tras finalizar el modelado del busto del cual partiremos, realizamos un molde rígido en dos partes, aplicando silicona para moldes a fin de conseguir un registro superficial de la escultura lo más fiel posible, recubriendo finalmente con una madre forma en escayola (Figura 74).



Figura 74. Elaboración propia (2012). Realización del molde.

Para trabajar sobre el modelo, realizamos una reproducción en escayola del mismo por colada, por ser éste un material con capacidad de registro muy buena y de rápido fraguado en comparación con otros materiales, lo que nos permite extraer en cortos periodos de tiempo (varios minutos) una copia del modelo. La reproducción de escultura puede seguir distintos procesos de acuerdo al material que se desea para la reproducción. De igual modo, estos procesos se eligen también en función de la técnica que se empleará para la realización de la obra definitiva. En nuestro caso, el material elegido es un sólido que no cambia de estado tras procesos de fraguados, catarsis, etc.:

tablero de fibras derivado de la madera MDF y la técnica empleada será la talla como método sustractivo. Así pues, el método para la reproducción ha de ser el traslado de puntos de referencia en el espacio y medidas por medio del sistema de la cuadrícula. Este es un método de traslado de puntos precario pero efectivo, consistente en la división regular en unidades más pequeñas del objeto a reproducir a partir del eje vertical y el horizontal (en objetos bidimensionales) y axial (para objetos tridimensionales). Construimos un prisma rectangular con listones de madera de abeto. Una vez ensamblados todos los listones, dividimos las aristas en partes iguales, a excepción de aquellas que configuran la cara inferior, de tal modo de se correspondan y formen una cuadrícula. Por medio de hilo grueso o cuerda, tejemos la cuadrícula alrededor del prisma siguiendo la señalización que hicimos hasta completarlo. Las dimensiones del prisma han de ser algo mayores a las del modelo y a las del bloque de MDF, para que así pueda colocarse sobre él y trasladar los puntos y dimensiones desde el modelo (Figura 75).



Figura 75. Elaboración propia (2012). Método de sacado de puntos mediante cuadrícula.

El proceso de elaboración del embón para reproducir el busto femenino es idéntico al de elaboración de los embones utilizados para el análisis del material sometido a los diferentes test descritos en los apartados anteriores. En este caso, nos servimos de 10 recortes de tablero MDF de 600x400x30 mm. (Figura 76), unidos mediante adhesivo de acetato de polivinilo aplicado a brocha en una de las caras a unir (Figura 77).



Corte mecánico de las partes que configurarán el embón.



Recortes finales para la elaboración del embón.

Figura 76. Elaboración propia (2012). Recortes para la construcción del embón.

Ejercemos frotamiento entre las piezas una vez aplicado el adhesivo para expulsar el aire existente entre el adhesivo y el recorte de tablero, favoreciendo la humectación y expulsión del adhesivo sobrante. Ejercemos presión por medio de sargentos de sujeción distribuidos de manera uniforme desde el interior del bloque hasta los puntos exteriores del mismo (Figura 78).



Aplicación del adhesivo.



Superposición de las diferentes piezas que forman el embón. Véase el adhesivo sobrante tras el frotamiento de las piezas.

Figura 77. Elaboración propia (2012). Aplicación del adhesivo.



Sujeción y presión por medio de sargentos hasta el curado total del adhesivo.

Figura 78. Elaboración propia. Sujeción y presión por medio de sargentos.

El embón resultante tiene las dimensiones de 600x400x300 mm., de tal forma que permitirá albergar en su interior la totalidad de la escultura modelo, ajustando al máximo las medidas con el fin de obtener un mayor aprovechamiento del material y facilitar así las labores de silueteado y desbaste iniciales en el proceso de talla.

Una vez curado el adhesivo, tras 24 horas, procederemos a redimensionar y homogeneizar las caras del embón mediante cepillado y lijado mecánico para facilitar las labores de traslado de puntos (Figura 79).



Cepillado mecánico.



Lijado mecánico.

Figura 79. Elaboración propia (2012). Redimensionado y homogeneización mediante cepillado y lijado mecánico.

Tras estos procesos de repaso y limpieza de superficies podemos comprobar que no existe astillado, desfibrado ni principio de separación de piezas, lo cual es un indicativo de lo que podrá suponer en procesos posteriores (Figura 80).



Figura 80. Elaboración propia (2012). Superficie homogénea libre de astillado, desfibrado o principio de separación de piezas.

En el proceso de traslado de puntos por medio de la cuadrícula, comenzamos con la localización de los puntos exteriores que delimitan el contorno de la escultura en todas sus caras, para así poder encajarla dentro del bloque macizo (Figura 81).

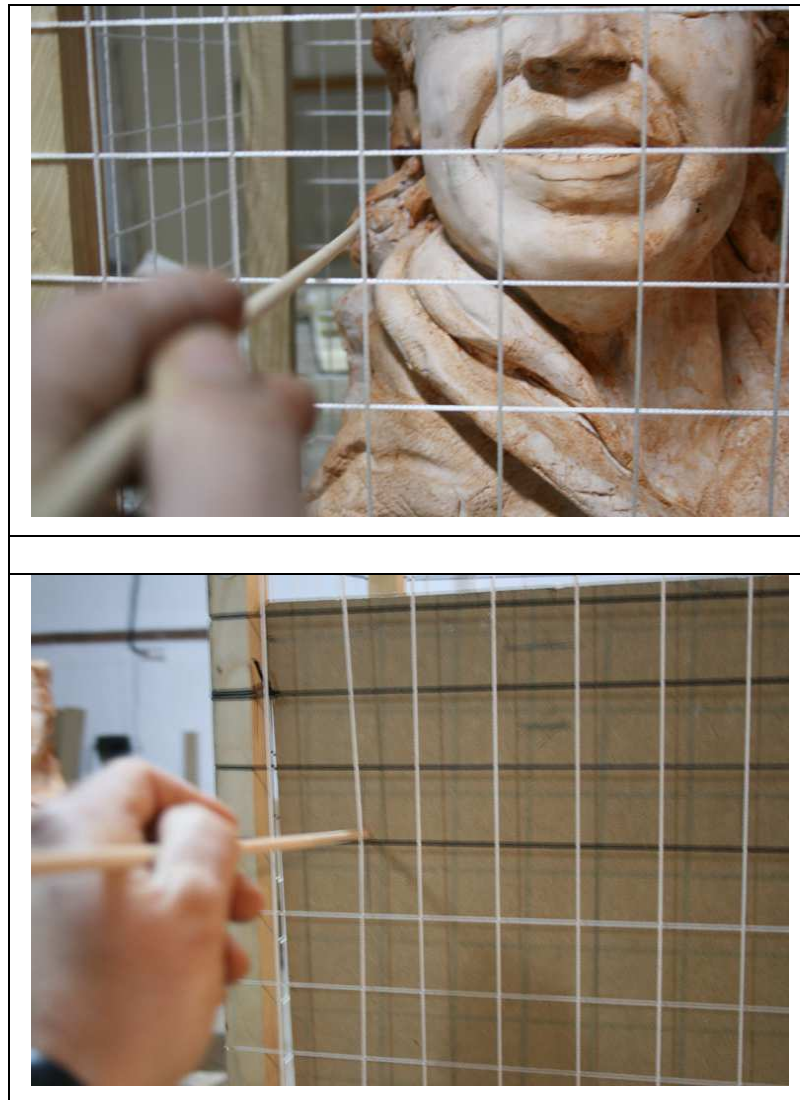


Figura 81. Elaboración propia (2012). Localización de puntos exteriores de la escultura modelo y traslado de puntos al bloque.

Durante el desbaste inicial (Figura 82), el tablero de fibras MDF ofrece poca resistencia al corte de la herramienta (gubias y formones), sin astillado de los cantos ni pérdida innecesaria de material que podría, en este caso, interferir en integridad de la obra y el resultado final. Se aprecia una mayor resistencia en el momento de desbaste en las juntas de unión de piezas que forman el embón. El corte de la gubia es horizontal y en dirección tangencial las uniones verticales de los tableros, comprimiendo en todo caso las fibras de madera entre sí y produciendo una resistencia mayor al corte. Aún así, los cortes se muestran limpios, no existe desfibrado y no se produce un principio de separación de piezas, que podría suponer uno de lo mayores inconvenientes a la hora de concebir la escultura en este material partiendo de embones.

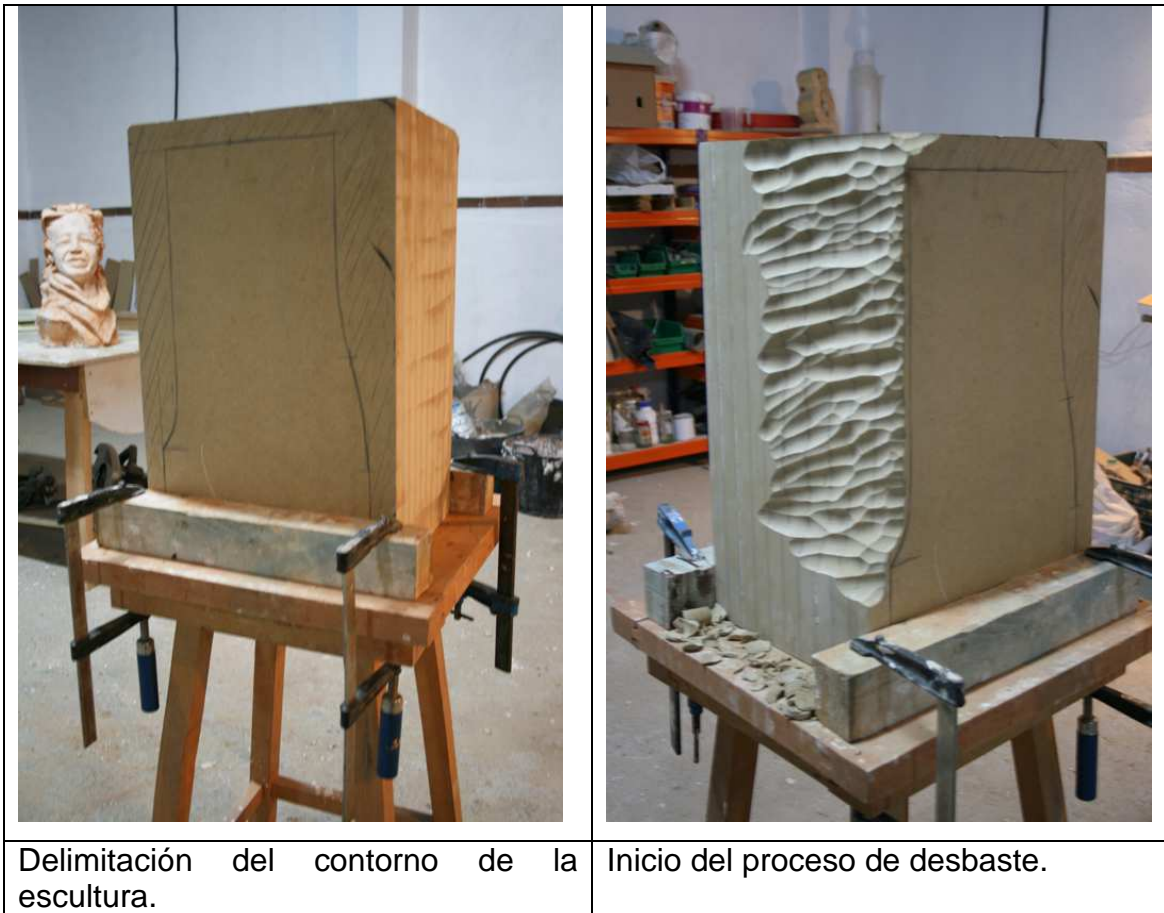


Figura 82. Elaboración propia (2012). Proceso de desbaste del embón de MDF.

En las siguientes imágenes se puede observar la limpieza, homogeneidad y continuidad en el corte del embón, incluso en aquellas zonas de unión entre tableros marcadas con una línea roja (Figura 83).

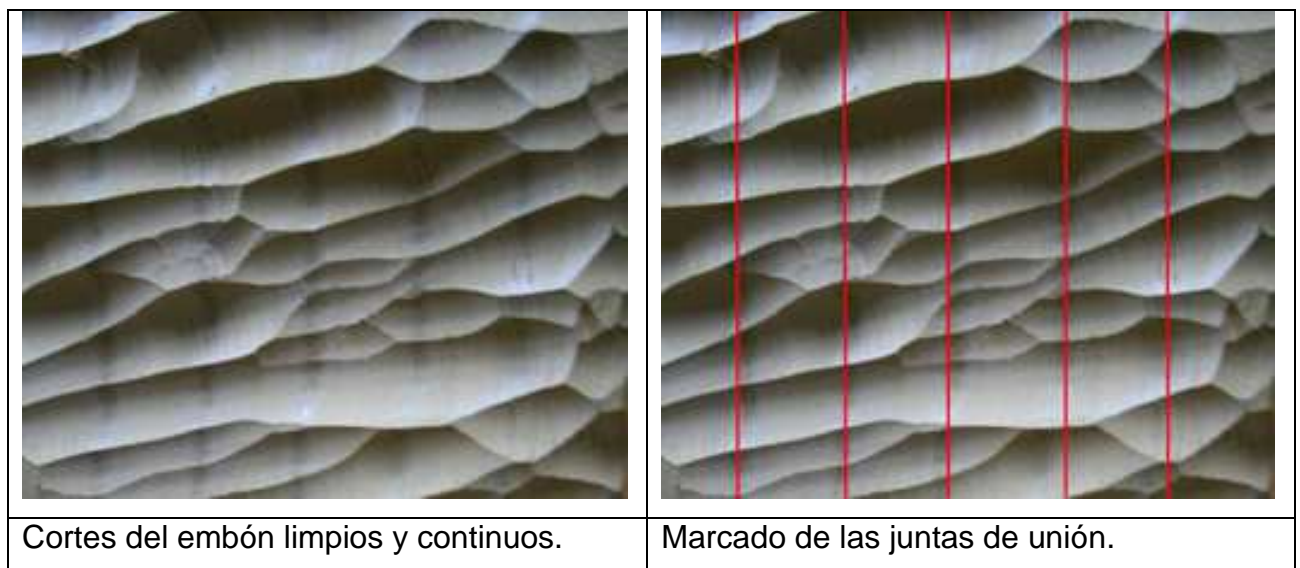


Figura 83. Elaboración propia (2012). Homogeneidad del corte e integridad de las juntas de unión.

