



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**“DESARROLLO DE UN BARNIZ
HIDRÓFOBO PARA MADERA
UTILIZANDO EL PROCESO
SOL-GEL”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A:

DANIELA ANDREA CEBALLOS SALAZAR

**DIRECTOR DE TESIS: DR. ROBERTO MENDOZA
SERNA**



MÉXICO D.F.

AGOSTO 2013



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) Ceballos Salazar Daniela Andrea con número de cuenta 40907699-9 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 2 del mes de agosto de 2013 a las 12:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	DR. JOSÉ ÁNGEL ROJAS ZAMORANO
VOCAL	DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
SECRETARIO	IC. RALÍ RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
SUPLENTE	MTRO. VÍCTOR ALBERTO CORVERA PILLADO
SUPLENTE	M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ

El título de la tesis que se presenta es: Desarrollo de un barniz hidrófobo para madera utilizando el proceso Sol-Gel.

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F. a 24 de junio de 2013.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ
DIRECTOR
ZARAGOZA
DIRECCION

RECIBI

OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Vó Bo

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
IC. RALÍ RAMÓN MORA HERNÁNDEZ

Agradecimientos:

A Dios por darme la oportunidad de vivir este momento tan importante en mi vida, por guiar cada uno de mis pasos; por permitirme tener una maravillosa familia en quien apoyarme y con quien contar incondicionalmente; por brindarme salud y la capacidad de intentar cada día ser una mejor persona.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas y porque en ella conocí no sólo el aprendizaje que te dejan los libros y los profesores sino otra forma de pensar y vivir.

A mis padres, porque su esfuerzo y dedicación no ha sido en vano, porque esta es tan sólo una manera de demostrarles lo mucho que los Amo y lo agradecida y orgullosa que estoy con ustedes.

A ti papá porque cada uno de los muchos días que duro este camino estuviste ahí a mi lado compartiendo mis desvelos y dándome ánimos para continuar.

A ti mamá por tu inmenso amor y por siempre tener palabras de aliento en casa situación, porque gracias a ti hoy sé que puedo lograr cualquier cosa que me proponga.

A mis hermanos por darme el amor, el cuidado, la protección, los regaños y las peleas que solo unos verdaderos hermanos te dan; por regalarme la mejor de las infancias y porque cada día que pasó a su lado es distinto y aprendo algo nuevo de cada uno de ustedes.

A mis sobrinos porque no hay palabras para describir la gran felicidad que dos seres tan pequeñitos pueden provocar en mí con tan solo una sonrisa.

A mis amigos con los que he compartido miles de momentos inolvidables, gracias por hacer que la vida me sea más divertida.

Y agradecimiento en especial al Dr. Roberto Mendoza Serna, este trabajo no existiría sin usted, sin su apoyo, sin sus palabras de aliento que me levantaron en aquellos momentos en que me había dado por vencida, le estaré siempre agradecida por haber compartido conmigo un poco de sus conocimientos y de su persona. De corazón gracias.

Índice

Resumen.....	1
Objetivos	2
1) Objetivos Industriales:	2
2) Objetivos Medioambientales:.....	2
3) Objetivos Económicos:	2
Capítulo I. Introducción	4
Capítulo 2. La Madera.....	6
2.1 Propiedades de la Madera	7
2.2 Clasificación de la Madera	9
2.2.1 Maderas Blandas.....	9
2.2.2 Maderas Duras	10
2.3 Identificación de la Madera	10
2.3.1 El Grano o Veta	11
2.3.2 El veteado o dibujo	11
2.3.3 La Textura	12
2.4 Secado de la Madera	12
2.4.1 Secado de la madera al aire libre	13
2.4.2 Secado artificial de la madera.....	13
2.4.3 Comprobación del contenido de humedad	14
2.5 Estabilidad de la Madera.....	15
2.6 Inestabilidad de la Madera	16
2.6.1 Contenido de Humedad.....	16
2.6.2 La Hinchazón y la Merma	18
2.6.3 La Porosidad.....	18
2.6.4 Los Exudados y Extractos	19
2.6.5 El Colorido	21
2.7 Tipos de Madera	21
2.8 Maderas en México	25
2.9 Agentes de deterioro de la madera	26
2.9.1 Insectos	26
2.9.2 Hongos	27
2.9.3 Hongos de pudrición.....	29

2.9.3.1	Pudrición parda o cúbica.....	29
2.9.3.2	Pudrición blanca.....	29
2.9.3.3	Pudrición blanda	29
2.9.4	Condiciones climáticas	30
2.9.4.1	Rayos ultravioletas	30
2.9.4.2	Rayos infrarrojos	31
2.9.4.3	Efecto de la humedad	32
2.9.5	Fuego	32
Capítulo 3.	Generalidades de los barnices	34
3.1	Barniz.....	35
3.2	Tipos de Barnices disponibles en el Mercado	36
3.3	Recomendaciones para la Aplicación de Barnices	39
3.3.1	Recomendaciones referidas al producto	40
3.3.2	Recomendaciones respecto de los útiles	41
3.3.3	Recomendaciones sobre el local de trabajo	42
3.3.4	Recomendaciones para la madera a barnizar	42
3.3.5	Recomendaciones para la aplicación	44
3.3.6	Recomendaciones para el secado de las piezas.....	45
3.4	Métodos de Aplicación de Recubrimientos	45
3.4.1	Atomización de Recubrimientos	46
3.4.2	Cortina	46
3.4.3	Inmersión Convencional	47
3.5	Precauciones para el uso de Barnices.....	47
Capítulo 4.	Fundamentos teóricos sobre el proceso sol-gel.....	49
Capítulo 5.	Diseño de una formulación del recubrimiento	58
5.1	Desarrollo experimental	65
5.2	Propiedades de la madera protegida	71
5.3	Velocidad de eliminación de Agua	73
Capítulo 6.	Discusión de resultados	74
Capítulo 7.	Conclusiones.....	75
Capítulo 8.	Bibliografía	76

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1. Partes que componen la madera	7
Figura 2. Veteado de la madera.....	12
Figura 3. Tipos de Madera “Caoba”	21
Figura 4. Tipos de Madera “Cedro”	22
Figura 5. Tipos de Madera “Cerezo”	22
Figura 6. Tipos de Madera “Encino”	23
Figura 7. Tipos de Madera “Fresno”	23
Figura 8. Tipos de Madera “Nogal”	24
Figura 9. Tipos de Madera “Pino”	24
Tabla 1 Tipos de maderas más comúnmente utilizadas.....	25
Tabla No. 2 Porcentaje de uso de maderas en México	26
Tabla 3. Soles preparados en un envase de polietileno.	67
Figura 10. Homogeneizador 750-Watt Ultrasonic Processor Cole Parmer.	68
Figura 11. Esfuerzo cortante contra la velocidad de deformación para el cálculo de la viscosidad de los sistemas 1 al 6.	68
Tabla 4. Ecuaciones de las rectas de regresión que ajustan los puntos (x = velocidad de deformación, y = esfuerzo cortante) para el cálculo de la viscosidad	69
Tabla 5. Soles preparados que incluyeron PDMS12.	70
Figura 12. Esfuerzo cortante contra la velocidad de deformación para el cálculo de la viscosidad de los sistemas 7, 8 y 9.	70
Tabla 6. Ecuaciones de las rectas de regresión que ajustan los puntos (x = velocidad de deformación, y = esfuerzo cortante) para el cálculo de la viscosidad	70
Figura 13. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino.	71
Figura 14. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino.	72
Figura 15. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino.....	72
Figura 16. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino.	72
Figura 17. Pérdida de peso de agua de probetas de pino protegidas y sin proteger.	73

Resumen

En esta Tesis se pretende desarrollar un recubrimiento de aplicación en líquido para la protección de la madera frente al agua, dotando a la madera de propiedades hidrófobas mediante la utilización del proceso sol-gel. El trabajo propuesto es de tipo experimental. La técnica propuesta consiste en considerar las bondades del proceso sol-gel en cuanto a la utilización de un precursor orgánico y uno inorgánico, y la tecnología de recubrimiento de la madera. Por una parte, el proceso sol-gel se aplica en materiales de origen sintético tales como el vidrio o el metal.

Las tecnologías de aplicación utilizadas normalmente sobre estos materiales sintéticos junto con el estricto control de las variables de proceso, son claves para mantener una superficie cuya funcionalidad depende en parte de la continuidad de la película formada a lo largo de todo el sustrato. Por la otra, la tecnología de protección de la madera contempla desde el primer momento la heterogeneidad de la superficie de la madera como base para su desarrollo. Es precisamente esta heterogeneidad la que permite una excelente adherencia de las películas formadas sobre su superficie con una preparación de superficie liviana.

De la unión de ambas tecnologías cabe esperar que la continuidad de la película sobre la superficie de la madera sea de corto alcance, pero lo suficiente para dotarla de hidrofobicidad.