La viruta resultante del desbaste presenta uniformidad en su apariencia y no se descompone, es decir, los cortes quedan limpios, enteros y compactos en sus fibras (Figura 84).



Viruta resultante del proceso de talla y desbaste.

Figura 84. Elaboración propia (2012). Viruta resultante.

Con el fin de acelerar el proceso de desbaste, podemos emplear herramientas mecánicas de corte como sierras circulares o amoladoras con disco de corte y desbaste para madera. Si se realizan diferentes cortes longitudinales paralelos y otros tantos perpendiculares a modo de cuadrícula (Figura 85), creamos una superficie de pequeños dados que ofrecen menor resistencia al desbaste, por tener menor superficie de unión con el bloque principal. De este modo, en aquellas zonas del embón en las que haya que eliminar más cantidad de materia, podemos acelerar el proceso ahorrando, en todo caso, esfuerzo físico y desgaste de herramienta.



Figura 85. Elaboración propia. Desbaste mediante cortes paralelos y perpendiculares en el embón.

La falta de direccionalidad marcada en las fibras que componen los tableros, ofrece la posibilidad de realizar cortes con la gubia en cualquier dirección sin que se produzca astillado, resistencia al corte o separación de piezas (Figura 86). Esta es la principal característica de este material para su perfecta adecuación como material escultórico empleando técnicas tradicionales de escultura en madera.



Figura 86. Elaboración propia (2012). Corte del embón MDF con gubia. Véase la múltiple dirección de cortes.

De forma tradicional, las técnicas propias de la escultura en madera, en este caso la talla, pretenden, por un método sustractivo, eliminar material hasta descubrir la forma final de la escultura. Estas técnicas sustractivas llegan hasta el punto de conseguir superficies lisas y pulidas sirviéndose de herramientas abrasivas en diferentes grados. Como paso siguiente al de talla mediante gubias y con objetivo de homogeneizar las superficies eliminando las huellas del corte, se emplean escofinas con diferentes formas y de diferente grosor. En este proceso de escofinado, podemos observar que el MDF presenta buenas condiciones, no ofreciendo gran resistencia a excepción de las juntas de unión entre tableros (Figura 87). Es de destacar y como anticipamos en la descripción de las características generales de este material en cuanto a su trabajabilidad, que los componentes del tablero MDF y su contenido en sílice provocan el desgaste de las herramientas de corte y abrasión. Así pues, en procesos prolongados¹⁷³ de escofinado, puede producirse el desafilado de los dientes de las escofinas, siendo conveniente disponer de varias de ellas si las esculturas son de grandes dimensiones o si el proceso va a ser prolongado.



Figura 87. Elaboración propia (2012). Escofinado para homogeneizar grandes superficies.

¹⁷³ Queremos decir en periodos muy largos de tiempo y con empleo continuo de estas herramientas. Lógicamente, dependerá la calidad del acero con el que estén fabricadas, la antigüedad o el desgaste previo de anteriores usos y la intensidad en su aplicación. En nuestro caso, no hemos percibido gran desgaste.

Existen otras herramientas similares a las escofinas que adoptan diferentes formas (cóncavas, convexas, puntiagudas, cilíndricas, etc.) llamadas raspines o raspadores¹⁷⁴. Éstos, empleados a modo de palillos de modelar, permiten homogeneizar las superficies pequeñas y de difícil acceso, y gracias a las diferentes formas que adoptan, ofrecen la posibilidad de remodelar las zonas de detalle que por medio de las gubias y escofinas de mayor tamaño no se han podido conseguir (Figura 88). En el caso del escofinado mediante raspines en la escultura en MDF, las posibilidades aumentan gracias a la homogeneidad de sus fibras, no produciéndose astillado ni pérdidas de material y consiguiendo altos niveles de detalle en aquellas zonas de difícil acceso.



Figura 88. Elaboración propia (2012). Escofinado mediante raspines en zonas de difícil acceso como los párpados, etc.

¹⁷⁴ Como ocurre con numerosos objetos, herramientas y procesos, el nombre de raspines para estas escofinas puede variar dependiendo de la localización y el territorio.

Continuando con la homogeneización y el pulido de superficies, después de escofinar es conveniente lijar con papel de lija de diferente grano, en una relación descendente en cuanto a abrasividad, partiendo desde el grano grueso hasta el fino (Figura 89). Este modo permitirá eliminar gradualmente la materia hasta conseguir el grado deseado. Otro de los factores a tener en cuenta y por el cual es necesario lijar las superficies, es el posterior acabado superficial de las obras. Tanto si es policromo como monocromo, las superficies bien pulidas permitirán la correcta admisión de los productos y ofrecerán un resultado satisfactorio. No pretendemos afirmar, que las superficies deben quedar lisas, sino que el grano y el repelo de fibras en anteriores procesos, debe de eliminarse para obtener mejores resultados. Así pues, aquellas zonas en que interese dejar la huella del corte de gubias o cualquier otra marca del proceso escultórico¹⁷⁵, pueden lijarse sin eliminar la expresividad que ofrecen.



Figura 89. Elaboración propia (2012). Lijado de superficies mediante papel de lija de distinto grano.

¹⁷⁵ Véase el caso de la obra que ilustra este apartado de la investigación, en la que el cabello se potencia dejando la huella del corte de la gubia, lijando en todo caso para eliminar el grano y el repelo.

En cuanto al resultado final tras realizar los anteriores procesos propios de la escultura en madera debemos destacar, que tanto en la elaboración del embón por medio de acetato de polivinilo, hasta el lijado y pulido de superficies, el MDF no ha sufrido alteraciones en su composición soportando los esfuerzos de desbaste manual y mecanizado, talla mediante gubias de diferentes tamaños y distintas formas, escofinado y lijado. De igual modo no existe separación de piezas por falta de efectividad del adhesivo o por mala receptividad de la superficie de unión, ni pérdidas innecesarias de materia por la direccionalidad del corte de las herramientas (Figura 90).

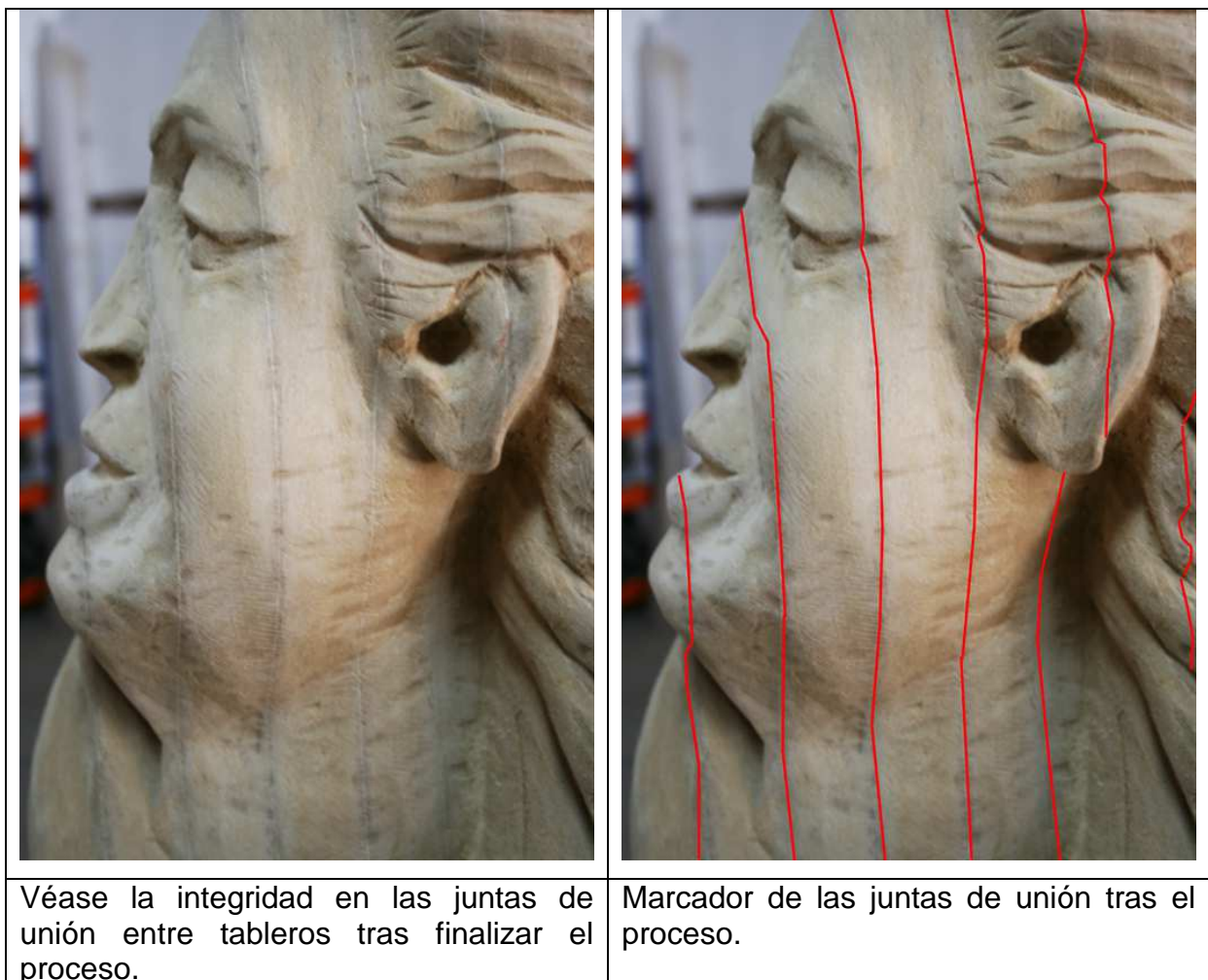


Figura 90. Elaboración propia (2012). Integridad en la composición del MDF y el embón y marcador de juntas de unión.

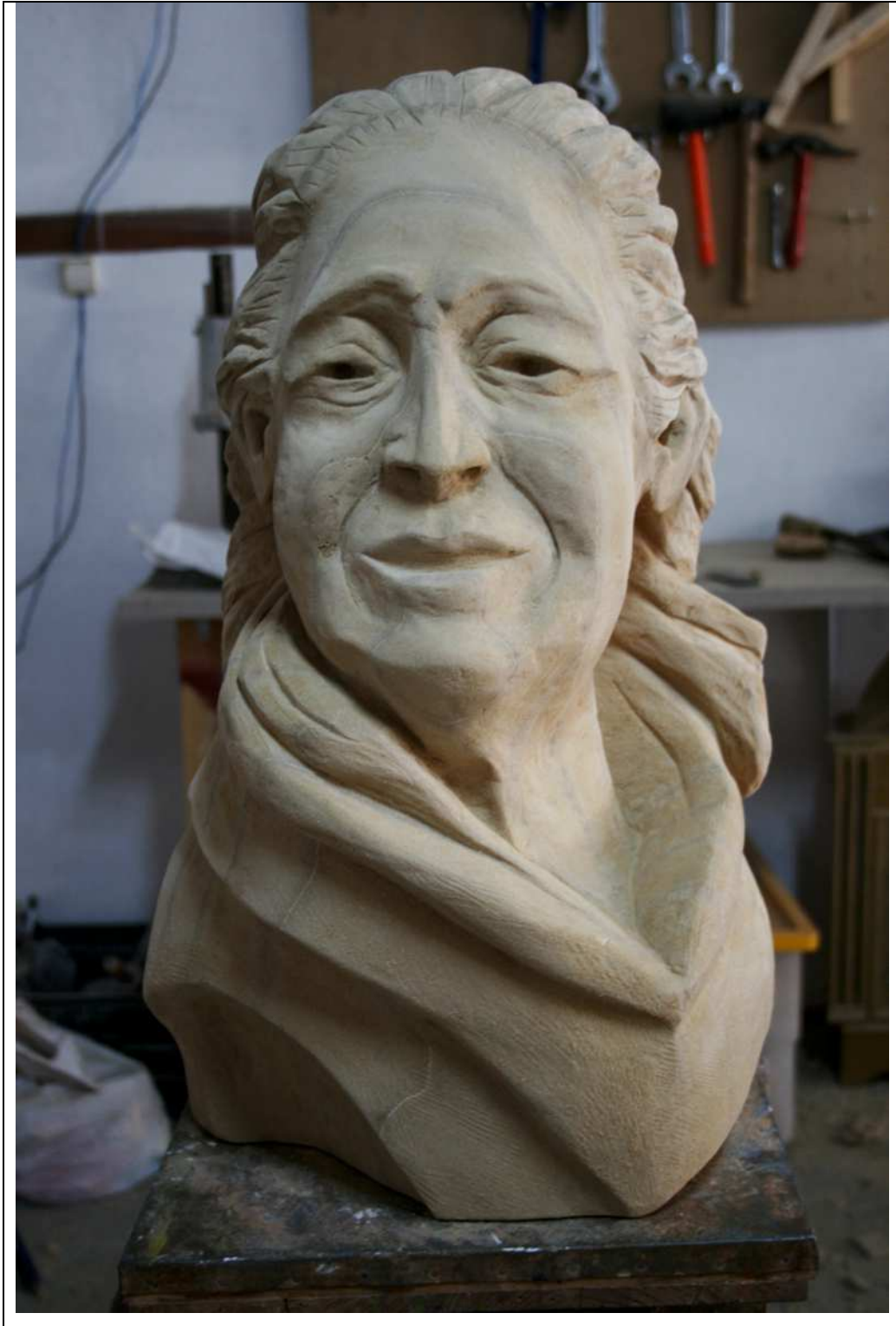


Figura 91. Elaboración propia (2012). Resultado final de la obra tras el proceso de talla.



Figura 92. Elaboración propia (2012). Resultado final de la obra tras el proceso de talla.

21.2. Preparación del soporte y técnicas de acabado superficial sobre escultura en MDF: busto femenino.

Tras finalizar el proceso escultórico de talla, escofinado y lijado de superficies, procedemos a la preparación del soporte para la admisión y aplicación de diferentes técnicas de acabado superficial.

De acuerdo a los satisfactorios resultados obtenidos en el apartado de ensayos sobre muestras de tablero MDF, decidimos optar por la técnica de aparejado tradicional mediante colas animales y SO_4Ca o CO_3Ca (Figura 93), ya que este método con alto contenido en materia de carga ayuda a eliminar las irregularidades (a modo de masilla) producto de los anteriores procesos de talla. Además, las superficies resultantes tras el lijado muestran un acabado más pulido y uniforme para el empleo de las técnicas de policromía.



Figura 93. Elaboración propia (2012). Aplicación del aguacola y aplicación del aparejo.

Como punto de partida, aplicamos una capa de aguacola¹⁷⁶ para el sellado de los poros del MDF y favorecer la admisión de las posteriores capas de aparejo, que serán un total de 7 siguiendo el método tradicional, acompañadas del lijado superficial entre capas para homogeneizar las superficies a medida que se avanza en el trabajo. Podemos observar la correcta admisión de esta templa por el MDF en las zonas de interior del tablero¹⁷⁷ que ocupan la totalidad de la obra. No se aprecia principio de separación de piezas, agrietado ni hinchazón por el aporte de agua incluida en el aparejo. Una vez finalizada la aplicación de esta templa y el posterior lijado, no se percibe agrietado ni fisuras en la superficie (Figura 94).



Figura 94. Elaboración propia (2012). Lijado de superficie entre capas y resultado final tras el aparejado.

¹⁷⁶ Recordamos que el aguacola se compone de cola de conejo diluida en agua en una proporción determinada (100g. de cola hidratada diluida en 800 cl. de agua).

¹⁷⁷ Hablamos de zonas interiores del tablero como aquellas que quedan delimitadas entre las dos caras y que son las que ocupan la totalidad de la escultura. Equivaldría al canto en los ensayos sobre muestras.

De acuerdo a las recomendaciones sobre las técnicas de dorado y policromía descritas en el apartado correspondiente de esta investigación, deben de dorarse y estofarse aquellas zonas de ropajes y vestiduras de la escultura antes de proceder a las carnaciones. Así pues, procedemos a la aplicación del bol en aquellas zonas a dorar siguiendo el método tradicional de dorado al agua (Figura 95). Realizamos el bol del mismo modo que en el ensayo sobre muestras de tablero, sellando de antemano el poro del aparejo mediante una capa de aguacola para más tarde aplicar sobre la escultura un total de 5 capas de bol sin reincidir demasiado en las pinceladas.



Figura 95. Elaboración propia (2012). Sellado del poro mediante aguacola y aplicación del bol.

Finalizado el proceso y seca la superficie, pulimos sirviéndonos de un paño suave de algodón (Figura 96). En cuanto al pegado del oro, sólo resta humedecer el bol para refrescar las propiedades adhesivas de la cola y sobreponer los panes (Figura 97).



Figura 96. Elaboración propia (2012). Limpieza y pulido de superficie del bol y resultado tras la aplicación.



Figura 97. Elaboración propia (2012). Humectación de la superficie y pegado del pan de oro.

La delicadeza de este proceso de dorado demostrada en anteriores ensayos, se señala en esta ocasión al producirse pequeñas pérdidas de oro, dejando a la luz el bol. Más que convertirse en un inconveniente, en nuestro caso lo emplearemos como recurso plástico en los siguientes procesos de acabado superficial.



Figura 98. Elaboración propia (2012). Proceso de dorado y resultado final.

Una vez haya secado el oro y retirado el sobrante, procedemos a la aplicación de la técnica de estofado por veladuras, pretendiendo, en este caso, obtener una mayor riqueza plástica proporcionada por las transparencias y el dorado (Figura 99). Podemos observar cómo aquellas pequeñas faltas producidas por la caída del oro se oscurecen al aplicar la veladura, jugando así con los contrastes entre zonas doradas, transparencias y opacidad (Figura 100).



Figura 99. Elaboración propia (2012). Estofado mediante veladuras al óleo.

Para completar el proceso de estofado, retiramos parte del óleo con un trapo suave (Figura 99) que a la vez que otorga más transparencia y homogeneiza la superficie, deja su impronta proporcionando nuevas texturas.



Figura 100. Elaboración propia (2012). Resultado tras el estofado por veladuras.

El encarnado en esta escultura sigue un procedimiento idéntico al descrito en el apartado de ensayos sobre muestras de tablero, en el que como paso inicial, ha de aplicarse una capa fina de óleo a modo de color base, para una vez seco, realizar pequeños detalles como el del marcado de venas que finalmente quedarán velados (Figura 101-izquierda). A continuación, se debe aplicar una capa algo más espesa del color aproximado al final, incluyendo en este caso, los matices de color que aportarán el naturalismo propio de las carnaciones (Figura 101-derecha).



Figura 101-izquierda y 101-derecha. Elaboración propia (2012). Marcado de detalles velados y aplicación de óleo y matices.

Para la homogeneización y fusión de los matices de color con la capa general de óleo, empleamos el método de policromía al pulimento, sirviéndonos de tripa de vaca limpia e hidratada. Colocándola sobre el dedo y humedecida en agua, sólo resta ejercer presión y frotamiento sobre la superficie del óleo, describiendo movimientos circulares para fundir el color y pulimentar la superficie gracias a la emulsión que proporciona el agua con el aceite del óleo (Figura 102).

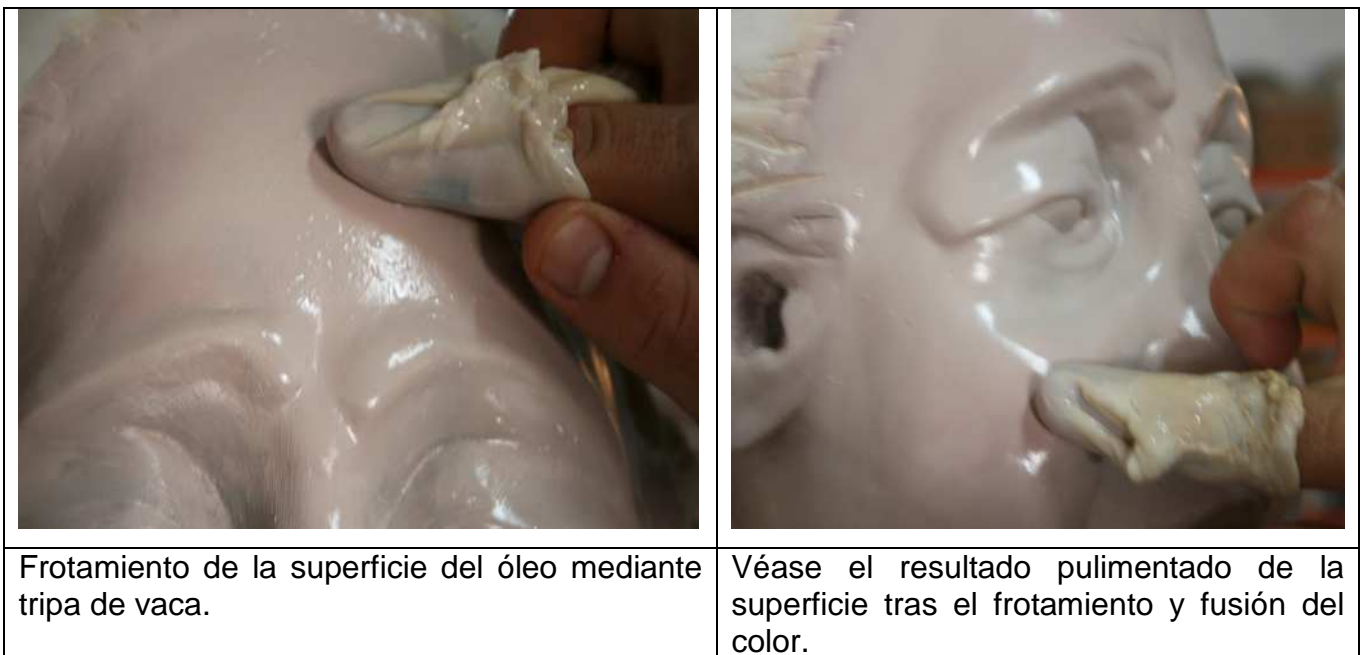


Figura 102. Elaboración propia (2012). Policromía al pulimento.

En una tercera fase dentro de la aplicación de policromía al pulimento para alcanzar el grado de naturalismo propio de las carnaciones, aplicamos nuevamente una capa de pintura al óleo algo menos espesa que la anterior y de color más aproximado al natural (Figura 103-izquierda). Del mismo modo que en el anterior caso, es necesario aplicar aún en fresco los matices para otorgar a la escultura de la cualidad cromática de piel humana. Aquellas zonas de contacto con el cabello han de oscurecerse algo más para integrar el pelo con las carnaciones sin que se produzcan grandes contrastes que perjudiquen la naturalidad de la policromía (Figura 103-derecha).



Figura 103-izquierda y 103-derecha. Elaboración propia (2012). Encarnaciones.

En este caso, la tercera capa de óleo aplicada es de un espesor menor para facilitar la transparencia con la anterior capa mucho más luminosa. El proceso de pulimentado mediante la tripa de vaca es más efectivo gracias a que la superficie anterior ya estaba pulimentada de antemano. Como paso intermedio a la finalización de las carnaciones se procede a policromar el cabello. Para su correcta elaboración es necesario que la pincelada se realice en dirección contraria a la del cabello de la escultura, ya que así la huella dejada por el pincel describirá el nacimiento desde la frente y la sien, e integrará la piel y el cabello (Figura 104).



Figura 104. Elaboración propia (2012). Policromía del cabello.

Dentro de la fase final de acabado de encarnaciones al pulimento, se realiza el policromado de ojos, cejas y aquellas zonas de detalle que han de realizarse una vez secas todas las capas anteriores (Figura 105). En el caso de las pestañas, de forma tradicional pueden ser pintadas, lo que sería un trabajo minucioso y calibrado, o como alternativa, pueden incorporarse postizos que sustituyan a la pintura. En nuestro caso optamos por pintarlas siguiendo el objetivo ejemplificador e ilustrativo de la policromía tradicional aplicada en este caso.



Figura 105. Elaboración propia (2012) Policromía de últimos detalles.

El resultado tras finalizar el proceso de encarnado de la escultura se puede observar en la siguiente imagen (Figura 106) donde podemos ver cómo el acabado superficial de la policromía ha modificado por completo la naturaleza propia del material MDF. Debemos recordar, que la correcta admisión por parte de este tablero de las técnicas de preparación de superficies, tanto tradicionales como alternativas, es la que proporciona a su vez la correcta admisión de las técnicas tradicionales de policromía y policromía al pulimento que hemos aplicado ofreciendo un amplio campo de posibilidades.



Resultado final tras el proceso de encarnado al pulimento.

Figura 106. Elaboración propia (2012) Resultado tras el proceso final de encarnado.

En nuestro caso y tras finalizar el proceso de policromía en la escultura, decidimos aplicar una pátina de envejecimiento a modo de veladura para atenuar los matices y otorgar un aspecto diferente. Dicha veladura la realizamos empleando una pequeña cantidad de óleo diluida en cera para muebles. Recordamos que el componente esencial para la cera de muebles es cera natural y esencia de trementina como diluyente. Siendo así, el óleo puede diluirse correctamente y al ser aplicado sobre la superficie de la escultura policromada, queda fijado una vez seco.



Figura 107. Elaboración propia (2012). Aplicación de pátina de envejecimiento.

La aplicación de la pátina de envejecimiento mediante cera y óleo se realiza cubriendo la superficie de la escultura en su totalidad empleando gran cantidad de producto, para a continuación retirar el sobrante con un trapo suave (Figura 107). De este modo, la cera coloreada con óleo se introduce en aquellas zonas de interior, detalles diminutos, irregularidades, etc. que junto a la veladura creada proporcionarán el aspecto envejecido a la policromía.

Una vez haya secado la pátina aplicada sobre la policromía, puede pulirse mediante un cepillo suave frotando la superficie hasta sacar el brillo natural de la cera (Figura 108).



Frotamiento mediante cepillo para sacar el brillo natural de la cera. Véase la introducción de la pátina en el interior de las zonas de detalle.

Figura 108. Elaboración propia (2012) Frotamiento de la superficie para sacar el brillo de la cera.

El resultado final de todo el proceso de policromía se aprecia en la siguiente imagen (Figura 109):



Figura 109. Elaboración propia (2012). Resultado final.

21.3. Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: Figura masculina mediante embón hueco, unión y ensamble de partes exentas al bloque principal.

En este segundo ejemplo de demostración práctica a la hora de realizar escultura, pretendemos hacer una obra de dimensiones mayores a la anterior, con una serie de características y modos de proceder distintos. Continuando con las técnicas y procedimientos tradicionales para la escultura en madera, en esta ocasión y partiendo de un modelo previo (Figura 110), elaboramos embones diferentes al anterior en cuanto a la construcción y al ensamblaje. Las dimensiones variarán en función de la forma, manteniendo el grosor de 30mm para todos los recortes de tablero y empleando adhesivo de acetato de polivinilo.



Figura 110. Elaboración propia (2012). Modelo en barro.

Partiendo de este modelo previo, la estructura de la escultura constará de seis partes elaboradas en seis embones diferentes (Figura 111) que una vez talladas y lijadas se ensamblarán siguiendo algunos de los métodos tradicionales descritos en el capítulo 3 de esta investigación:



1. Embón hueco realizado mediante el ensamblaje de varios recortes de tablero, destinado a la parte inferior de la escultura (zona de extremidades inferiores y ropajes) que servirá de base.
2. Embón macizo destinado a la parte del tronco de la figura y el brazo derecho, compuesto por varios recortes de tablero centrales y dos exteriores que se ajustan a las formas de la escultura.
3. Embón macizo destinado a la cabeza de la figura.
4. Embón macizo destinado al brazo y mano izquierda, ajustado a la forma de la figura.