Con este conocimiento previo es previsible que en el desarrollo de esta tesis se obtenga una formulación a base de alcoxisilanos adecuada para cumplir el objetivo general: “Desarrollar un revestimiento hidrófobo eficaz para la protección de la madera”

Objetivos

Los objetivos que se pretenden cumplir con el desarrollo de ésta Tesis, haciendo uso de la tecnología sol-gel en el área de la protección de la madera son:

1) Objetivos Industriales:

- a) Desarrollo de un revestimiento altamente eficaz para la protección de la madera.
- b) Aplicación de dicho revestimiento mediante técnicas comunes (pistola, rodillo, cortina o brocha).
- c) Desarrollo de un fácil mantenimiento de los materiales protegidos una vez instalados ya que se pretende que no requiera de la preparación de la superficie (una simple limpieza sería suficiente) y bastaría con una nueva aplicación a pistola o brocha para mantener las propiedades iniciales.
- d) Implantación de una tecnología de protección que permita aplicar fácilmente las innovaciones dado que bastaría con cambios en las formulaciones para incorporarlos.

2) Objetivos Medioambientales:

- a) Reducción del consumo de productos químicos ya que espesores del orden de una micra (o inferiores) serían suficientes para dotar a la madera de propiedades hidrófobas.
- b) Eliminación de compuestos orgánicos volátiles de tipo aromático en los revestimientos para madera.

3) Objetivos Económicos:

- a) Reducción de la dependencia de los fabricantes de resinas ya que el
- b) proceso propuesto no requiere de la utilización de las mismas trabajándose exclusivamente con alcoxisilanos.
- c) El costo del equipamiento necesario para aplicar esta tecnología es

pequeño ya que los fabricantes disponen en la actualidad de él.

- d) Mejora de la competitividad de las empresas fabricantes de revestimientos al tener en su catálogo un producto de prestaciones superiores al de sus competidores.
- e) Impulso de la utilización de la madera como material sostenible en la construcción y mobiliario de exterior.

Capítulo I. Introducción

La utilización principal de la madera ha sido y es la de la construcción. Desde los tiempos más remotos el hombre ha utilizado la madera para construir. Con la aparición de nuevos materiales de construcción su utilización ha sido relegada en ciertas aplicaciones, principalmente cuando se utilizaba en funciones estructurales, mientras que se ha seguido utilizando como elemento de cierre y decorativo. Esta sustitución sería lógica y correcta dejando aparte los aspectos subjetivos, solamente en los casos en que se empleen materiales que económica y técnicamente la superen. El miedo sistemático que tenemos al empleo de la madera se basa tal vez en una simple razón, el desconocimiento de su comportamiento y de los recursos que ofrece.

Las causas que han relegado su uso son:

- Su degradación por los distintos agentes destructores. Problema que hoy está totalmente solucionado con los protectores de madera, tanto en su vertiente xilófaga como ignífuga.
- La falta de una normativa clara relativa al uso y al cálculo de estructuras. También se ha subsanado con la autorización del MOPU para su uso y con la propuesta de norma UNE “Cálculo de estructuras de madera”.
- Una mala publicidad e imagen de la madera proveniente principalmente de los problemas derivados de un mal acondicionamiento (secado, encolado) de una carencia de tratamiento protector de acuerdo con su lugar de aplicación y de una incorrecta puesta en obra (falta de ventilación, medidas arquitectónicas...)

La madera es uno de los principales materiales de construcción utilizados en EE.UU. y en los países del norte de Europa. En Europa Occidental se está produciendo un interés creciente por este tipo de material. La disponibilidad de la materia prima y la imagen de un producto natural y ecológico son las principales causas de esta utilización. Sin embargo, la madera, por su naturaleza y formación, está destinada a la pudrición y a reincorporarse a la naturaleza, por lo cual con

más motivos debemos protegerla a la vez que tenemos que mentalizarnos en utilizar madera tratada o protegida lo que nos lleva a la necesidad de una protección frente a diversos agentes que causan su degradación tales como: lluvia, humedad, radiación solar y algunos organismos vivos. Todos estos factores pueden actuar conjuntamente produciendo sinergias que aumentan la velocidad del deterioro de la madera. Para proteger la madera existen diversos tratamientos que se centran en uno o varios de los agentes mencionados anteriormente. En la actualidad existen diversos tratamientos que inciden en la protección frente a dichos factores: biocidas que protegen la madera desde su interior introduciendo en ella sustancias letales para los organismos vivos que se alimentan de ella, pinturas y barnices que incorporan compuestos químicos que la protegen de la radiación ultravioleta, etc. En este sentido, uno de los tratamientos más importantes que se le da a la madera, y en el que se centra esta tesis, es aquel que confiere a la madera propiedades hidrófobas, impidiendo la absorción de agua líquida pero permitiendo el intercambio de vapor de agua con su entorno. Este doble comportamiento (impermeable al agua líquida y permeable al vapor de agua) viene motivado por la necesidad que tiene la madera de mantener una humedad de equilibrio con su entorno (vapor de agua) impidiendo variaciones bruscas de la misma por lluvia o por contacto con agua líquida.

Capítulo 2. La Madera

La madera es un material fibro-resinoso que se obtiene de los arboles debajo de la corteza. Los árboles pertenecen al grupo del reino vegetal de las espermatofitas.

El grupo de las espermatofitas término que significa “Planta portadora de Semillas”, se divide en dos grandes grupos:

- a) Angiospermas que son plantas con flores que tienen los óvulos encerrados en un ovario y las semillas envueltas por el fruto. A este grupo botánico pertenecen los árboles de hojas latifoliadas caducas y los árboles de hojas latifoliadas perennes.
- b) Gimnospermas que son plantas con flores que tienen los óvulos y las semillas desnudas. A este grupo pertenecen los árboles de las hojas aciculares.

La madera es la parte sólida de los árboles que se encuentra debajo de la corteza. Así, se puede describir a la madera como el conjunto de tejidos, de cierta dureza, que constituyen la mayor parte del tronco y las ramas del árbol. La madera es un material fibroso formado por:

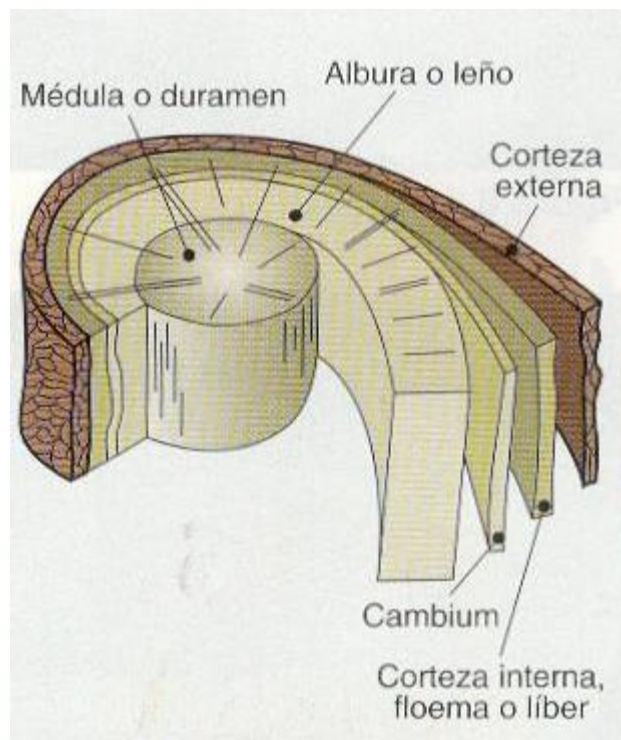
- 1. Celulosa (50%)
- 2. Lignina, que es el elemento que mantiene unidas a las fibras (30%). Es como el “cemento” de la madera.
- 3. Otros elementos: resina, agua, almidón,... (20%)

Si damos un corte transversal a un tronco de un árbol, distinguimos las siguientes partes, de dentro a fuera:

- Médula o duramen: Formada por células muertas que están muy lignificadas. Su aspecto es seco y duro.
- Albura o leño: De aspecto blanquecino, formada por células vivas en su parte exterior y es el responsable del transporte de la savia bruta desde la raíz del árbol hasta las partes aéreas. Durante el crecimiento del árbol, las células interiores mueren y pasan a engrosar el duramen.

- Cambium: Capa de células vivas entre la albura y la corteza interna. Durante su crecimiento da lugar a la formación de la albura y a nuevas células de la corteza interna.
- Corteza interna: Es por donde circula la savia elaborada; está formada por células que poco a poco se desplazan al exterior formando la corteza externa. También se denomina floema o líber.
- Corteza externa: Formada por una capa de células muertas, que protege al árbol contra las inclemencias del tiempo y del ataque de insectos y parásitos.

Figura 1. Partes que componen la madera



En la industria se aprovecha casi exclusivamente el tronco del árbol por tener mayores aplicaciones. Excepcionalmente se aprovechan las raíces y ramas gruesas para la obtención de maderas finas, con veteados espectaculares, en la construcción de muebles de diseño.

2.1 Propiedades de la Madera

Según el tipo de madera, edad del árbol, zona climática, etc... las propiedades

varían de unos a otros, pero de manera general, las maderas presentan las siguientes características:

- Baja densidad: Suelen ser menos densas que el agua (de ahí que floten).
- Conductividad térmica y eléctrica baja: La madera es un excelente aislante térmico (casas de madera en países fríos, por ejemplo). Las maderas ricas en agua son mejores conductores que las secas.
- Resistencia mecánica: A la tracción, compresión, flexión, cortadura, desgaste,... Es muy resistente al esfuerzo de tracción (estirarse) y bastante resistente a la compresión (aunque la mitad de resistente que a la tracción).
- Hendibilidad: Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal.