Figura 111. Elaboración propia (2012). Estudio para la división de piezas y embones.

5. Embón macizo para la realización de la mano del brazo derecho.
6. Recorte de tablero para la realización de parte del ropaje.

La finalidad de realizar una escultura mediante el procedimiento de construcción de embones trabajados por separado es la de aproximarse, en un inicio, a la forma general de la escultura tomada como modelo, independizando las diferentes partes entre sí. No obstante, esta aproximación a la forma final en el momento de elaboración del embón, influye en la temporalidad del trabajo y el ahorro de material al no perderse tanta cantidad en el desbaste si lo comparamos con los modos de proceder en escultura sobre bloque macizo.

En relación a los procesos de talla, desbaste, escofinado y lijado, en este segundo ejemplo, no nos centraremos en su descripción, ya que son exactamente iguales a los descritos en el anterior caso, no pretendiendo caer en redundancias carentes de sentido. Así pues, centraremos nuestra atención en la descripción de los procesos de elaboración de embones y de ensamblaje de las diferentes partes exentas al bloque principal. En cuanto al embón hueco destinado a la parte inferior de la escultura, su construcción se basa en una estructura de prisma rectangular compuesto por cuatro recortes de tablero ensamblados a los que se le unirán, más tarde, otros recortes para ajustarse a la forma original de la escultura modelo. En el siguiente esquema puede apreciarse su estructura básica (Figura 112 y 113)

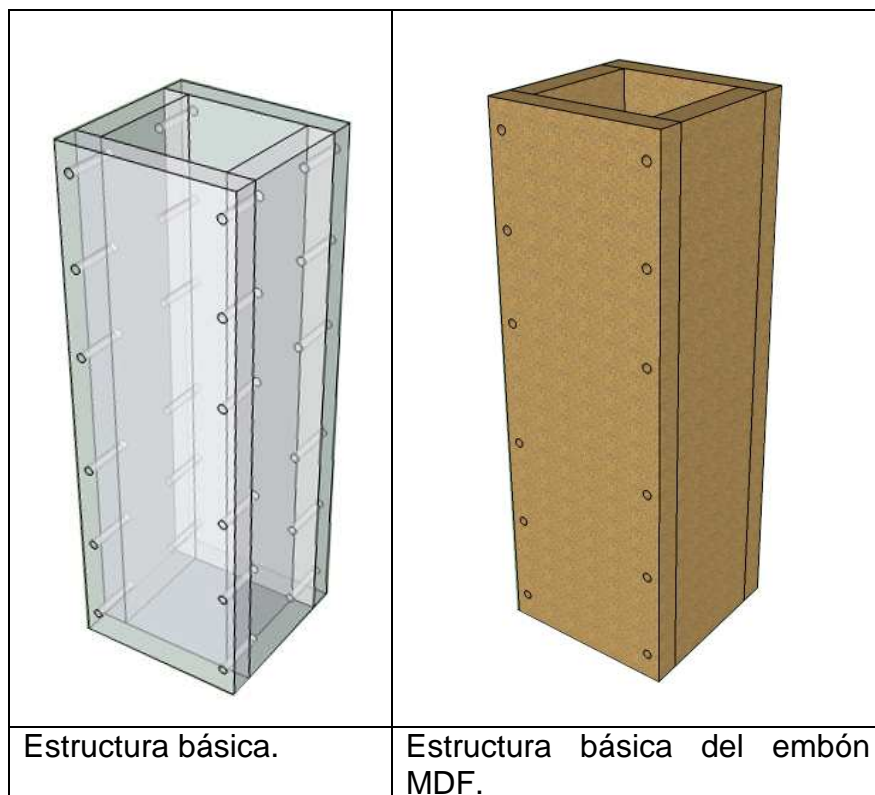


Figura 112. Elaboración propia (2012). Estudio para fabricación de embón.

La estructura de este “cajón” inicial se basa en cuatro recortes de tablero MDF de 30mm de grosor encolados con adhesivo de acetato de polivinilo y reforzados por medio de clavijas de madera en los cantos. Las siguientes imágenes muestran los esquemas del proceso de unión y refuerzo, además de la adición de otras piezas que completarán la forma del embón.

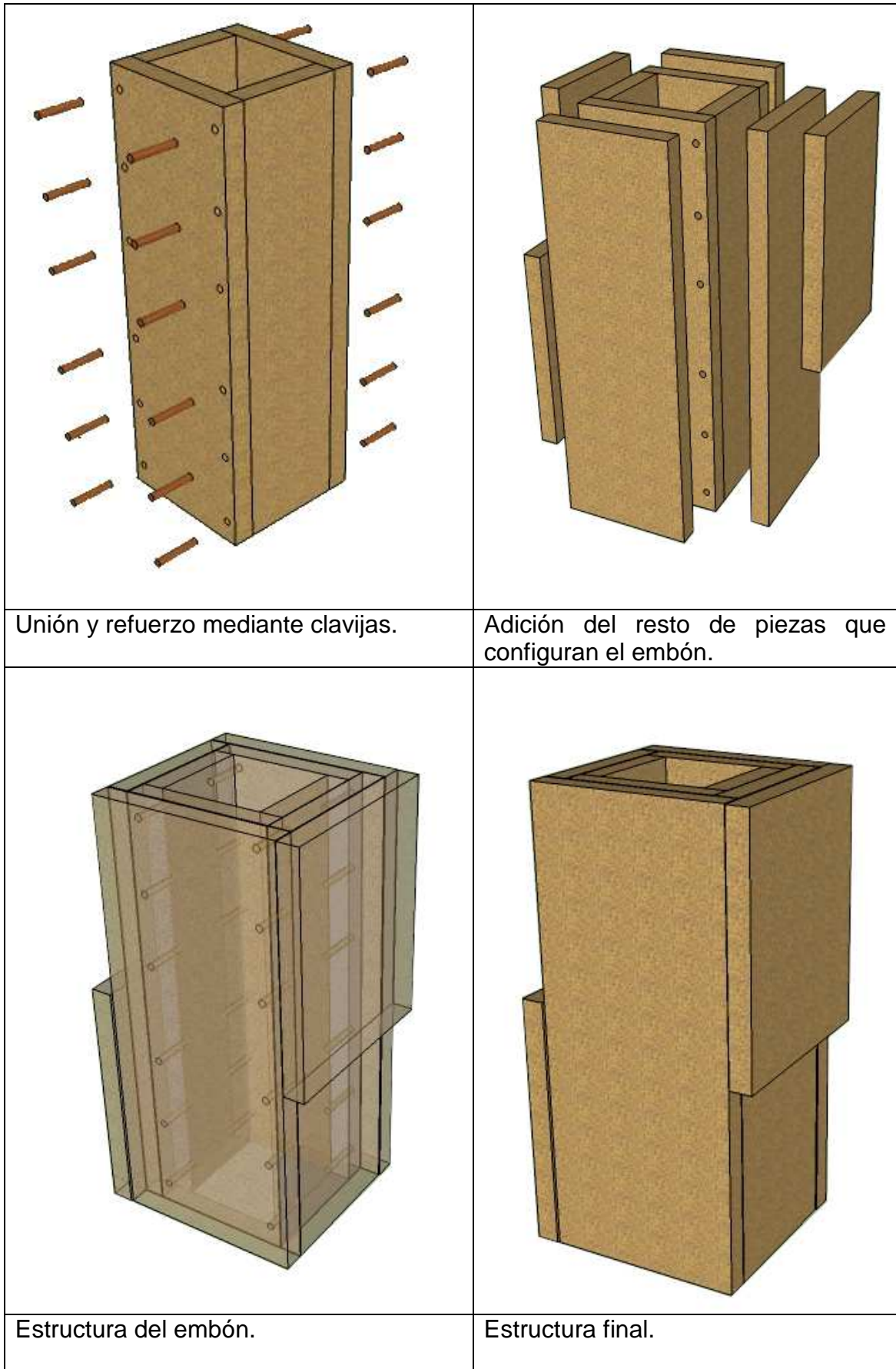


Figura 113. Elaboración propia (2012). Estudios para la elaboración del embón hueco.

Paralelamente a los esquemas proporcionados, mostramos las imágenes reales de la elaboración de este embón (Figura 114).



Figura 114. Elaboración propia (2012). Construcción del embón hueco.

Los recortes se unen por medio de acetato de polivinilo aplicado a pincel en los cantos de las piezas que mantendrán el contacto con aquellas a unir. Para el refuerzo mediante clavijas de madera, realizamos taladros de longitud y diámetro igual al de las clavijas, siendo necesario en todo caso, que el prisma esté formado y fijado mediante mordazas o sargentos de sujeción.

La construcción de este embón necesariamente debe de incorporar piezas que le otorguen el grueso suficiente para el trabajo de talla y de adecuación de formas, además de un grosor mínimo que le aporte rigidez y estabilidad a la totalidad de la escultura (Figura 115). El resultado es un embón rígido, estable y ligero.

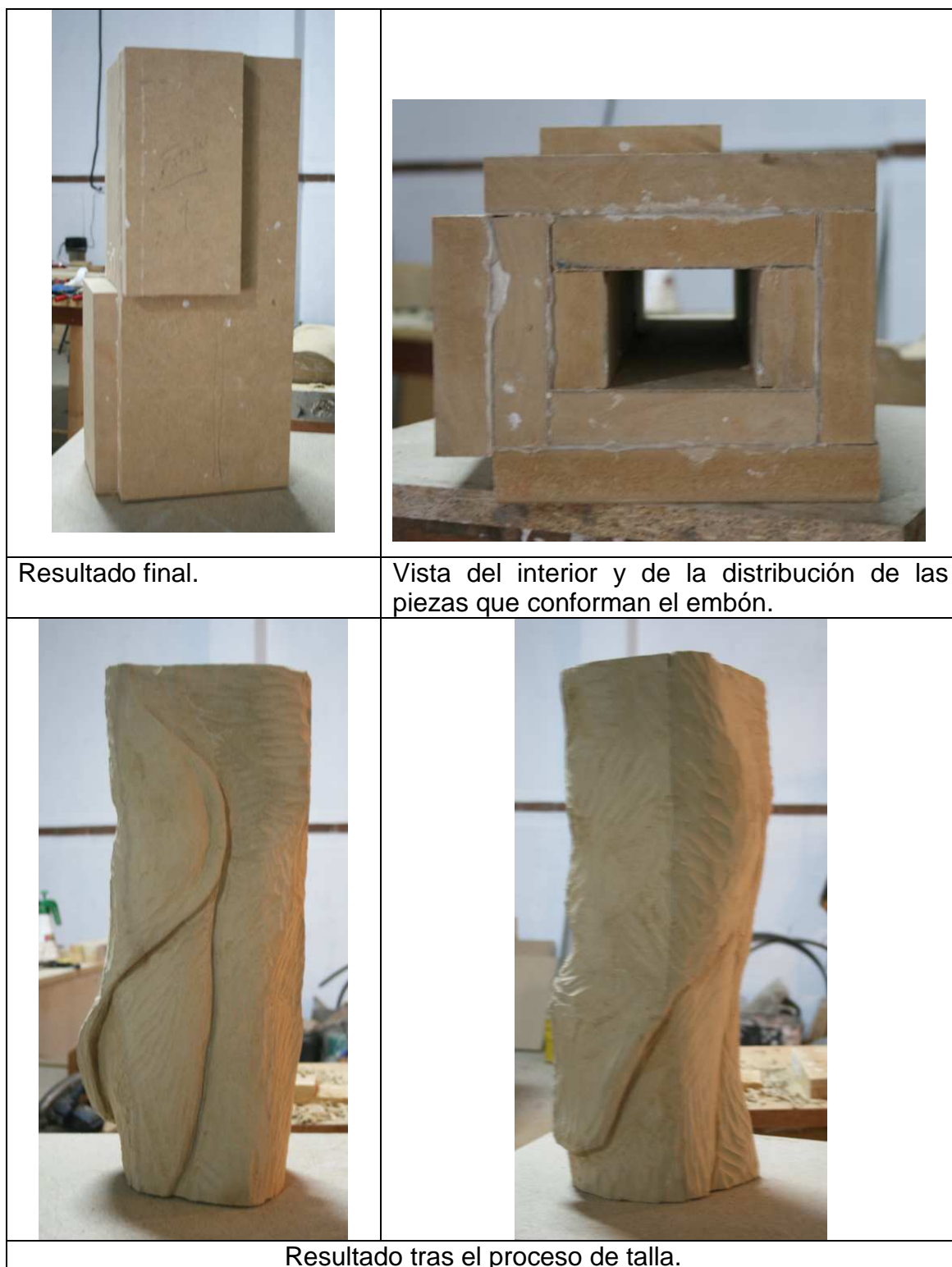


Figura 115. Elaboración propia (2012). Embones independientes.

La segunda parte en que se divide la estructura de esta escultura queda destinada a la zona del tronco. Para ello, elaboramos un embón macizo sirviéndonos de cuatro recortes de tablero centrales unidos entre sí y dos recortes de menores dimensiones adjuntos en el exterior para ajustarse a las formas originales del modelo (Figura 116).

El adhesivo empleado continúa siendo acetato de polivinilo y el procedimiento a seguir es idéntico al de elaboración del embón para la escultura del busto femenino realizada en el ejemplo 1 de este apéndice: aplicamos a brocha el adhesivo en una de las caras a unir y más tarde ejercemos presión y fricción para expulsar las partículas de aire y favorecer la humectación y adherencia entre las caras de los tableros. Seguidamente, es necesario fijar las piezas hasta el curado total del adhesivo.



Figura 116. Elaboración propia (2012). Embones independientes.

El embón macizo realizado para la cabeza sigue las mismas directrices descritas anteriormente tanto en su elaboración como en los procesos de talla (Figura 117).



Figura 117. Elaboración propia (2012). Embones independientes.

El brazo izquierdo se realizará con recortes de tablero con la forma aproximada al ángulo que describe la flexión del brazo, para que así, el desbaste sea mínimo (Figura 118).



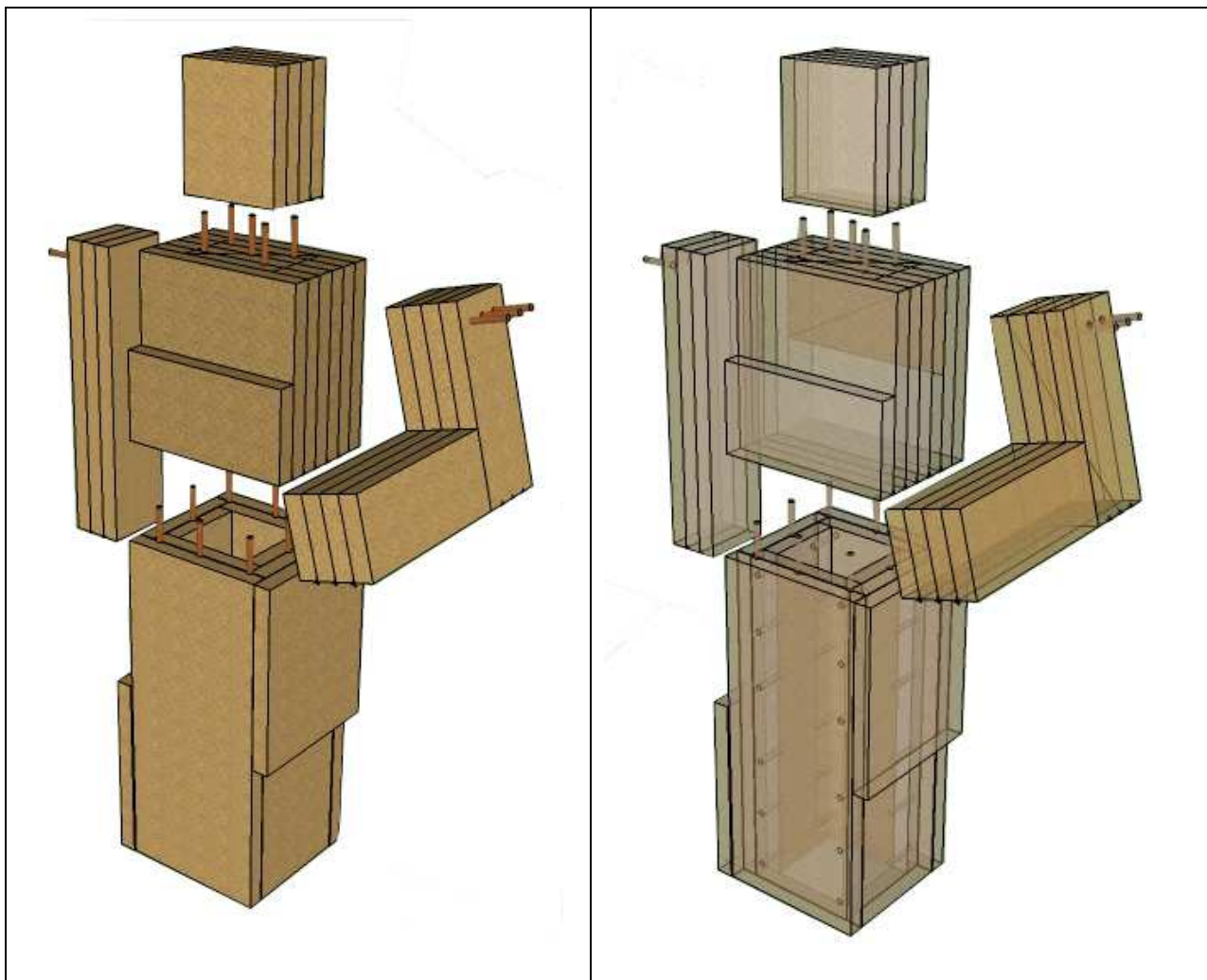
Figura 118. Elaboración propia (2012). Embones independientes.

En el ejemplo 1 de este apéndice en el que realizamos un busto femenino mediante embón macizo, el traslado de puntos, medidas y proporciones se realiza a través del método de la cuadrícula. A diferencia, en este segundo ejemplo práctico, la independencia de los embones facilitará el traslado de puntos directamente por el método del compás (Figura 119), influyendo en el mantenimiento de las proporciones de la figura.



Figura 119. Elaboración propia (2012). Traslado de medidas.

Como dijimos en el inicio del segundo ejemplo de este apéndice, mediante la realización de esta escultura nos centraremos en los procesos de construcción de embones independientes y su posterior sistema de ensamblaje para conformar la totalidad de la escultura una vez finalizado todo el proceso de talla y escofinado. En el siguiente esquema se muestra, de forma general, los embones construidos para cada parte de la escultura y su sistema de ensamble mediante encolado y refuerzo por clavijas de madera (Figura 120).



Sistema general de ensamble de embones mediante el encolado y refuerzo por clavijas de madera.

Figura 120. Elaboración propia (2012). Infografías de embones.

De igual modo, mostramos las imágenes reales del ensamble de las diferentes piezas de la escultura una vez finalizado el proceso de talla para dar unidad a la escultura (Figura 121).



Figura 121. Elaboración propia (2012). Uniones y ensambles.

Una de las ventajas del tablero MDF es la posibilidad de encolar recortes en cualquier sentido, debido a la falta de direccionalidad de las fibras. Así pues, en el caso de la fabricación de embones macizos, la aplicación del adhesivo en la cara del tablero proporciona una unión fuerte y tenaz, pero además, en la fabricación de embones huecos, la aplicación del adhesivo en el canto proporciona una resistencia similar. Es por tanto, que la unión por el canto en el ensamble de estos dos embones será de gran resistencia y durabilidad una vez haya curado completamente el adhesivo.

Para la unión y ensamble de la cabeza, primeramente se aplicará el adhesivo y fijando ambas piezas mediante sargentos de sujeción, procederemos a introducir las clavijas para su refuerzo (Figura 122).



Aplicación del adhesivo.



Refuerzo mediante clavijas de madera.

Figura 122. Elaboración propia (2012). Uniones y ensambles.

De igual modo procederemos en el caso de la unión del brazo izquierdo al tronco de la escultura. Aplicamos adhesivo y tras fijar las piezas realizamos los taladros para reforzar mediante clavijas (Figura 123). En este caso es vital el refuerzo, ya que al ser totalmente exento del bloque que forman los embones mayores (tronco y parte inferior de la escultura) y debido a las dimensiones del brazo y su peso, la fuerza que ejercerá debe contrarrestarse debidamente para evitar la ruptura y separación de la unión.



Ensamble y refuerzo mediante clavijas de madera.

Figura... Elaboración propia (2012). Uniones y ensambles.

Puede observarse cómo la posición del brazo en el ensamble al tronco no es del todo exacta debido al mayor diámetro de éste. De forma intencionada, al disponer de mayor diámetro también disponemos de más margen de error en la colocación exacta del brazo con respecto al tronco de la figura. Sólo restaría repasar aquellas zonas de la junta de unión para unificar, remodelar y completar las formas de la escultura.

En elementos de la escultura de dimensiones menores (como es el caso de la mano derecha) o aquellos añadidos que completan la forma final (como el trozo de tela), el procedimiento es similar, realizando la talla y el escofinado para, a continuación, unirlos mediante adhesivo y clavijas de madera. Las siguientes imágenes muestran el método de unión y refuerzo por clavijas (Figura 124).



Figura 124. Elaboración propia (2012). Uniones y ensamblajes.

En el apartado de ensamble del brazo, hemos descrito la necesidad de repasar las irregularidades propias de la falta de exactitud entre las juntas de unión. Este repaso consiste en la talla de las partes sobresalientes y el escofinado para homogeneizar las superficies hasta la correcta adecuación a la forma y la integración en el conjunto de la obra. En las siguientes imágenes puede observarse el repaso mediante talla de la junta de unión de la cabeza, además del resultado tras el repaso de la mano derecha y la integración de la tela en el resto de ropajes (Figura 125).



Repaso mediante la talla de la junta de unión entre cabeza y tronco.



Resultados tras el repaso e integración en el conjunto de la obra.

Figura 125. Elaboración propia (2012). Repaso de juntas de unión.

Para finalizar con el proceso de repaso e integración de las diferentes piezas que configuran la totalidad de la escultura, sólo resta aplicar masilla en aquellas zonas y juntas de unión con grandes espacios entre sí que puedan interferir en la homogeneidad de las superficies. En nuestro caso, realizamos una masilla de elaboración propia por medio de polvo de serrín de tablero MDF recuperado de anteriores procesos de lijado mecánico y acetato de polivinilo como adhesivo aglutinante (Figura 126). La proporción de ambos componentes para esta masilla es de 50% de serrín y 50% de acetato de polivinilo, de tal modo que la masilla resultante tenga la plasticidad y densidad adecuadas para amoldarse a las formas y cubrir espacios.



Figura 126. Elaboración propia (2012). Elaboración de masilla.

Su aplicación puede hacerse a espátula, con gran cantidad de masilla sobrante para asegurar la total cobertura y evitar marcas de rechupe tras el curado del adhesivo. En las siguientes imágenes puede apreciarse el momento de la aplicación y el resultado (Figura 127). Como es lógico, es necesario posteriormente al curado, lijar de nuevo para reintegrar la masilla con el resto de la superficie de la escultura.



Aplicación de masilla mediante espátula. Véase la diferencia en junta de unión de ambas piezas.

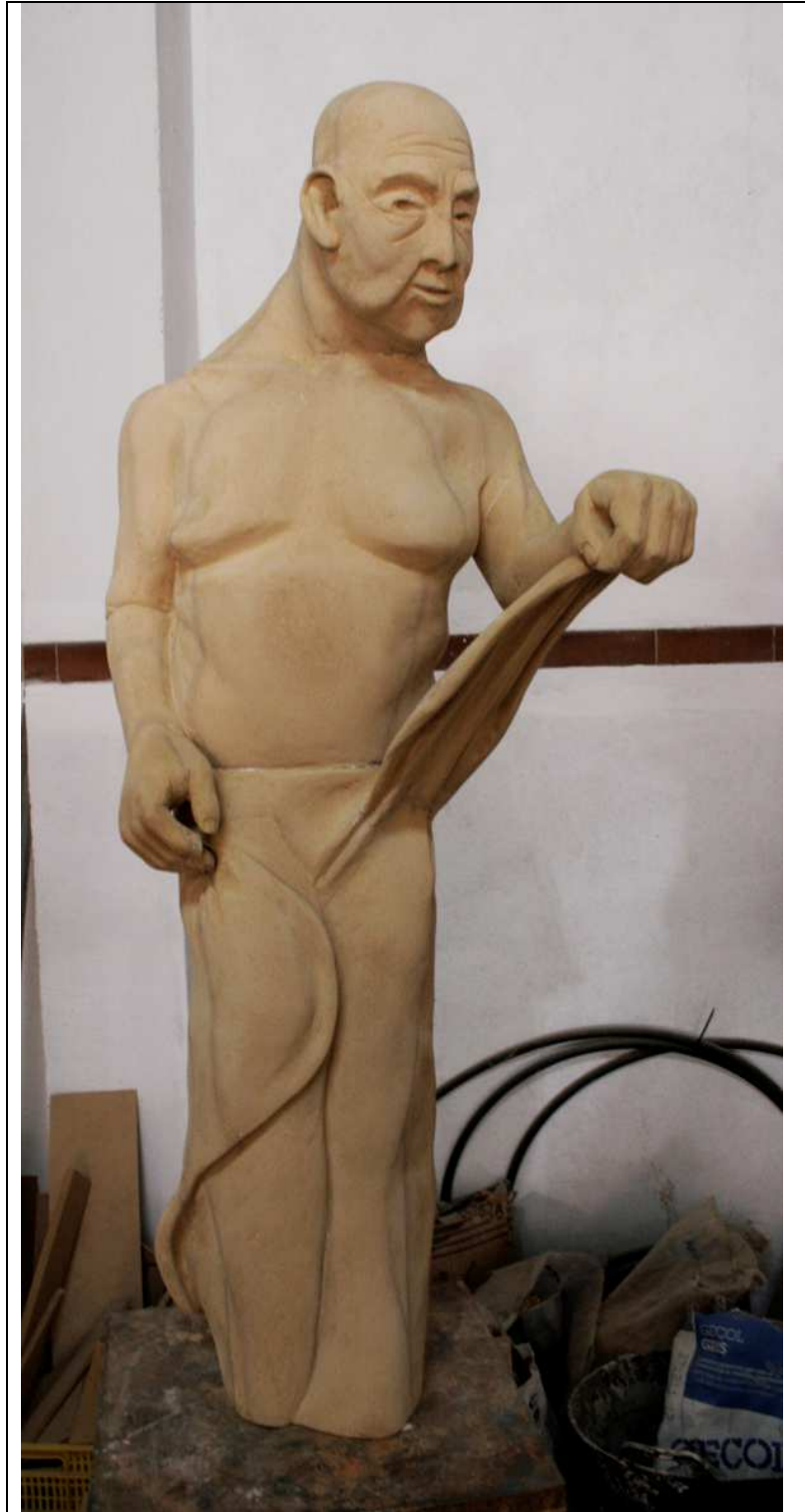


Resultado tras la aplicación de la masilla y cubrición del espacio de la junta de unión.

Figura 127. Elaboración propia (2012).

De igual modo que se cubren las diferencias y los espacios entre las juntas de unión de las piezas ensambladas por medio de esta masilla, posibles grietas, fendas o pérdidas de material pueden ocultarse gracias a la plasticidad de esta mezcla, convirtiéndose en un recurso indispensable a la hora de hacer escultura en madera y MDF.

EL resultado al finalizar el proceso de talla, ensamble, escofinado y lijado puede observarse en las siguientes imágenes que muestran la totalidad de la escultura (Figura 128 y 129).



Resultado final del proceso de talla y ensamble. Vista frontal.

Figura 128. Elaboración propia (2012).



Resultado final tras el proceso de talla y ensamble. Vista trasera.