Hienden peor las maderas duras, las secas, las resinosas y con nudos. La madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes. Si el secado es brusco la madera tiende a abrirse.

- Retractabilidad o contracción: Pérdida de volumen al perder parte del agua
- Dureza: Es la resistencia que ofrece al corte. Aumenta con la densidad.
- Flexibilidad: Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que admiten ser dobladas sin romperse.
- Características estéticas: Color, veteado, olor,...
- Higroscópica. Es la capacidad que tiene la madera para absorber humedad de la atmósfera que la rodea y de retenerla en forma de agua líquida o vapor de agua. La madera contiene oquedades en el lumen celular, entre las microfibrillas y entre las fibrillas elementales, todos ellos susceptibles de ser ocupados por agua.

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que esta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

Cuando un árbol está recién cortado, su madera contiene gran cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la

especie forestal de que se trate. El porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo. El árbol en pie contiene un elevado nivel de agua, pueden contener hasta 300% ó 400% de contenido de humedad; otras llegan hasta un 50% a 60% como máximo. Se puede establecer que el agua puede estar contenida en la madera en las siguientes formas:

- Agua de sorción: Es la que está retenida por fuerzas de tipo Van der Waals, consecuencia de los grupos polares activos de la pared celular.
- Agua de adsorción: Es el agua que queda retenida en la pared celular como consecuencia de la fuerza de adhesión superficial.
- Agua de condensación o capilar: Es la retenida por fuerzas capilares, provocadas por los espacios entre microfibrillas.
- Agua libre: Es la contenida en el lumen de las células prosenquimatosas. Su fuerza de retención es muy pequeña, de forma que no puede captar agua de la atmósfera sólo si se produce una inmersión de la madera en agua
- Polaridad. La madera tiene carácter polar y por tanto tiene afinidad con los productos polares, como puede ser el agua, los pegamentos de carácter polar, los barnices

2.2 Clasificación de la Madera

Comercialmente las maderas se clasifican por sus propiedades físicas y no por el grupo botánico al que pertenecen. De esta manera se les ha dividido en dos grupos que son: maderas blandas y maderas duras.

2.2.1 Maderas Blandas

Las maderas blandas comercializables, provienen de los bosques de coníferas. Las maderas de estos árboles por lo general son livianas, flexibles, fuertes y de dimensiones estables. La estructura relativamente simple de estas maderas, con

sus fibras largas, uniformes y compactas explica la elevada proporción de su peso en relación a su resistencia y a la estabilidad de sus dimensiones.

Estas maderas son materiales ideales para la construcción, fáciles de transformar en artículos industriales manufacturados. Su color claro y lo uniforme de su veta presentada en las calidades superiores hace que se les aplique y trabaje en la fabricación de artículos terminados como muebles.

Las especies más conocidas de este grupo son: Pino Amarillo, Pino Ponderoso, Pino de Oregón, Cedro Colorado, Ciprés, Abeto Blanco, Abeto Douglas y Alerce. El principal abastecedor mundial de maderas blandas de uso comercial es el Hemisferio Norte, que ocupan las regiones árticas y subárticas de Europa y de América del Norte.

2.2.2 Maderas Duras

Las maderas duras comercializables provienen de los bosques de angiospermas de zonas templadas y de zonas tropicales. Estos árboles de hojas latifoliadas caducas, por lo general producen maderas duras, resistentes y fáciles de trabajar con maquinaria.

La mayor densidad y complejidad estructural de este tipo de maderas, producen una rica diversidad de color, veta y lustre, lo que las hace ideales para la fabricación de muebles y otros artículos industriales manufacturados.

Este tipo de madera por lo general tiene una duración mayor que la madera blanda, así como una mayor gama de colores, textura y vetado.

Las especies comerciales más conocidas de este grupo son: Nogal Blanco, Roble, Caoba, Encino, Cerezo, Tilo Americano y Aliso Rojo. Por lo general los árboles de hojas latifoliadas caducas, provienen del Hemisferio Norte Templado y los árboles de hojas latifoliadas perennes de los Trópicos y del Hemisferio Sur.

2.3 Identificación de la Madera

Es sumamente importante que el tipo de madera que vaya a utilizar sea bien

identificado, antes de comenzar el trabajo para poder establecer el sistema más satisfactorio de acabado.

La mayor parte de las maderas comerciales comunes se pueden identificar de manera práctica con gran rapidez en función de: el grano o veta; el vetado o dibujo y la textura; que son características propias para cada especie de árbol.

2.3.1 El Grano o Veta

El grano ó veta está constituido por una masa de células de estructura tubular, que siguen el eje longitudinal del tronco del árbol. La naturaleza del grano, viene determinada por la disposición y el grano de orientación de las células longitudinales. Generalmente es más o menos continuo y recto, pero algunas veces es ondulado e irregular.

Los árboles que crecen derechos y de manera uniforme producen madera de grano recto. La madera de grano irregular se forma cuando las células se desvían de este eje principal.

Algunos árboles se retuercen al crecer y esto da lugar a un grano en espiral. En algunos casos este crecimiento espiral va variando de ángulo, produciéndose cada uno de estos cambios cada cierto número de anillos de crecimiento, lo que se traduce en un grano entrelazado.

En aquellos árboles que presentan una estructura celular ondulada, aparece grano ondulado y revirado, formando aquellas pequeñas ondas regulares y siendo este último irregular.

Las maderas de grano irregular pueden resultar difíciles de trabajar, ya que sus células cambian constantemente de dirección.

2.3.2 El vetado o dibujo

El vetado o dibujo es el conjunto de las diferentes características estructurales naturales de crecimiento de una especie de árbol que le dan apariencia decorativa y puede presentar la forma de círculos, elipses, ondulaciones o franjas. Varía según el plano de aserrado del tronco.

La diferencia en el crecimiento de las maderas primerizas y las tardías, la densidad de los anillos anulares de crecimiento, la disposición concéntrica o excéntrica de los anillos, la distribución del color, el efecto de las enfermedades o de los defectos físicos, así como el método utilizado en el aserrado de la madera, todo ello influye en el vetado.

Figura 2. Veteado de la madera



2.3.3 La Textura

La Textura es un término que hace referencia al tamaño y espaciado relativo de las células. Las maderas de textura fina tienen pequeñas células poco espaciadas, en tanto que las maderas de textura áspera tienen células relativamente grandes. El término Textura también se emplea para describir la distribución de las células en relación con los anillos anuales de crecimiento. Cuando la diferencia entre la madera temprana y la tardía no es grande, la madera presenta una textura lisa, en tanto que aquella madera que presenta grandes contrastes entre los diferentes anillos de crecimiento tiene una textura desigual.

2.4 Secado de la Madera

La madera verde, recién cortada de un rollizo contiene un alto porcentaje de humedad. Las paredes de las células están saturadas y liberan el agua que se halla retenida en las cavidades de las células.

El secado de la madera es aquel proceso por el cual se elimina el agua libre, y una

gran proporción de la humedad absorbida por las paredes de las células.

Conforme se seca la madera, el agua abandona las cavidades de las células, hasta que tan solo las paredes de las células contienen humedad. A esto se le conoce como punto de humedad límite de la madera y se registra en torno al 30% del contenido de humedad, siempre en función de las diferentes especies de árboles.

Cuando se comienza a perder esta humedad de las paredes de las células, es cuando comienza la contracción. La pérdida del agua se detiene al alcanzar el equilibrio con la humedad relativa del entorno. A esto se le denomina equilibrio higroscópico.

Es de vital importancia que este proceso de secado se realice correctamente con el objetivo de evitar la aparición de tensiones en el interior de la madera y asegurar que el equilibrio higroscópico se encuentre en el nivel apropiado para evitar los problemas de dilatación y de contracción.

2.4.1 Secado de la madera al aire libre

El sistema tradicional para el secado de la madera es el secado al aire libre. Se amontonan las tablas de manera uniforme sobre unos listones de separación o sobre “rastretes” de 25 mm de sección y con una separación de 450 mm.

Normalmente estas pilas se levantan muy separadas del suelo en un lugar resguardado y protegidas de la lluvia y de la luz del sol. El paso natural del aire a través de esta pila va secando la madera progresivamente.

Aproximadamente se puede decir que hay que contar un año, para el secado de 25 mm de grosor de maderas duras, y la mitad del tiempo para las maderas blandas.

El secado al aire solo puede reducir el contenido de humedad de la madera hasta el 14 o 16% en función del porcentaje de humedad relativa del entorno.

2.4.2 Secado artificial de la madera

Para uso en interiores la madera requiere además de un secado artificial, hasta

alcanzar un contenido de humedad de entre 8 y 10%, sino es que menos, dependiendo del porcentaje de humedad relativa del lugar de su ubicación final.

El secado artificial se utiliza comercialmente para reducir el contenido de humedad de la madera por debajo del nivel de secado al aire libre y se trata de un proceso que tan solo lleva unos días. Las piezas se cargan en unas carretillas preparadas con unos rastreles y se introducen en el horno o estufa, en el que se aplica una mezcla de agua caliente y vapor muy precisa a través de la madera apilada, reduciendo la humedad hasta alcanzar un nivel determinado, en función de las especies de madera que se trate.