Figura 129. Elaboración propia (2012).



Resultado final tras la aplicación del aparejo.

Figura 130. Elaboración propia (2012). Preparación del soporte.

A la hora de elegir el acabado superficial de esta escultura, decidimos continuar con el mismo procedimiento que en el caso anterior (punto 21.2 de este apartado) en cuanto a la preparación del soporte, siendo el aparejado tradicional el método propicio para eliminar pequeñas marcas de gubia y demás irregularidades proporcionando una superficie lisa y homogénea (Figura 130).

Como alternativa y a fin de ilustrar con un ejemplo práctico aquello que se ha experimentado y descrito en el apartado de ensayos de acabados superficiales, las zonas de vestiduras de esta escultura son plateadas siguiendo el método de plateado con mixtión al agua sobre fondo de pintura acrílica gris (Figura 131). Como afirmamos anteriormente, este método es totalmente compatible tanto por el soporte MDF como por la preparación tradicional de aparejo, así como la industrial sintética gesso.



Figura 131. Elaboración propia (2012). Plateado.

Volvemos a elegir la técnica de estofado mediante veladuras como acabado superficial de las zonas plateadas como mera cuestión plástica y de gusto personal (Figura 132).



Aplicación de veladura sobre el pan de plata.

Figura 132. Elaboración propia (2012). Estofado mediante veladuras.

A continuación mostraremos únicamente las imágenes intermedias dentro del proceso de policromía. El método empleado es idéntico al descrito en el apartado 21.2 de esta investigación: policromía al pulimento y pátina final de envejecimiento (Figuras 133, 134 y 135).



Resultado tras la segunda fase de encarnado al pulimento.

Figura 133. Elaboración propia (2012).



Resultado tras la tercera fase de encarnado al pulimento.

Figura 134. Elaboración propia (212).



Resultado final tras el proceso de encarnado al pulimento.

Figura 135. Elaboración propia (2012) Resultado final tras el proceso de encarnado.



Figura 136. Elaboración propia (212). Resultado final de la escultura.

21.4. Técnicas y procedimientos de la escultura en madera aplicados al tablero MDF: Talla directa.

En los anteriores ejemplos de escultura en MDF, hablamos además, de los procedimientos tradicionales de reproducción escultórica partiendo de un modelo dado. Tal es así, que el modelado inicial, el sacado de moldes, la reproducción y el traslado de puntos al bloque son procesos largos y laboriosos que se desarrollan para ceñirse al boceto inicial en el máximo grado posible. La talla directa no pretende seguir los parámetros impositivos de la correspondencia de medidas, formas y modelos, sino que más bien, ofrece libertad a la hora de trabajar la escultura. La pertinencia a la hora de hablar de este procedimiento dentro de esta investigación suscita en el interés que puede ofrecer este material a la hora del ejercicio de la talla directa sobre bloque. Ya hemos tratado los procesos y procedimientos de elaboración de embones macizos y huecos, cuáles son los métodos de ensamble y unión de piezas, así como los procesos de homogeneización de superficies y acabados superficiales. El MDF se convierte, en este caso, en un material con buenas características para la talla directa, ya que ofrece la posibilidad de realizar diferentes bloques con diversas formas y trabajar directamente sobre él sin necesidad de un modelo dado.

Así pues, partiendo de un embón macizo de MDF fabricado a partir de recortes de tablero de 16mm de grosor unidos mediante acetato de polivinilo y trasladando de forma aproximada las líneas que siluetean la escultura, procedemos a la realización de talla directa (Figura 137)



Embón macizo con dibujo de silueta.



Inicio del desbaste.



Detalle de la pieza en proceso.



Detalle de escofinado.

Figura 137. Elaboración propia (2011). Talla directa sobre MDF.



Figura 138. Elaboración propia (2011). Resultado final tras el proceso de talla, escofinado y lijado de superficies.

Las apreciaciones sobre el proceso de talla directa del MDF son similares a las descritas en los anteriores ejemplos de los apartados 21.1 y 21.3 sin ser de gran determinación el grosor del tablero que se emplee. Únicamente, decir que la facilidad para la fabricación de embones de tamaño y sección específica y el correcto comportamiento frente a los procesos escultóricos que proporciona el MDF, son unos factores interesantes dentro de la escultura contemporánea e interpretativa de pequeño y gran formato que se alejan de referentes figurativos y parámetros fijos (Figuras 138 y 139).



Figura 139. Elaboración propia (2011). Resultado del proceso de talla directa sin homogeneización de superficies.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Como hemos ido comprobando a lo largo de la lectura de esta investigación, la madera es un material orgánico de origen vegetal cuya principal característica es la anisotropía, es decir, las variaciones que puede sufrir el árbol en cuanto a la dirección de sus fibras, dependiendo de diferentes factores que dan como resultado particularidades tales como nudos, fendas, variaciones de tamaño, volumen y forma, características físicas y químicas con el ataque consecuente de microorganismos, etc. Hemos comprobado también, que la madera natural presenta otro tipo de inconveniente en relación a los tamaños de sección, superficie, longitud y forma, que a veces pueden no satisfacer las exigencias y necesidades de los proyectos. Gracias al desarrollo tecnológico e industrial, hoy día contamos con los medios suficientes para ofrecer alternativas a los productos naturales como la madera que nos faciliten la tarea de solventar o por lo menos atenuar, muchos de los inconvenientes de los que hemos hablado. Así entonces, los conglomerados de madera y en concreto el tablero de fibras de densidad media MDF, aportan facultades, tanto a nivel constructivo como de creación artística a la escultura.

Al someter a diferentes test las probetas y embones de MDF y comparando los resultados con cuatro de las especies de madera natural empleadas normalmente en escultura con el objetivo de investigar sobre el comportamiento de este material y su posterior conservación, podemos concluir, que el tablero de fibras MDF tiene una capacidad de absorción mucho mayor que la madera natural, independientemente de la especie que se trate. A pesar de que los componentes adhesivos de urea y formaldehído empleados en la fabricación del tablero MDF tienen capacidades higroscópicas y resistencia al agua, las resinas naturales que contiene la madera natural no permiten una absorción tan notable como en este tipo de conglomerado. Aún así, el MDF no presenta desfibrado tras la hinchazón producida por absorción de humedad, manteniéndose lo compacto y homogéneo del material, presentando, eso sí, deformaciones volumétricas.

En cuanto al proceso de secado al aire, podemos concluir de forma general, que la diferencia de variación volumétrica en relación al test de absorción de humedad es debida a la merma por la pérdida de agua contenida en cada probeta. Esta pérdida de humedad hace que se reduzca el peso de las probetas, donde la capacidad higroscópica de cada especie de madera y del MDF, marcan diferencias en cuanto al tiempo destinado al secado, que es mayor en el caso del MDF. De igual forma, en procesos de secado al horno, probetas que demuestran gran absorción de humedad como el MDF, pino o haya tardan más tiempo en secar que probetas que tienen poca capacidad de absorción como el cedro. De este modo podemos concluir, que la capacidad higroscópica es un factor a considerar y nos advierte de la precaución que se debe mostrar a la hora de intervenir piezas de madera natural o MDF en procesos de secado, a fin de no inducir a estado de desecación, previniendo la aparición de fendas, grietas o provocando la exudación de resinas. Son estos cambios bruscos de temperatura o la exposición prolongada ante condiciones adversas las que provocarían sobre el MDF y la madera natural la aparición de fendas, grietas y deformaciones volumétricas.

En nuestra investigación hemos destinado especial interés al enfoque analítico sometiendo al MDF a diferentes test, pero de igual modo, enfocamos al análisis práctico a este material. Una de los principales ejercicios consistía en la realización de bloques o embones macizos uniendo varios recortes de tablero. De acuerdo a los resultados, podemos concluir que la elaboración de embones macizos de diferentes tamaños emulando los procedimientos tradicionales para la madera natural y los procesos de construcción de embones independientes y su posterior sistema de ensamblaje para conformar la totalidad de la escultura, es posible empleando diferentes adhesivos alternativos que ofrecen características específicas. En la homogeneización de superficies por medio de herramientas eléctricas como cepillos y lijadoras, se observa que no existe astillado, desfibrado ni principio de separación de piezas. Los adhesivos de acetato de polivinilo junto a los de poliuretano en base de isocianatos son los más adecuados para la unión de madera y materiales derivados, sin embargo, adhesivos vinílicos en base de neopreno que se destinan a estos usos (entre otros) no ofrecen la misma calidad en cuanto a la integridad de la unión. En

procesos de secado al horno se ha podido observar cómo este adhesivo pierde sus cualidades (al ser elastómero) desembocando en la separación de piezas.

De acuerdo a los test de envejecimiento acelerado en laboratorio mediante cámara de envejecimiento, los datos que obtuvimos nos sirven de indicativos para la posible incidencia de las condiciones ambientales naturales sobre el MDF dentro de espacios expositivos. Deberíamos tener en cuenta que las causas de envejecimiento pueden ser provocadas por factores naturales (como ya hemos mencionado en el apartado correspondiente) junto a las propias que repercuten de la acción del hombre como la contaminación, posibles restauraciones e incluso una mala manipulación, pero aún así, podemos concluir que el MDF es un material estable y duradero ante las condiciones ambientales normales dentro de un espacio expositivo. Como era de esperar, el rasgo más característico de las consecuencias de este tipo de test es el cambio de cromatismo en las superficies de las probetas, de tal modo que se oscurecen en aquellas zonas en las que la luz incide directamente debido al secado y oxidación de la capa superficial de la madera por causa de la temperatura, la luz y la humedad ambiental dentro de la cámara de envejecimiento en la que se realiza el test. Todas las probetas sometidas a este test sufrieron algún tipo de merma debido a la incidencia directa y continuada de la fuente de luz y las altas temperaturas que hacen que la probeta y embones pierdan gran parte de la humedad de equilibrio (aunque vuelve a recuperarla conforme el test avanzaba viéndose reflejado en el peso de las probetas) La diferencia del MDF con respecto a las demás, es que éste sufrió esa merma o retracción antes que la madera natural: a las 24 horas, con la ventaja de permanecer constante durante el resto del tiempo de exposición al test. Así pues, este material presenta mejores condiciones de aclimatación y mayor estabilidad dimensional en condiciones ambientales normales. En cuanto a los adhesivos, sólo presentaba pérdidas de sus cualidades el adhesivo en base de neopreno, donde el calor hizo que se disolviesen y se evaporasen sus componentes produciéndose pérdida por capilaridad y la consecuente separación de piezas. Por el contrario, los adhesivos de acetato de polivinilo y en base de poliuretano permanecieron intactos.

La propiedad principal de la madera en trabajos de escultura en cuanto a su trabajabilidad, es la resistencia al corte o dureza, donde la hoja afilada del formón y gubia levantan la fibra y la cortan. Los árboles tienen diferenciadas dos partes en relación a esto, el interior (duramen) que es más duro que el exterior (albura), más blando. Por el contrario, la dureza en el tablero y embones de MDF es uniforme en todas sus partes, a excepción de la resistencia que ofrece en las uniones de piezas. Una pieza de madera natural es mucho más fácil de trabajar en sentido longitudinal de la fibra que en el transversal, así pues, según el sentido de las fibras, la dureza y densidad de los poros y los vasos conductores, el trabajo de talla de la madera resultará fácil o difícil. En tableros de madera MDF, estos inconvenientes se salvan por carecer de fibras remarcadas y unidireccionales, nudos o gran porosidad presentando un producto totalmente homogéneo en su interior y exterior. Es la falta de direccionalidad marcada en las fibras la que ofrece la posibilidad de realizar cortes con la gubia en cualquier dirección sin que se produzca astillado, resistencia al corte o separación de piezas. Lo mismo ocurre en procesos de escofinado y lijado de superficies, permitiendo conseguir altos niveles de detalle. Esta es la principal característica del MDF para su perfecta adecuación como material escultórico empleando técnicas tradicionales de escultura en madera.

En relación a esto y durante el desbaste en el proceso de talla, el tablero de fibras MDF ofrece poca resistencia al corte de la herramienta sin producirse astillado de los cantos ni pérdida innecesaria de material. Como hemos mencionado ya, se aprecia una mayor resistencia en las zonas de junta de unión donde el corte de la gubia comprime las fibras de madera entre sí y entre la junta. Aún así, el material se mantiene homogéneo, pudiendo observarse esta característica incluso en la viruta resultante limpia, compacta y homogénea. No existe desfibrado y no se produce un principio de separación de piezas, que podría suponer uno de los mayores inconvenientes a la hora de concebir la escultura en este material partiendo de embones macizos.

En nuestra investigación, hemos pretendido mantener las relaciones entre tradición e innovación desde el punto de vista de técnicas y procedimientos tradicionales para la preparación y el ejercicio de la escultura en madera natural y el empleo de materiales industriales derivados de la madera destinados a usos distintos de los artísticos. Esta relación la hemos mantenido desde la elaboración del embón y procesos de talla, hasta el uso de aquellas técnicas y procedimientos de preparación y acabado superficial de la escultura en madera, haciendo un recorrido por las diferentes “escuelas” surgidas desde el siglo XVI en España. De acuerdo con esto, el MDF presenta buenas condiciones para la admisión de templeas con agua, colas animales y sulfato cálcico, denominadas aparejo tradicional. De igual manera, los modos de proceder para elaborar otras templeas para dorado y plateado, así como en los propios procesos de pegado de estos metales y la posterior policromía al óleo, la admisión por parte del MDF de los productos de preparación conlleva a la correcta aplicación de los acabados. Como alternativa a los métodos tradicionales, desarrollamos otros métodos actuales de preparación del soporte, dorado y plateado a través de productos sintéticos. La preparación del soporte mediante carbonato cálcico y acetato de polivinilo en solución acuosa, denominada comercialmente como gesso, permite la aplicación de productos sintéticos para el pegado de oro y plata, como es el caso del mixtión acrílico, la pintura en base acuosa para los fondos y cómo no, la policromía al óleo. No podemos olvidar a aquellos productos industriales destinados a la protección y el acabado de la madera natural, como son los barnices, tintes y lasures. Era necesario, en esta investigación, dedicar un apartado a su estudio y aplicación sobre el MDF a fin de comprobar la admisión del mismo para mejorar sus características frente a ataques biológicos así como ante condiciones ambientales determinadas, y paralelamente, tener constancia de los posibles acabados superficiales que ofrecen de acuerdo a su coloración y brillo.