La madera secada por debajo del nivel de secado al aire libre intentará, si se le deja expuesta, absorber humedad. Por lo tanto, en la medida que sea posible, hay que almacenar la madera secada artificialmente en el entorno en el que se vaya a utilizar.

El secado al horno no solo mejora la estabilidad de las dimensiones, la resistencia y el aspecto de la madera, sino que también reduce al mínimo la contracción del producto final, una vez puesto en uso.

Además, el secado al horno es un método aceptado para esterilizar la madera serrada y eliminar la transferencia indeseada de microorganismos.

2.4.3 Comprobación del contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera se expresa en función de un porcentaje de su peso secada al horno. Este se calcula comparando el peso original de un bloque de madera de muestra (preferiblemente del centro de la pieza más que de los extremos), con el peso de la muestra tras haber sido completamente secada al horno.

El peso en seco se resta del peso original de la muestra, y luego se emplea la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de contenido de humedad:

$$\frac{\text{Peso del agua perdida de la muestra}}{\text{Peso de la muestra tras el secado}} * 100$$

La medición del contenido de humedad mediante dos electrodos es un sistema sencillo y adecuado para verificar el contenido de humedad de una pieza de madera.

Este medidor mide la resistencia de la madera húmeda y da una lectura instantánea del porcentaje de humedad.

Para lograr mayor precisión en la determinación del contenido de humedad, se deben introducir los electrodos en diferentes puntos de la pieza de madera, para obtener un valor promedio, ya que no todas las partes de la pieza presentan igual índice de secado.

2.5 Estabilidad de la Madera

Cuando la madera se seca, se contrae, y el fruto de esta contracción puede cambiar o moverse, cambiando la forma de la pieza aserrada. Por lo general, la contracción que se produce a lo largo de la línea de los anillos de crecimiento es el doble que la que se presenta transversalmente.

Los tableros cortados tangencialmente se contraen más a lo ancho, en tanto que los cortados radialmente o al cuarto se contraen ligeramente a lo ancho, y muy poco en su grosor. Este movimiento de contracción puede provocar también algunas distorsiones.

Los anillos de crecimiento concéntricos de los tableros cortados tangencialmente presentan una longitud diferente. Los anillos exteriores, de mayor longitud, se contraen más que los interiores, lo que hace que estas piezas adquieran cierta tendencia a curvarse a lo ancho. Las piezas cuadradas se convertirán en paralelogramos, y las secciones circulares tenderán a volverse elípticas.

Los anillos de crecimiento de una pieza de madera cortada al cuarto discurren de cara a cara y dado que tienen prácticamente la misma longitud, sufren una distorsión mínima o nula. Esta estabilidad, junto con una superficie muy uniforme hace que este tipo de piezas de madera aserrada, sean las más aptas para la fabricación de muebles y pisos.

2.6 Inestabilidad de la Madera

La madera, como materia prima para la carpintería exterior y soporte de recubrimientos de acabado, es un material orgánico de estructura porosa – fibrilar no homogénea, más o menos dura, con aire y complejas mezclas de exudados y extractos en sus poros, y con una variable cantidad de agua en su estructura.

En el acabado de la madera, las propiedades físicas que interesan conocer son cinco:

1. Contenido de humedad
2. Hinchazón y merma
3. Porosidad
4. Exudados y Extractos
5. Colorido

Estas propiedades varían con la especie, y dentro de la misma especie con los individuos, y aún en el mismo individuo en las distintas zonas.

Esta variabilidad hace de la superficie de madera un soporte inestable, que es bueno conocer para poder aplicar las medidas necesarias para obtener los mejores resultados en la duración de los acabados.

La madera es un material higroscópico que absorbe y desprende agua en forma de vapor con mucha facilidad, debido al elevado contenido en celulosa y a la doble vía de acceso capilar y micelar.

2.6.1 Contenido de Humedad

Depende de las condiciones en que se encuentre, pudiendo llegar a tener más de un 100% cuando está recién cortada hasta menos de un 16% cuando se ha secado artificialmente.

La madera tiende a buscar su grado de humedad de equilibrio higroscópico, en armonía con la humedad relativa y temperatura del medio ambiente, siendo el contenido de agua de la madera dependiente de la humedad relativa del aire, por lo que sus fluctuaciones influyen en los cambios de su contenido de humedad.

Un alto contenido de humedad impide la reticulación de los polímeros y produce un secado defectuoso que provoca falta de adherencia. Para que se produzca una buena reticulación de los polímeros y un secado correcto, su contenido de humedad no debe superar el 20%.

Además un contenido de humedad en la madera por encima del 22%, permite el desarrollo de hongos del azulado y pudrición, que causan daños a los recubrimientos en la superficie de contacto (por el movimiento de expansión de los micelios del hongo, que provocan ampollas y desprendimientos).

Para prevenir estos daños conviene aplicar recubrimientos sobre la madera con un contenido de humedad inferior al 20%, con lo que además se evita la presencia de hongos del azulado o de pudrición.

En el caso en que el contenido de humedad supere el 22%, se recomienda aplicar fondos o recubrimientos impregnantes, que contengan materias activas fungicidas, para prevenir la posible invasión de hongos xylófagos.

Además de la influencia del agua estática (o fija) de la madera, el agua circulante afecta también a los recubrimientos.

La salida al exterior del agua circulante depende de la temperatura: el calor ambiente de las viviendas puede presionar su salida al exterior en forma de vapor.

Si los poros se cierran con un recubrimiento impermeable, se impide la salida al exterior y el vapor de agua se acumulará bajo la película del recubrimiento. En las superficies exteriores se condensa con el frío de la intemperie, empapa la madera, que aumenta su grado de humedad y provoca a hinchazones, mermas y aparición de hongos xylófagos.

Para corregir este fenómeno se recurre a aplicar recubrimientos orgánicos semipermeables a "poro abierto", que forman una película microporosa por donde puede salir al exterior el vapor de agua de la madera. Así mismo la entrada de

agua en la madera en forma de vapor queda impedida, ya que la película no le permite su entrada y la presión exterior es insuficiente para atravesarla.

2.6.2 La Hinchazón y la Merma

La Hinchazón y la merma de la madera se producen por los cambios del contenido de humedad (hinchamientos al absorber el agua y mermas o contracciones al exhalarla). Provoca variaciones dimensionales en las piezas, y también fuertes tensiones (que ya emplearon los egipcios para romper grandes rocas mediante grietas), cuarteamientos y roturas en los recubrimientos.

Estas variaciones dimensionales no tienen la misma magnitud en las tres direcciones de los ejes anisótropos del árbol.

La mayor variación se produce en dirección tangencial con diferencias dimensionales entre el 3,0% y el 4,5%.

En dirección radial la variación oscila entre un 1,5% y un 2,2% y en sentido longitudinal no se producen variaciones relevantes.

La primera medida para evitar los daños que produce el trabajo de la madera, es la de que los polímeros tengan una excelente flexibilidad y elasticidad para seguir sus movimientos y sean durables.

2.6.3 La Porosidad

La porosidad o volumen vacío de la madera, varía mucho con la especie, dentro del propio individuo e incluso dentro de la misma pieza (aunque el peso específico de una madera se fije para cada especie).

Antiguamente se apreciaba la calidad de una madera de construcción por su peso específico, hoy día se habla de "grano fino" o "grano basto" para referirse a la calidad de la madera por el tamaño de sus poros.

Los poros (sección transversal de los vasos y fibras de la madera) que, según el sentido del corte y dependiendo de la humedad, levantan el conocido "pincho", varían muchísimo de tamaño, forma y frecuencia en la superficie de corte.

Las coníferas son en general más porosas que las frondosas, con los poros más o menos uniformemente dispuestos, presentando en ocasiones zonas más absorbentes, en las que los lasures de colores producen concentraciones de pigmentos que intensifican el tono del colorido ("rechupados").

La porosidad en las maderas frondosas es por el contrario extremadamente variada, tanto por tamaño de poros como por su frecuencia, razón por la que la superficie requiere un cuidado especial.

Los relieves que forman los huecos de los poros y resaltes de los "pinchos", requieren una adecuada preparación de la superficie de la madera (lijados, refinados, imprimaciones y sellados, que la dejen pulida y sin "rechupados") para poder aplicar adecuadamente la última capa del acabado.

2.6.4 Los Exudados y Extractos

Los exudados y extractos de la madera son sustancias metabólicas complejas más o menos viscosas como resinas, taninos, aceites, ceras, antioxidantes y colorantes. Afloran en la superficie de forma irregular según las especies; las muy ricas son las llamadas maderas "grasas" mientras que las "secas" son las que contienen menos sustancias.

En general en las coníferas se encuentran preferentemente sustancias resinosas, mientras que las maderas tropicales y ciertas frondosas son más ricas en glucósidos, antioxidantes y materias sacarinas (taninos, clorofina, etc., además de contener otras sustancias extractivas como aceites, resinas, etc.).

La presencia de estas sustancias en la superficie de la madera, dificulta, retarda o impide la polimerización o secado de los recubrimientos.