A modo de resumen, las conclusiones principales de nuestra investigación sobre el empleo del tablero MDF como material escultórico son:

1. El tablero de fibras MDF, al contrario que la madera natural, no presenta deformaciones volumétricas, variaciones de forma (en condiciones climatológicas normales), irregularidades en vasos conductores y anomalías causadas por fibras y nudos, al carecer precisamente de ellos.
2. Los tableros MDF brindan la oportunidad de disponer de piezas de tamaño, forma, longitud, sección y superficie que ofrezcan más posibilidades que las escudaría de madera natural y que se ajusten a las necesidades del proyecto.
3. El tablero de fibras MDF es apto para la elaboración de embones macizos empleando adhesivos tradicionales como el acetato de polivinilo y otros alternativos como el adhesivo de poliuretano en base de isocianatos o el vinílico en base de neopreno.
4. En el caso de la preparación de embones con recortes de tablero MDF, la necesidad de respetar la misma dirección de las fibras o alternar ésta para evitar las tensiones no es preocupante, ya que la homogeneidad de sus fibras y la misma disposición direccional en todas las partes del tablero no producen dichas tensiones.
5. El MDF permite seguir los procesos tradicionales de construcción de embones independientes, tanto macizos como huecos, y su posterior sistema de ensamble para conformar la totalidad de la escultura. Este tipo de material ofrece la posibilidad de encolar recortes en cualquier sentido, debido a la falta de direccionalidad de las fibras, para que en la fabricación de embones huecos, la aplicación del adhesivo pueda realizarse en el canto y proporcione una unión fuerte y tenaz.

6. Desde la elaboración del embón por medio de acetato de polivinilo, hasta el lijado y pulido de superficies, el MDF no ha sufrido alteraciones en su composición soportando los esfuerzos de desbaste manual y mecanizado, talla mediante gubias de diferentes tamaños y distintas formas, escofinado y lijado. De igual modo, no existe separación de piezas por falta de efectividad del adhesivo o por mala receptividad de la superficie de unión, ni pérdidas innecesarias de materia por la direccionalidad del corte de las herramientas.
7. El carácter de homogeneidad de sus fibras, densidad y dureza de los tableros y embones de MDF para el trabajo en escultura y la talla en madera, es la principal característica que equipara a este tablero con otros tipos de madera natural empleadas normalmente en escultura.
8. Tras la finalización del test acelerado de absorción de humedad, se observa que las probetas y embones de MDF incrementan de forma gradual, tanto su peso, como sus dimensiones, partiendo desde los cantos hacia el interior del tablero. La hinchazón producida en las piezas interiores es exactamente igual por su isotropía, salvo en los extremos de los bordes de las piezas exteriores, que sí muestran hinchazón irregular: bordes algo más hinchados que la parte central de la probeta o del embón.
9. Los procesos de secado reflejados en los test acelerados tanto al aire como al horno sobre probetas y embones saturados de humedad, producen la pérdida del agua contenida en el interior de forma gradual. En el caso del MDF, el tiempo de secado es mayor que en probetas de madera natural, no produciéndose fendas longitudinales por la hinchazón ni descomposición de los adhesivos de urea-formaldehído que se emplean en la fabricación del tablero. En el caso de los embones de MDF, debido a la acción del calor y la humedad, la deformación volumétrica se percibe con más claridad, no produciéndose pérdidas de las cualidades del adhesivo y principio de separación de piezas a excepción del embón mediante adhesivo vinílico en base de neopreno.

10. En cuanto al test acelerado de exposición ante temperaturas extremas, durante la congelación, la probeta y embones de MDF no presentan aparición de fendas de heladura. En el caso de la exposición a altas temperaturas, la acción del calor produce la pérdida total de humedad hasta el punto de desecar tanto la probeta como los embones, produciéndose la merma en su hinchazón. La acción del calor nuevamente produce la pérdida de las cualidades del adhesivo en base de neopreno.

11. Después de finalizar el test de envejecimiento acelerado, el rasgo más característico de las consecuencias de este tipo de test es el cambio de cromatismo en las superficies de las probetas, de tal modo que se oscurecen en aquellas zonas en las que la luz incide directamente debido al secado y oxidación de la capa superficial de la madera por causa de la temperatura, la luz y la humedad ambiental. Así pues, podemos concluir, que el MDF es un material estable y duradero ante las condiciones ambientales normales dentro de un espacio expositivo, presentando la deformación volumétrica producida por contracción en sus fibras de 0,5mm debido a la pérdida inicial de humedad. Los adhesivos de los embones sometidos al mismo test mantienen sus cualidades, a excepción del vinílico en base de neopreno, que sufre pérdidas por evaporación y capilaridad.

12. De acuerdo a la preparación del soporte para la admisión de policromías, la aplicación del aparejo (carbonato y sulfato cálcico: CaCO_3 y CaSO_4) sobre el MDF es fluida y con buena adherencia sobre la muestra, tanto en la cara del tablero como en el canto, sellando perfectamente la porosidad en esta zona de máxima absorción. Como resultado se obtiene una superficie homogénea tanto en la cara como en el canto.

13. El tablero MDF admite la aplicación de bol de dorar, siguiendo el método tradicional de elaboración, aplicación y pegado del oro.
14. Como alternativa al proceso de dorado tradicional, el empleo de pintura en base acuosa como fondo para el dorado y plateado y el uso de mixtión acrílica para el pegado ofrece resultados satisfactorios asegurándose la correcta adhesión del metal sobre la superficie sin correr el riesgo de desprendimiento y pérdidas.
15. Tanto los productos sintéticos para la preparación del soporte como los destinados al pegado del oro permiten reducir el tiempo para su aplicación y por consiguiente acelerar el proceso de finalización.
16. El proceso de estofado sobre dorado y plateado al mixtión ofrece la posibilidad de que no se produzcan pérdidas de oro o plata como ocurre en estofado sobre dorado al agua.
17. El uso de productos para la protección y el acabado de la superficie de madera natural sobre el tablero MDF proporciona, además de un aspecto estético, la protección necesaria para mejorar sus cualidades ante condiciones climatológicas adversas así como frente al ataque de agentes bióticos.
18. El MDF como material escultórico es idóneo para la didáctica de la escultura en escuelas y facultades de arte por ser un material al que acceder con facilidad, económico y de comportamiento similar a la madera natural en cuanto a su trabajabilidad, acabados superficiales y conservación en condiciones ambientales estables. Ha de señalarse, que la homogeneidad de sus fibras, lo compacto del material y el estar exento de aquellas particularidades propias de la madera natural, hace que las tareas de aprendizaje de los métodos sustractivos, de preparación del soporte y de acabados superficiales sean asimilables con más facilidad por el alumnado.

19. De acuerdo a las características del MDF y las posibilidades que se nos abren, encontramos un material alternativo para la creación escultórica, empleando técnicas y procedimientos de la preparación y talla tradicionales de la escultura en madera, junto a componentes y elementos relativamente actuales. Las técnicas de dorado, estofado, carnaciones, tintado y barnizado sobre MDF ofrecen un sin fin de posibilidades plásticas y cromáticas que pueden enriquecer los modos de proceder tradicionales para la creación de la escultura contemporánea, su enseñanza y su aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

ALONSO, M. (2005) *Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo "resol" con sustitución parcial por lignosulfatos modificados*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

ÁLVAREZ, X. (2006) *Desarrollo de la expresión orgánica y escultórica como cualidad ornamental*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

AMICH BADOSA, C. (1969) *Manual del dorado sobre madera*. 2ª Edición. Editorial Sintés. Palma de Mallorca.

BARBERO GORBAJO, A (1990) *Sistemas de reproducción de la escultura tallada en madera, su acabado y ornato*. Universidad de Granada. Granada.

BARRETT, E; BOLT, B. (Eds.) (2010) *Practice as research: approaches to creative arts enquiry*. I. B. Tauris. New York.

BENJAMIN, W. (1989) *Discursos interrumpidos I. Filosofía del arte y de la historia*. Taurus ediciones. Madrid.

BIGGS, M; KARLSSON, H (Eds) (2011) *The Routledge companion to research in the arts*. Routledge. London.

CALVO SERRALLER, F. (1992) *Escultura española actual: una generación para un fin de siglo*. Fundación lugar C. Madrid.

CAPUZ LLADRÓ, R. (2005) *Materiales orgánicos. Maderas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

CELLINI, B. (1989) *Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura*. Ediciones Akal, S. A. Madrid.

CENNINI, C. (2008) *El libro del arte*. Editorial Maxor. Valladolid.

DE LA COLINA TEJADA, L. (2008) *El oro en hoja: aplicación y tratamiento sobre soportes móviles tradicionales, muros y resinas*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

DURÁN, X. (2008) *EL artista en el laboratorio. Pinceladas sobre arte y ciencia*. Cátedra de Divulgació de la Ciència. Publicaciones de la Universitat de Valencia. Valencia.

ECHEVERRÍA GOÑI, P. (1987) *Policromía del Renacimiento en Navarra*. Arte, Nº 23. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. Departamento de Educación, cultura y deporte. Dirección General de Cultura-Institución Príncipe de Viana.

FLYNN, T (2002) *El cuerpo en la escultura*. Isabel Balsinde (trad.) Ediciones Akal S. A. Madrid.

FOLLICEN, H. (1983) *La vida de las formas y elogio de la mano*. Xarait Ediciones. Madrid

GALLEGO BURÍN, A. (2006) *Estudios de escultura española*. Universidad de Granada. Granada.

GAÑÁN MEDINA, C. (1999) *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Universidad de Sevilla. Sevilla.

GARCÍA ESTEBAN L.; GUINDEO CASASÚS, A.; PERAZA ORAMAS, C. y DE PALACIOS, P. (2003) *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. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

GARCÍA ESTEBAN, L.; GUINDEO CASASÚS, A.; PERAZA ORAMAS, C. y DE PALACIOS, P. (2002) *La madera y su tecnología: aserrado, chapa, tableros contrachapados, tableros de partículas y de fibras, tableros OSB y LVL, madera laminada, carpintería, corte y aspiración*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

GARCÍA GARRIDO, J. J. (2003) *La madera y materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: aportación estructural y estética*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

GARCÍA LEAL, J. (1997) *Arte y conocimiento*. 2ª Edición. Editorial de la Universidad de Granada. Granada.

GÓMEZ GARCÍA, C. (2008) *Disposición del paño de pureza en la escultura del Cristo Crucificado entre los siglos XII y XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

GÓMEZ MORENO, M. E. (2001) *Breve historia de la escultura española*. Universidad de Jaén. Jaén.

GONZÁLEZ-ALONSO MARTÍNEZ, E. (1997) *Tratado del dorado, plateado y su policromía. Tecnología, conservación y restauración*. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

GONZÁLEZ-VIÑAS, W., MANCINI, H. (2003) *Ciencia de los materiales*. Ariel Ciencia y Tecnología. Barcelona.

GUTIÉRREZ MUÑOZ, J. L. (2006) *La escultura como metáfora de la naturaleza. Revisión crítica de la modernidad escultórica*. Universidad Complutense de Madrid.

HISCOX, G, D.; HOPKINS, A. A. (1994) *El recetario industrial*. Editorial Gustavo Gili, S. A. Barcelona.

HOURS, J. (Coord.) (1985) *Les méthodes scientifiques dans l'étude et la conservation des oeuvres d'art*. Ministère de la Culture. Laboratoire de recherche des Musées de France. 2ème édition revue et complétée. La Documentation Française. Paris.

KRANZBERG, M; DAVEMPROT, W. (Eds.) (1978) *Tecnología y cultura*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

LEAVY, P. (2009) *Method meets art: arts-based research practice*. Guilford Press. New york.

LIESA, F.; BILURBINA, L. (2009) *Adhesivos industriales*. Marcombo. Barcelona.

MALTESE, C. (coord.) (1973) *Las técnicas artísticas*. 5ª Edición. Manuales de Arte Cátedra. Madrid.

MARCHAND, S. (1986) *Del arte objetual al arte de concepto*. Ediciones Akal, S. A. Madrid.

MARCOS RÍOS, J. A. (2005) *La escultura policromada y su técnica en Castilla. Siglos XVI y XVII*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

MARTÍN GONZÁLEZ, J. J. (1995) *Las claves de la escultura*. Editorial Planeta. Barcelona.

MARTÍNEZ VILLA, A. (1996) *Los nuevos materiales en la imaginería tradicional: imágenes en derivados de poliéster*. Universidad de Granada. Granada.

MATÍA, P. (2005) *Influencia de nuevos materiales y procesos en el concepto escultórico del cuerpo humano*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

MASO, A. (2004) *Qué puede ser una escultura*. Editorial de la Universidad de Granada. Granada.

MATÍA MARTÍN, P (2009) *Procedimientos y materiales en la obra escultórica*. Ediciones Akal. Madrid.

MATTEINI, M; MOLES, A. (2001) *Ciencia y restauración. Método de investigación*. Martínez de Marañón (Trad.) Editorial Nerea, S. A. Junta de Andalucía- Consejería de Cultura. Hondarribia, Guipúzcoa.

MEDINA AYLLÓN; PASCUAL, E. (2008) *La talla en madera*. Parramón ediciones, S.A. Barcelona. 2ª edición.

MORENO ARANA, J. M. (2010) *La policromía en Jerez de la Frontera durante el siglo XVIII*. Editorial Universidad de Sevilla. Sevilla.

NUTSCH, W. (2000) *Tecnología de la Madera y del mueble*. Company Bueno, José (trad). Editorial Reverté, S. A. Barcelona

ONIANS, D. (2006) *Talla en madera. Técnicas y proyectos*. Diéguez, Remedios (trad). Blume. Barcelona.

ORTEGA GARRIDO, A. (2011) *La materia clásica en las vanguardias españolas*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

PEDREBÓN, L. (2008) *Posibilidades plásticas del polímero acrílico Paraloid B-72 utilizado como aglutinante pictórico*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

PERALBO, R; DURÁN, J. A. (2005) *La escultura y la dimensión del hormigón: morteros y hormigones con aplicaciones técnico-escultóricas*. Editorial Universidad de Granada. Granada.

PERAZA, F., ARRIAGA, F. y PERAZA, E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM. Artes Gráficas Palermo, S.L. Madrid.

PLOWMAN, J (2007) *Directorio de escultura: efectos de superficie y cómo conseguirlos*. Editorial Acanto. Barcelona.

PRIETO, M. (1988) *Los antiguos soportes de madera fuentes de conocimiento para el restaurador*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

RACIONERO, L (1987) *Arte y ciencia*. Editorial Laia. Barcelona.

RAMÍREZ GRYCUK, E. (Editor.) (1992) *Enciclopedia McGraw-Hill de Ciencia y Tecnología*. Tomo I. 2ª Edición. México.

SÁNCHEZ, F; RAMÍREZ, H (2009) *Construcciones de madera*. Editorial Félix Varela. Cuba.

SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1971) *Técnicas de la escultura policromada granadina*. Universidad de Granada. Granada.

SÁNCHEZ-MESA MARTÍN, D. (1972) *José Risueño. Escultor y pintor Granadino (1665-1732)*. Universidad de Granada. Granada.

SIGLER VIZCAÍNO, G (Dirección.) (2003) *¿Qué es la escultura hoy?: 1er Congreso Internacional Nuevos Procedimientos Escultóricos*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

SULLIVAN, G. (2010) *Art practice as research: inquiry in the visual arts*. Sage Publications. Thousand Oaks.

ROMERO, A. (2003) *La escultura andaluza del siglo XVII*. Editorial Algazara. Málaga.

SORROCHE CRUZ, A (1994) Nuevos materiales y nuevas técnicas en la fundición escultórica: el poliestireno expandido como modelo gasificable. Universidad de Granada. Granada.

SPANG, K. (Editor) (2004) *Las artes y sus modos. Actas del Coloquio Internacional*. Ediciones Universidad de Navarra, S. A. Pamplona.

STANGOS, N (1987) *Conceptos de arte moderno*. Alianza Editorial S. A. Madrid.

SAURAS, J (2003) *La escultura y el oficio de escultor*. Ediciones del Serbal. Barcelona.

URIBE VELASCO, M; MEHRENBARGER, P. Y. (2010) *Los polímeros: síntesis, caracterización, degradación y reología*. Instituto Politécnico Nacional. México.

VALLE MARTÍN, A. (2005) *El entorno escultórico: fundamentos y apreciaciones*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

VARGAS TAO, A. O. (2005) *Colas animales*. El Cid Editor. Argentina.

VIGNOTE PEÑA, S., MARTÍNEZ ROJAS, I. (2006) *Tecnología de la madera*. Madrid, Barcelona y México. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª Edición revisada y ampliada.

VV. AA. (1999) *Biblioteca de la talla y la madera. Proyectos y materiales. Esculpido en madera*. Ediciones Daily, S. A. Málaga.

VV. AA. (1997) *Tecnología de la madera*. Edebé. Barcelona.

VV. AA. (2006) *Atlas ilustrado de la madera*. Susaeta Ediciones S. A.

VV. AA (1980) *La madera*. Editorial Blume. Barcelona.

Un bosque en obras. Vanguardias en la escultura española en madera. Proyecto expositivo del Museo de Arte Contemporáneo Esteban Vicente. 2000: Autor.

WALKER, A. (2007) *Enciclopedia de la madera. 150 tipos de madera del mundo.* Frutos Velasco, Almudena (trad). Blume. Barcelona.

WITTKOWER, R (1983) *La escultura, procesos y principios.* Alianza Editorial S. A. Madrid.

ZANNI, E. (2009) *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera.* Editorial Brujas. Argentina.

REVISTAS

AITIM (1999) *1998 buen año para los tableros.* AITIM. Boletín de información técnica. Nº 200. Madrid.

AITIM (2000) *Curso superior de especialización en la industria de la madera.* AITIM. Boletín de información técnica. Nº 207. Madrid.

AITIM. (2000) *Madera reciclada en tableros.* AITIM. Nº 206. Madrid.

BASÓ, C. (2001) *Centro tecnológico para la fibra de Metso en Sundsvall.* AITIM. Boletín de información técnica. Nº 212. Madrid.

MARTÍNEZ MATARREDONA, J. M. (2001) *Riesgos por exposición a isocianatos.* Publicación institucional de Ibermuatur. Nº 26.

PERAZA, F. (2008) *El desafío del formaldehído.* AITIM. Nº 251. Madrid.

VELÁZQUEZ MARTÍ, B. (2006) *Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética*. Red ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Nº 1. Alicante

PÁGINAS WEB

Estudios de Madera:

- <http://www3.uva.es/maderas/MedTec.htm>
- <http://www.infomadera.net/modulos/index.php>

Normativas UNE:

- <http://www.uji.es/CA/cd/cas/une.html>
- <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/normalizacion.asp>

Asociación Instituto tecnológico del mueble, madera, embalajes y afines:

- <http://www.aidima.es/>

Federación española de industrias de la madera:

- <http://www.feim.org/>

Asociación Nacional de fabricantes de tableros:

- <http://www.anfta.es>

Asociación española de gestores de biomásas de maderas recuperadas:

- <http://www.aserma.org/es/>

Confederación española de empresarios de la madera:

- <http://www.confemadera.es/>

European Panel Federation / Federación Europea de tableros:

- <http://www.europanel.org/>

Asociación para la sostenibilidad forestal

- http://www.pefc.es/pefc_espana.html

Asociación Española del comercio e industria de la madera:

- <http://www.aeim.org>

Enciclopedia digital:

- <http://es.wikipedia.org/>

Prevención de riesgos laborales:

- http://www.ibermutuamur.es/revista_bip_antigua/26/pdf/16_higiene_industrial.pdf

Suministrador y comercializador de madera natural y tableros derivados:

- <http://www.polanco.net>

ANEXO

FABRICANTES Y SUMINISTRADORES DE TABLEROS MDF EN ESPAÑA.

Los suministradores y fabricantes que a continuación se enumeran se encuentran en el directorio de la AITIM como miembros socios, lo que no implica que dispongan del Sello de Calidad AITIM, pero es de interés resaltarlos como apéndice a esta investigación en cuanto a la obtención de este material. No obstante, estamos convencidos de que existen algunos otros fabricantes y suministradores que se nos puedan quedar en el tintero:

FABRICANTES DE TABLEROS DE FIBRAS MDF ESTÁNDAR.

- Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros. 28002, Madrid.
- Federación Española de Industrias de la Madera. FEIM. 28013, Madrid.
- Fibras del Noroeste, S.A. Flbranor. 27370, Rabade (Lugo)
- Financiera Maderera S.A. FINSA. 15700, Santiago de Compostela (La Coruña)
- Luso Finsa. 3524.952, Nelas (Portugal)
- Orember S.A. 32911, Orense.
- Tableros Tradema S.L. 47009, Valladolid.
- UTISA Tableros del Mediterráneo, S.L.U. 44370, Cella (Teruel)

SUMINISTRADORES DE TABLEROS DE FIBRAS MDF ESTÁNDAR.

- Actividades de Carpintería de Madera, S.L. 28971, Griñón (Madrid)
- Almacenes Cámara S.A. 47012, Valladolid.
- Barnizados y montajes Villacañas S.A. Barmovi. 45860, Villacañas (Toledo)
- Carpintería Jesús Pérez S.L. 35260, Agüimes (Las Palmas)
- Carpintería Paco, S.L. Spigogroup. 26009, Logroño (La Rioja)
- Fustes del Pirineu Catalá S.A. Fupicsa. 08860 Balsareny (Barcelona)
- Gabarró Hermnanos, S.A. 08202, Sabadell (Barcelona)
- Maderas Besteiro S.L. 27233, Lugo.
- Maderas J. Redondo, S.L. 36600, Villagarcía de Arosa (Pontevedra)
- Maderas Polanco S.A. 11130, Chiclana de la Frontera (Cádiz)
- Maderas Polanco S. A. 41500, Alcalá de Guadaíra (Sevilla)
- Maderas Polanco S.A. 29400, Ronda (Málaga)
- Maderas Polanco S.A. 18630, Otura (Granada)
- Majarena S.L. 30600, Archena (Murcia)
- Protevi S.L. 13670 Villarubia de los Ojos (Ciudad Real)
- Puertas Betanzos S.L. 15317, A Coruña.

FABRICANTES DE TABLEROS MDF-E1 DE BAJO CONTENIDO EN FORMALDEHÍDO.

- Federación Española de Industrias de la Madera. FEIM. 28013, Madrid.
- Fibras del Noroeste, S.A. Fibranor. 27370, Rabade (Lugo)
- Financiera Maderera S.A. FINSA. 15700, Santiago de Compostela (La Coruña)
- Luso Finsa. 3524.952, Nelas (Portugal)
- Orember S.A. 32911, Orense.
- Tableros Tradema S.L. 47009, Valladolid.
- Tableros Tradema S.L. 28760, Tres Cantos (Madrid)
- UTISA Tableros del Mediterráneo, S.L.U. 44370, Cella (Teruel)

SUMINISTRADORES DE TABLEROS MDF-E1 DE BAJO CONTENIDO EN FORMALDEHÍDO.

- Actividades de Carpintería de Madera, S.L. 28971, Griñón (Madrid)
- Almacenes Cámara S.A. 47012, Valladolid.
- Carpintería Paco, S.L. Spigogroup. 26009, Logroño (La Rioja)
- Fustes del Pirineu Catalá S.A. Fupicsa. 08860 Balsareny (Barcelona)
- Gabarró Hermnanos, S.A. 08202, Sabadell (Barcelona)

- Maderas Besteiro S.L. 27233, Lugo.
- Maderas J. Redondo, S.L. 36600, Villagarcía de Arosa (Pontevedra)
- Maderas Polanco S.A. 11130, Chiclana de la Frontera (Cádiz)
- Maderas Polanco S.A. 18630, Otura (Granada)
- Maderas Lasa y Lecumberri S.A. 20130, Urnieta (Guipúzcoa)
- Majarena S.L. 30600, Archena (Murcia)
- Protevi S.L. 13670 Villarubia de los Ojos (Ciudad Real)
- Molduras Polanco Enri, S.A. 11130, Chiclana (Cádiz)

FABRICANTES DE TABLEROS MDF IGNÍFUGOS.

- Federación Española de Industrias de la Madera. FEIM. 28013, Madrid.
- Fibras del Noroeste, S.A. Fibranor. 27370, Rabade (Lugo)
- Financiera Maderera S.A. FINSA. 15700, Santiago de Compostela (La Coruña)
- Luso Finsa. 3524.952, Nelas (Portugal)
- UTISA Tableros del Mediterráneo, S.L.U. 44370, Cella (Teruel)

SUMINISTRADORES DE TABLEROS MDF IGNÍFUGOS.

- Actividades de Carpintería de Madera, S.L. 28971, Griñón (Madrid)
- Almacenes Cámara S.A. 47012, Valladolid.
- Besterwood Company, S.L. 01015, Vitoria-Gasteiz (Álava)
- Carpintería Jesús Pérez S.L. 35260, Agüimes (Las Palmas)
- Carpintería Paco, S.L. Spigogroup. 26009, Logroño (La Rioja)
- Fustes del Pirineu Catalá S.A. Fupicsa. 08860 Balsareny (Barcelona)
- Gabarró Hermnanos, S.A. 08202, Sabadell (Barcelona)
- Jesús Méndez Maderas, S.L. 33697, Gijón (Asturias)
- Maderas Besteiro S.L. 27233, Lugo.
- Maderas J. Redondo, S.L. 36600, Villagarcía de Arosa (Pontevedra)
- Maderas Polanco S.A. 11130, Chiclana de la Frontera (Cádiz)
- Maderas Polanco S.A. 18630, Otura (Granada)
- Majarena S.L. 30600, Archena (Murcia)
- Protevi S.L. 13670 Villarubia de los Ojos (Ciudad Real)
- Molduras Polanco Enri, S.A. 11130, Chiclana (Cádiz)

FABRICANTES DE TABLEROS MDF-H RESISTENTES A LA HUMEDAD.

- Federación Española de Industrias de la Madera. FEIM. 28013, Madrid.
- Financiera Maderera S.A. FINSA. 15700, Santiago de Compostela (La Coruña)
- Tableros Tradema S.L. 28760, Tres Cantos (Madrid)
- UTISA Tableros del Mediterráneo, S.L.U. 44370, Cella (Teruel)

SUMINISTRADORES DE TABLEROS MDF-H RESISTENTES A LA HUMEDAD.

- Actividades de Carpintería de Madera, S.L. 28971, Griñón (Madrid)
- Almacenes Cámara S.A. 47012, Valladolid.
- Barnizados y montajes Villacañas S.A. Barmovi. 45860, Villacañas (Toledo)
- Carpintería Jesús Pérez S.L. 35260, Agüimes (Las Palmas)
- Carpintería Paco, S.L. Spigogroup. 26009, Logroño (La Rioja)
- Fustes del Pirineu Catalá S.A. Fupicsa. 08860 Balsareny (Barcelona)
- Gabarró Hermnanos, S.A. 08202, Sabadell (Barcelona)
- Maderas Besteiro S.L. 27233, Lugo.
- Maderas J. Redondo, S.L. 36600, Villagarcía de Arosa (Pontevedra)

- Maderas Polanco S.A. 11130, Chiclana de la Frontera (Cádiz)
- Maderas Polanco S.A. 18630, Otura (Granada)
- Molduras Polanco Enri, S.A. 11130 Chiclana (Cádiz)
- Majarena S.L. 30600, Archena (Murcia)
- Protevi S.L. 13670 Villarubia de los Ojos (Ciudad Real)
- Puertas Betanzos S.L. 15317, A Coruña.