Se pueden dividir en dos grandes grupos: las de tipo oleoso como resinas, aceites y ceras, y las de carácter acuoso como taninos, clorofina y otros glucósidos.

Estos compuestos orgánicos, conocidos impropriamente con el nombre genérico de "grasas", ocasionan daños, tanto en el momento de la aplicación del recubrimiento, por impedir su secado, como posteriormente en el acabado seco por subir ó "trepar" a través de la película del recubrimiento, con velados blanquecinos o con manchas negruzcas que estropeaban el acabado.

En maderas de iroko, bolondo, dussié, teca, castaño y roble, y ciertos pinos muy resinosos no es posible barnizar, lacar o lasurar con un acabado correcto, sin una previa limpieza de estas sustancias en la superficie.

Para prevenir la aparición de extractos conviene preparar la superficie adecuadamente limpiándola enérgicamente con un cepillo o trapo, aplicando un disolvente oleoso como el white spirit, para eliminar las sustancias grasas (aceites, resinas, etc.) y con un disolvente soluble en agua (metanol, "nitro o cetona) para suprimir las sustancias solubles en agua (taninos, clorofina, etc.). El disolvente universal, sirve en ambos casos.

Los nudos muy resinosos deben ser cubiertos con una película tapaporos impermeable de un tipo "nitro", que evite las continuas secreciones.

Como se ha dicho, algunas maderas con proporciones muy altas de taninos y ácidos tánicos (6% - 8% o más) producen manchas negruzcas, más o menos grandes, en la madera y en los recubrimientos, que desprecia el aspecto decorativo del acabado. Para evitar la presencia de estos glucósidos, se emplean pigmentos bloqueadores de taninos a base de polifosfatos o de otras sales inhibitoras (algunos recubrimientos los incluyen en sus formulaciones).

Recientemente ha salido al mercado un nuevo tipo de pigmentos activos para la inhibición de manchas de tanino y además tienen la cualidad de controlar el desarrollo de los hongos xylófagos con poder bloqueante sobre los taninos disueltos. Esto representa una novedad respecto a los actuales inhibidores ya que a la función de absorber y barrer los taninos añade una acción hidrolizante interactual química en las distintas especies de ácidos tánicos, los cuales forman compuestos químicos insolubles, inmovilizadores "in situ". Tienen un cambio de

color que va del típico negro a otro blanquecino o ligeramente coloreado, que evita o disimula las indeseables manchas negras.

2.6.5 El Colorido

El colorido de la madera es otra característica importante para el acabado, especialmente cuando el recubrimiento es transparente.

Los tonos de color varían bastante de una especie a otra, interesando conservar los de las maderas nobles como caoba, nogal, teca, palisandro, ébano, etc. Otras especies con coloridos menos decorativos como abetos, chopos, pinos, etc., se pueden mejorar modificando o aumentando el tono, tiñendo con colores de especies más vistosas, aumentando su tono original o aplicando tintes de colores vivos primarios o mezclados (rojo, azul, amarillo, etc.).

2.7 Tipos de Madera

Los tipos de maderas más comunes que se utilizan son los mostrados en la tabla No. 1. Entre ellas, las de mayor uso en México y sobre las que se elaboran productos comerciales para su protección son:

- Caoba.- Su color va del rojo oscuro, vino tinto y con tonos más claros según la variedad, hasta el rosado. Las caobas constituyen el mejor ejemplo de maderas finas, sumamente apreciadas en ebanistería por ser fáciles de trabajar, a la vez que resistentes a los parásitos. Es una madera que resiste bien la humedad y de alta densidad.

Figura 3. Tipos de Madera “Caoba”



- Cedro.- De color castaño oscuro y brillo dorado suave. Madera liviana a semipesada, fácil de trabajar, por lo que se pule bien, adquiere muy buen lustre y no tiene problemas de secado y estacionamiento. Tiene muchísimos usos debido a su nobleza.

Figura 4. Tipos de Madera “Cedro”



- Cerezo.- De color rosado a marrón blanquecino o marrón rojizo y duramen marrón rojizo a rojo oscuro, presentando vetas finas de color marrón. Madera de fibra recta y grano fino, ligera a medianamente nerviosa, blanda a semidura y medianamente durable. Se mecaniza bien. Se clava y atornilla sin problemas.

Figura 5. Tipos de Madera “Cerezo”



- Encino.- Madera de duramen y albura no diferenciados, de color pardo rojizo en cuyos despieces radiales se manifiestan los radios leñosos formando espejuelos de 1 a 3 mm de anchura y de 1 a 4 cm de longitud, característicos de esta especie. No deben por tanto considerarse defectos, sino una singularidad de esta madera.

Figura 6. Tipos de Madera "Encino"



- Fresno.- El fresno americano es similar en apariencia al fresno europeo. El albura es de color claro, casi blanco, y el duramen varía de café grisáceo a café claro, a amarillo pálido con nudos cafés. La madera generalmente muestra veta recta con una textura áspera uniforme. El grado y disponibilidad del albura ligeramente coloreada y de otras propiedades, variaran dependiendo de las regiones de crecimiento. La madera del fresno se somete a un buen maquinado y es buena también para clavar, atornillar y encolar, y puede ser entintada y pulida para obtener un buen acabado. Se seca con bastante facilidad con un mínimo de merma con muy poca fluctuación en el rendimiento final.

Figura 7. Tipos de Madera "Fresno"



- Nogal.- Albura de color blanco a marrón amarillento y duramen pardo rojizo a chocolate. Madera de fibra recta, semipesada (540 a 640 kg/m^3), semidura y poco nerviosa. Se mecaniza bien. Se utiliza en la elaboración de

tarima y por su elevado coste normalmente en la elaboración de fajeados perimetrales y grecas.

Figura 8. Tipos de Madera “Nogal”



- Pino blanco.- Es una madera blanda y liviana de color blanco amarillento. Usada en muebles y carpintería en general de amplias aplicaciones y muy difundida.

Figura 9. Tipos de Madera “Pino”

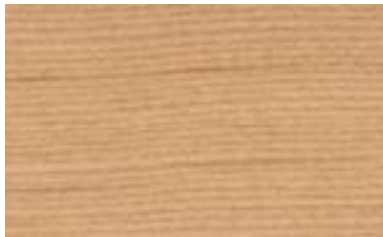


Tabla 1 Tipos de maderas más comúnmente utilizadas

TIPOS DE MADERAS		
Madera	Tipo	Poro
Alamo	Blanda	Cerrado
Abedul	Dura	Abierto
Aliso (Alder)	Dura	Cerrado
Arce (Maple)	Dura	Cerrado
Caoba (Mahogany)	Dura	Abierto
Cedro	Blanda	Cerrado
Cedro Rojo	Blanda	Cerrado
Cerezo (Cherry)	Dura	Cerrado
Ciprés	Blanda	Cerrado
Encino (Oak)	Dura	Abierto
Fresno	Dura	Abierto
Haya	Dura	Cerrado
Nogal (Walnut)	Dura	Abierto
Olmo	Dura	Abierto
Pino Blanco	Blanda	Cerrado
Pino Douglas Fir	Blanda	Cerrado
Pino Gigante	Blanda	Cerrado
Pino Ponderosa	Blanda	Cerrado
Roble Blanco	Dura	Abierto
Roble Negro	Dura	Abierto
Sequoia Roja	Blanda	Cerrado
Teca	Dura	Cerrado

2.8 Maderas en México

De las maderas más comúnmente utilizadas en México, su uso por región es el mostrado en la tabla No. 2

Tabla No. Porcentaje de uso de maderas en México

ZONA	TIPO DE MADERA	%USO
Sureste	Cedro	60%
	Caoba	20%
	Pino	20%
Norte	Pino	70%
	Caoba	10%
	Otros	20%
Occidente	Aglomerado (Caobilla)	80%
	Pino	10%
	Otros	10%
Centro	Pino	70%
	Varios	30%
D.F.	Pino	30%
	Caoba	30%
	Aglomerado	30%
	Varios	10%

2.9 Agentes de deterioro de la madera

Los agentes que más afectan a la madera son de dos tipos: los bióticos y los abióticos. Entre los bióticos se encuentran principalmente los insectos, los hongos, las bacterias y las plantas; entre los abióticos, el agua subterránea, la acción del sol y el efecto de la humedad (condiciones climáticas), entre otros.

2.9.1 Insectos

Debido a las condiciones climáticas de México, que por lo general son secas comparadas con los países del norte o del sur del planeta, los insectos xilófagos son la primera causa de deterioro de la madera. Según sus necesidades de humedad se pueden dividir en: insectos de madera húmeda e insectos de madera seca. Los primeros deterioran especialmente arboles en pie o madera recién

cortada del árbol; los segundos deterioran madera con un determinado contenido de humedad, desde medio húmeda (como postes o cercas), hasta muy seca (como techos y muebles).

A su vez los insectos de madera seca pueden ser clasificados como insectos xilófagos en su fase larvaria e insectos adultos sociales. Los representantes xilófagos de los primeros son los escarabajos (coleopteros) y de los segundos, las termitas (isopteros).

2.9.2 Hongos

Los hongos constituyen un reino independiente llamado Fungi o Myceteae, anteriormente se les consideraba como un grupo integrante de las plantas, sin embargo sus características nutricionales y la ausencia de clorofila los hace diferentes al resto de los seres vivos.

Los hongos no producen clorofila por lo que son incapaces de elaborar su propio alimento a partir de la luz solar, se ven obligados a depender de otros organismos vivos o muertos; para llevar a cabo esta función actúan como saprofitos (material orgánico muerto como madera) o parásitos (organismos vivos). Los que afectan a la madera en edificios, son saprofitos.

Los hongos actúan cuando la madera se encuentra expuesta a altos contenidos de humedad; por ejemplo madera en contacto con el suelo (como postes, durmientes y columnas) o cuando las condiciones permiten en el tiempo de lluvias la humidificación excesiva como en cabezas de vigas, zapatas y arrastres.

Una madera será más sensible a la acción de los hongos cuanto mayor sea su grado de humedad. Diversos estudios han demostrado que la madera con un 20% de humedad está expuesta al ataque de hongos, y con un 30% de humedad, estos se encuentran en un ambiente óptimo donde desarrollarse. Los almidones y azúcares, así como algunos de los elementos de las paredes celulares, constituyen su principal fuente de nutrientes.

Los hongos pueden desarrollarse en la superficie o en aberturas tales como grietas sobre maderas en condiciones de conservación muy desfavorables: humedad relativa muy alta, mala ventilación, contacto directo con la tierra, etc.

De acuerdo con el lugar de la célula de la madera donde se alimentan, algunos autores los clasifican en: mohos, hongos cromógenos y hongos de pudrición.

Son incapaces de alimentarse de los principales componentes de la pared celular (celulosa y lignina), por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera. Debido a su crecimiento superficial son fáciles de eliminar con un trapo o mediante medios mecánicos. Aunque no resultan peligrosos por su mínima acción degradadora, crean las condiciones para el desarrollo de los hongos de pudrición. Los mohos no afectan considerablemente las propiedades fisicomecánicas ni pudren a la madera. La temperatura óptima de desarrollo de los mohos se encuentra entre 24 y 28° C, con posibles variaciones. El contenido de humedad oscila entre el 30 y el 150%.

Los hongos del azulado producen manchas de color azul verdoso en la albura de la madera en rollo o madera aserrada húmedo, color que se acentúa a mayor presencia del hongo. Es muy característica de maderas de coníferas, especialmente en pinos, pero también se puede presentar en madera de latifoliadas como en quiringuca (*Andira inermis*) o en madera de árboles frutales como el mango (*Mangifera indica*). Los hongos del azulado pueden sobrevivir a humedades entre el 18% y el 140% y a temperaturas entre 5 y 35 °C. Dado que el límite máximo de humedad, 140%, coincide prácticamente con el presentado por la madera de albura de conífera recién apeada, la acción negativa de estos hongos se puede iniciar inmediatamente tras la corta del árbol. Otro tanto pasa con el límite inferior del 18 al 20%, por lo que ya en el proceso de secado de la madera al aire, se puede iniciar este tipo de daños. Otro peligro potencial es el derivado del hecho de que estos hongos puedan vivir durante largos periodos de tiempo en estado latente, cuando las condiciones del medio no son adecuadas, volviendo a desarrollarse al retornar de nuevo aquellas.

2.9.3 Hongos de pudrición

2.9.3.1 Pudrición parda o cúbica

Es la más grave y peligrosa, por lo que también se le llama pudrición destructiva. Son hongos basidiomicetos que afectan a la celulosa y dejan a la lignina sin daño. Crecen principalmente en la pared celular pero también pueden estar en el lumen. La madera dañada es de color marrón oscuro y se agrieta perpendicular y transversalmente, formando estructuras paralelepípedicas, prismáticas o laminares.

2.9.3.2 Pudrición blanca

Afecta más a las latifoliadas que a las coníferas, debido a que presentan mayor cantidad de lignina. Se produce por hongos basidiomicetos y a veces ascomicetos, que se alimentan de los carbohidratos y preferentemente de la lignina de la pared celular, aunque también pueden dañar a la celulosa como los denominados hongos simultáneos (parientes de los hongos de pudrición blanca).

La madera es de color blanquecino con un aspecto fibroso o incluso harinoso. Se le denomina también pudrición fibrosa, pudrición corrosiva o pudrición deslignificante.

El daño en la madera inicia en el lumen y termina en la lámina media. La resistencia de la madera disminuye considerablemente cuando es afectada por este tipo de hongo.

2.9.3.3 Pudrición blanda

Producida por hongos ascomicetes y deuteromicetes (hongos imperfectos), cuyas hifas se desarrollan no solo en el lumen sino también en el interior de la pared celular secundaria, realizando su daño (cavidades). Se alimentan principalmente de la celulosa. Es muy parecida a la pudrición parda y se diferencia de esta

porque la madera se siente al tacto muy blanda o esponjosa, y cuando se seca se resquebraja formando cubos pequeños. Se produce cuando existe alta humedad, tanto en el ambiente como en la madera y en las zonas muy húmedas en contacto con el muro o la pared.

2.9.4 Condiciones climáticas

La radiación solar actúa sobre todo a través de los rayos ultravioletas e infrarrojos. Los rayos ultravioletas degradan progresivamente las resinas del producto de acabado, sobre todo aquellas que no están protegidas por los pigmentos. Los rayos infrarrojos tienen sobre todo una acción indirecta al producir un recalentamiento de la superficie de madera.

2.9.4.1 Rayos ultravioletas

La experiencia demuestra la importante acción de los rayos ultravioletas. Los comprendidos entre los 300 y 400 nm, es decir los más cercanos a los rayos visibles, son los más agresivos. No penetran profundamente en la madera, su acción se centra en la superficie y la degradación que producen es lenta. Degradan la celulosa a través de un proceso combinado:

- Degradación directa por la fotólisis en la zona de 300-340 nm y
- Degradación indirecta producida en la lignina, que juega el papel de foto sensibilizador en la zona visible de 340-400 nm.

El resultado final de la degradación se puede comprobar midiendo la resistencia a tracción de finas láminas de la madera expuesta. La resistencia disminuye en función de la exposición y esta disminución es relativamente mayor con longitudes de onda corta 300-340. Los valores de la resistencia a tracción permiten descubrir su efecto más rápidamente que utilizando un scanner. Se han observado varios fenómenos característicos de esta degradación:

- Pérdida de sustancias en la pared media de las células y formación de canales sobre la pared de las células.

- Microfisuras sobre las paredes de las fibras o de las traqueidas. En el pino estas fisuras aparecen principalmente sobre las traqueidas correspondientes a la madera de primavera y en la cara radial. Las fisuras empiezan en las punteadas areoladas que se encuentran más a menudo en la cara radial de las traqueidas
- Formación de cavidades adyacentes a los radios medulares.

Se pueden extraer dos conclusiones prácticas sobre la acción de los rayos UV sobre la madera:

1. No se puede dejar la madera expuesta al sol sin protegerla previamente. La duración de un barniz disminuye en gran medida al dejar, aunque sea solamente una semana, el soporte al sol previamente tratado.
2. Los productos totalmente transparentes (barnices) deben evitarse porque permiten a los rayos ultravioletas alcanzar la madera a su vez que se degrada por la acción de dichos rayos.

2.9.4.2 Rayos infrarrojos

Los rayos infrarrojos causan calentamiento en la zona donde inciden y ocasionan grietas en la superficie (aun en maderas con protección superficial) originadas por la diferencia de humedad entre la superficie y el interior. Inicialmente se origina una decoloración superficial grisácea y con posterioridad una desfibración superficial que con la colaboración del agua de lluvia y del viento puede llegar a ocasionar desigualdades superficiales de cierta importancia, produciendo la denominada meteorización de la madera. Durante el proceso de fotodegradación se forman radicales libres en la madera, que al reaccionar con el oxígeno atmosférico, dan lugar a radicales peróxido, inestables fotoquímicamente y termalmente, originándose grupos cromógenos carbonilo y carboxilo que conducen a la citada coloración superficial.

2.9.4.3 Efecto de la humedad

Es quizá el factor más importante y en el cual se debe pensar primero al momento de iniciar un diagnóstico o evaluación de la madera. Las condiciones de humedad óptimas de una pieza de madera son aquellas en las que esta se encuentra en equilibrio con su medio ambiente inmediato. Este medio ambiente está dado por varios factores, entre los más importantes están la humedad relativa del aire y la temperatura. Normalmente el contenido de humedad en equilibrio oscila entre el 10 y el 15% de humedad en el interior de la madera.

A mayor humedad en la madera, mayor susceptibilidad de deterioro

El exceso de humedad lo puede ocasionar la acumulación de agua de lluvia, los defectos en los techos y cubiertas (como grietas, tuberías en mal estado o tapadas), contacto de la madera con los muros de otro material como adobe, cantera o piedra, falta de ventilación, condensación en zonas poco ventiladas y contacto con materiales metálicos.

2.9.5 Fuego

La madera, al estar formada por carbono, es un material combustible y susceptible de ser degradada por el fuego. La degradación se produce mediante reacciones químicas (combustión) que disminuyen paulatinamente su sección resistente y pueden provocar su total destrucción, en función de la duración de su exposición al fuego. La combustión de la madera se produce al combinarse, mediante la acción del calor, sus principales componentes, el carbono y el hidrógeno, con el oxígeno para producir, respectivamente, anhídrido carbónico y agua.

Muchos de los materiales que se emplean normalmente en la construcción no son combustibles (no aportan alimento al desarrollo del incendio), sin embargo, ninguno es a prueba de fuego. Las estructuras metálicas se dilatan y retuercen rápidamente en un incendio, produciendo el colapso del edificio al perder su resistencia. El hormigón armado se resquebraja con el calor y más aún cuando se enfría rápidamente al ser mojado por el agua de las mangueras de los extintores.

A pesar de que la madera sea un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es más seguro de lo que la gente cree:

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior.
- La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor
- Y al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma.

La acción del fuego sobre la madera se evalúa con dos conceptos básicos que hacen referencia a los materiales individuales (reacción al fuego) y a los elementos estructurales (resistencia al fuego).

- La Reacción al fuego es el alimento que un material puede aportar al fuego y al desarrollo del incendio. Es un índice de la capacidad del material para favorecer el desarrollo del incendio. En definitiva evalúa cómo se comporta un material frente al fuego para determinar si el material es combustible o incombustible.

- La Resistencia al fuego de un elemento constructivo es el tiempo durante el cuál es capaz de cumplir la función para la cual ha sido colocado en el edificio. En función de las propiedades que satisfaga el elemento se clasificara como estable al fuego (EF), parallamas (PF) o resistente al fuego (RF).

Todo ello indica, que no debe rechazarse apriori la madera como material constructivo, por razones de su comportamiento al fuego al compararla con otros materiales, ya que correctamente utilizada puede ofrecer condiciones adecuadas de seguridad, dentro de las consideraciones de tipo económico que rigen en una construcción.

Capítulo 3. Generalidades de los barnices

El uso de compuestos a base de madera en aplicaciones estructurales a menudo está limitado debido a su sensibilidad a niveles excesivos de humedad y la pudrición. Las condiciones ambientales que existen en determinadas categorías de uso pueden ser tan adversas que el rendimiento de estos materiales compuestos se ve afectado negativamente

La conservación de la madera debe entenderse como la aplicación a bienes muebles o a la madera instalada de sustancias químicas por diversos métodos, con el fin de disminuir el efecto de los agentes de deterioro. En la conservación de la madera no se puede garantizar una penetración total de la sustancia ni el porcentaje de protección de la misma, tampoco un tiempo de duración de la sustancia en la madera. Normalmente la permanencia de la sustancia en la madera es de uno a tres años, por lo que deben repetirse las aplicaciones.

La preservación de la madera consiste en aplicar mediante ciertos métodos sustancias a la madera antes de instalarse. Si se hace correctamente, se puede alargar el tiempo de vida útil de la madera.

Existen diversos tipos de tratamientos de la madera que se pueden clasificar en función del tipo de protección que se pretende dar. Los tratamientos en profundidad requieren la utilización de autoclaves de media o alta presión mediante los cuales se logra introducir el producto químico activo en el interior de los productos de madera (por ejemplo vigas, tablillas para suelos, etc.) Este tipo de tratamiento requiere una inversión importante en equipamiento y no se puede aplicar sobre la madera puesta en obra. La alternativa viene de los recubrimientos de aplicación en líquido. De forma resumida, el recubrimiento superficial ideal para la madera debe cumplir los siguientes requisitos:

- a. Hidrofóbico,
- b. Permeable al vapor de agua,
- c. Resistente a la radiación ultravioleta y
- d. Excelentes propiedades de adhesión y cohesión.

Es en este marco tecnológico en el que surge el desarrollo de recubrimientos hidrófobos basados en tecnología sol-gel como una oportunidad para producir recubrimientos competitivos.

Actualmente, en el mercado se dispone de tratamientos que puedan proteger la madera y que tienen un mínimo impacto medio ambiental. Entre los recubrimientos más utilizados están los basados en resinas acrílicas acuosas, poliuretanos y alquídicas. Las resinas acrílicas confieren una superficie más durable para exterior a un menor precio. Las resinas siliconadas y fluoradas son avances muy recientes con interesantes propiedades. Las resinas de silicona presentan una elevada resistencia a las condiciones de exterior debido a su hidrofobicidad, no amarillean y no blanquean, comparativamente resisten mejor el calor y la radiación ultravioleta aunque tienen una pobre permeabilidad al vapor de agua. Por su parte, las fluoradas tienen una buena resistencia a la intemperie y buen envejecimiento pero son caras y tóxicas para el medio ambiente.

3.1 Barniz

Como ocurre en el recubrimiento de metales también el recubrimiento de las maderas requiere un sistema de barnices o pinturas, cada uno de los cuales tiene una misión determinada.

El barnizado es una operación de acabado de superficies mediante un material que forme una película continua (poro cerrado) o discontinua (poro abierto) de protección, merced a una composición fluida de elementos sólidos (muy divididos), que al ser aplicada en capas finísimas se seca por evaporación, oxidación u otra reacción química.

Un barniz es un producto compuesto de aglutinantes, disolventes y diluyentes, sin pigmentos, que al ser aplicado origina una película insoluble en agua, adherente y dura, generalmente lisa y brillante, con propiedades protectoras, decorativas o técnicas particulares. Son transparentes, por lo que el veteado de la madera no

queda oculto.

El aglutinante es la parte principal del barniz, siendo el elemento que queda sobre la madera cuando seca y se endurece la película. En general, está constituido por aceites (ricino, lino, etc.), resinas sintéticas (vinílicas, etc.) o esterres (nitrocelulosa, etc.).

El disolvente es un líquido volátil que sirve para dispersar el aglutinante. El diluyente es también volátil y su misión es mejorar las características de aplicación.

Estas partes volátiles que se evaporan tras el extendido, sirven para disminuir la viscosidad y son acetonas, alcoholes (etílico, metílico), hidrocarburos (benceno, tolueno) y el aguarrás.

3.2 Tipos de Barnices disponibles en el Mercado

- Barnices celulósicos. En el primer tercio del siglo pasado se descubrió la celulosa mediante el ataque a la pared celular de las plantas arbóreas, con ácido nítrico y álcalis: el residuo fibroso estable que quedaba, tenía las mismas cualidades, independientemente de la procedencia. También se apreció que existía una relación celulosa-glucosa pues la hidrólisis ácida de la celulosa originaba glucosa. No se disuelve en el agua ni en los disolventes corrientes, sino con ácidos y álcalis, dando unos derivados que tienen aplicaciones como aditivos en pinturas, adhesivos y emulsiones, son: el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa y otros.

En general, los materiales filmógenos derivados de la celulosa son solubles en disolventes orgánicos, dando soluciones de viscosidad bastante altas, compatibles con otros filmógenos, plastificantes y resinas; se aplican sin

dificultad y debido a su baja tensión superficial, humectan muy bien la madera, siendo su secado rápido por evaporación de los disolventes dejando una película termoplástica. De todos sus derivados, el más importante, con mucho, es la nitrocelulosa (nitrato de celulosa). Se obtiene

mediante una mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico, actuando sobre celulosa procedente de madera o algodón.

Entre los barnices celulósicos, destacamos los siguientes:

- Nitrocelulósicos: El aglutinante, que es la nitrocelulosa, va mezclado de 2 a 4 partes por 1, con resinas naturales (sandárac, goma-laca, colofonia, etc.) y artificiales o sintéticas (vinílicas, acrílicas, urea-formol, fenólicas, etc.).

Las formas de aplicación más comunes son: teñido (nogalina con o sin anilinas); impresión (barniz de impresión); tapaporos; sellador (en acabados nitrocelulósicos someros); barnizado; secado; acabado (igualado, raspado, lijado); pulido.

Debido a sus buenas cualidades, la nitrocelulosa es el polímero aditivo por excelencia: mejora las propiedades de aplicación en los sistemas urea-melamina y poliuretano, ofrece una mayor resistencia a la película seca en los barnices de muñeca y mejora el extendido, con superficies mate igualadas en los barnices de poliéster no saturados.

- Acetato de celulosa (poco empleo)
 - Etilcelulosa (aplicación como sellador).
-
- Barniz hechos a base de resina alquidíca: La resina alquidíca mas utilizada es la resina gliceroftalica. En líneas generales se puede decir que es una resina resultante de una condensación del glicerol y de ácidos. La resina
 - obtenida al mezclarse con los aceites secantes se endurece al contacto con el aire debido a la polimerización de los aceites secantes sobre los ácidos grasos no saturados. Una resina gloceroftalica larga en aceites tiene siempre un tiempo de secado relativamente más largo, aunque el tiempo de secado depende de la reactividad de los aceites secantes o del grado de

polimerización obtenido en la fabricación. Además si el grado de polimerización es elevado:

- La viscosidad es elevada.
- O inversamente, para una viscosidad determinada, además el extracto seco del producto es pequeño.

Se puede igualmente añadir a la resina alquídica otra resina para aumentar la velocidad de secado.

Las alquídicas son adecuadas para la protección al exterior de todos los soportes de madera excepto los que presentan reacciones alcalinas, en particular los tableros contrachapados y los tableros de partículas encolados con colas fenólicas que utilizan una cola con un fuerte contenido en sosa. La sosa ataca rápidamente a los aceites secantes (saponificación) y se observa un enblanquecimiento superficial que después se convierte en polvo.

- Barniz al Agua Brillante: Si necesita proteger la madera y a la vez lograr finas terminaciones con un brillo destacado, con una alta resistencia y sin olor.
- Barniz Sintético Mate: Aplicado a la madera, este producto concilia una buena protección destacando el fino acabado en mate, que realza la veta de la madera. Ofrece buena resistencia al uso cotidiano y un rápido secado. Se recomienda en algunas marcas diluir un poco el producto.
- Barniz cristal Poliuretánico: También llamados de isocianato, es el que mejor resuelve el problema de secado-curado rápido, de tanta importancia en las producciones de grandes series en cadena. Según el número de componentes hay que mezclar antes de su aplicación, se distinguen tres clases de barnices de poliuretano y que, en razón de su importancia, son: barnices de dos componentes, de uno y de tres. Dentro de los barnices de dos componentes (poliéster mas poliisocianato), tenemos en el mercado las imprimaciones, las capas de fondo (que hacen las veces de tapa-poros-

sellador) y los barnices de acabado. En los barnices de un componente (poliisocianato), hay dos tipos: los que realizan su curado con el concurso de la humedad ambiente y los que lo hacen en la misma forma que un aceite secante. Los barnices de poliuretano de tres componentes están compuestos de una resina de poliéster no saturado a la que se agrega el isocianato y finalmente el catalizador de tipo peróxido. Son especiales para contrarrestar los efectos del clima, que producen cuarteaduras, deterioros, desluciendo la madera. Indicado en climas adversos. Los derivados poliuretánicos le brindan mayor dureza, lo que le ofrece una excepcional resistencia a la intemperie.

- Barniz Sintético Brillante o Satinado: Ideal para buscar acabados decorativos en madera, de buena resistencia. Se caracteriza por una delicada terminación, ofreciendo una elevada duración a la intemperie. Utilizado en interiores como en exteriores.
- Barniz a base de resinas vinílicas: Los productos en dispersión acuosa se han comenzado a aplicar hace relativamente pocos años, por su ventaja de no emplear solventes orgánicos y por la facilidad de limpieza de los utensilios que se emplean. Su aplicación está más extendida en usos interiores, no alcanzando las características de las otras resinas utilizadas para exteriores.
- Barniz Marino con filtro UV: Superficies de madera muy expuestas a la acción del agua, en climas muy húmedos o en contacto con ella, este barniz está formulado con inhibidores de rayos Ultra-Violetas, es ideal para una mayor protección. Ideal para embarcaciones por su excelente comportamiento en climas marinos- revestimientos de puertas y ventanas interiores y exteriores, proporcionando un recubrimiento transparente e inalterable.

3.3 Recomendaciones para la Aplicación de Barnices

Las recomendaciones que se dan a continuación son un conjunto de normas que, aunque con carácter general se cumplen, deben entenderse tan sólo como

consejos que ayudarán a obtener un buen resultado final; pero éste último puede variar por diversas circunstancias concretas de cada situación (p. e. época del año, proximidad a zonas húmedas, etc.), que también se deberán tener en cuenta en cada caso particular.

3.3.1 Recomendaciones referidas al producto

Todo producto nuevo requiere un ensayo sobre el objeto a barnizar, con las indicaciones de la ficha técnica del fabricante, teniendo en cuenta los posibles cambios de equipo de barnizado, temperatura, humedad, etc.

La viscosidad del barniz se debe ajustar a las normas dadas por el fabricante, y adaptará al equipo de aplicación a emplear: Alta para trabajos a mano; baja para trabajos a pistola, y media para trabajos a cortina.

La viscosidad se define en función de dos criterios:

1. El método de aplicación. Los diferentes procedimientos de aplicación, sobre todo la pulverización, definen la viscosidad de empleo.
2. Penetración del producto aplicado en la madera. Para conseguir una buena penetración la capa de impregnación debe tener muy poca viscosidad. El extracto seco de un producto es función de su viscosidad, una disminución de la viscosidad implica una disminución del extracto seco. Por lo tanto la viscosidad de un producto de impregnación es una relación entre su penetración y el extracto seco. No sirve de nada emplear un producto con una viscosidad muy pequeña, que penetra muy bien en la madera, si no posee materias secas.

Los factores que influyen en la constancia de la viscosidad son:

- La temperatura. Con un aumento de la temperatura la viscosidad disminuye. No se puede realizar un buen trabajo de aplicación que no garantice una constancia en la temperatura del producto.

- Evaporación de los disolventes. En algunos métodos de aplicación, como por ejemplo la inmersión, se produce una evaporación del disolvente y si no se ha previsto un sistema de control o de regulación la viscosidad puede aumentar progresivamente.

Se debe mantener constante la viscosidad del barniz durante el proceso de barnizado. Esto se logra con pequeñas adiciones de un disolvente apropiado, contrarrestando así el espesamiento progresivo del producto.

El disolvente que se añada al barniz deberá ser únicamente el necesario para una correcta aplicación. Del equipo que se utilice, paso de boquilla y producto a aplicar, dependerá la proporción de disolvente a añadir. Una norma general, para saber la cantidad de disolvente necesaria, será que el material estireperfectamente y no manifieste defectos superficiales (piel de naranja).

3.3.2 Recomendaciones respecto de los útiles

Se deben mantener las máquinas y utensilios lo más limpios posible, ya que al tratarse de productos químicos, cualquier resto en un recipiente altera el producto a utilizar y hace muy variables sus cualidades y reacciones.

Cuando se utilice una brocha nueva, antes habrá que ponerla en funcionamiento con disolvente, sobre una superficie distinta a la de aplicación.

Se deben usar brochas blandas, de cerdas partidas.

Las brochas, una vez limpias, deben guardarse en una mezcla de aceite de linaza y disolvente, o en aguarrás.

El aire comprimido siempre ha de estar limpio, sin gotas de agua, ni grasa, que dificultan un buen acabado.

La distancia de aplicación debe ser de 20/25 cm, y el ángulo de aplicación 90°.

La presión del manómetro general del compresor debe oscilar entre 4 y 10 atmósferas, dependiendo del número de equipos de aplicación que alimente.

La presión que llegue a la pistola debe ser de 2.5 a 3 atmósferas, si es aerográfica, y de 1 a 2 atmósferas, si es equipo de presión.

El barniz en los tanques de inmersión debe agitarse lenta y constantemente, o estar sometido a circulación automática.

Se deben mantener cerrados los tanques de inmersión cuando no estén en servicio, procurando que el contacto de la superficie del barniz con el aire sea la menor posible.

3.3.3 Recomendaciones sobre el local de trabajo

No almacenar productos, ni materiales diversos, en el local de trabajo (sólo los imprescindibles en uso).

Evitar toda corriente de aire durante el proceso de aplicación.

La humedad relativa del ambiente debe estar comprendida entre 40% y el 75%.

La temperatura ambiente ideal debe estar entre 18° y 24°C.

El ambiente debe estar exento de polvo.

Se debe mantener un adecuado sistema de extracción en el taller, así como una limpieza frecuente.

3.3.4 Recomendaciones para la madera a barnizar

La correcta preparación de la madera es lo mas importante en un buen trabajo de laqueado o barnizado. Con frecuencia ocurre que un sellador o laca de la mejor calidad no ofrece los resultados esperados debido a la inadecuada preparación de la madera.

El objetivo principal en la preparación de la madera es eliminar impurezas e imperfecciones de la superficie, que pueden afectar el desempeño y durabilidad de las pinturas y recubrimientos o el acabado que se requiera.

El desempeño de los recubrimientos depende principalmente de la preparación que tenga la superficie inmediatamente antes de su aplicación. En las diferentes etapas de fabricación de artículos de madera, las superficies por recubrir adquieren sustancias contaminantes como son: grasas, aceites, polvos y algunos otros contaminantes, los cuales debilitan la adherencia y reducen la vida útil del sistema de acabado.

El grado de preparación de la madera está en función del tipo de sistema seleccionado para el acabado, de las condiciones originales de la superficie y de los costos involucrados.

Las piezas a barnizar deben estar bien lijadas, calibradas y con una correcta eliminación de polvo, para el trabajo en cadena o continuo.

El sistema de barnizado debe ser el idóneo al tipo de soporte. Antes de empezar un nuevo trabajo, con distintas maderas, es conveniente la consulta al fabricante del recubrimiento.

La pieza a barnizar debe estar siempre exenta de grasa y suciedad.

Se debe iniciar siempre el barnizado por la parte menos importante del mueble (laterales, traseros, partes internas, etc.), para luego pasar a las caras externas o frontales (caras vistas).

La humedad relativa de la madera debe estar comprendida entre el 8% y el 14%. Este valor es importante tenerlo en cuenta, sobre todo, para aplicación electrostática.

3.3.5 Recomendaciones para la aplicación

Antes de su utilización es conveniente agitar bien cualquier producto. Se debe procurar que los envases estén herméticamente cerrados cuando no se estén usando, y abrirlos solamente el tiempo imprescindible para el vertido del producto en el recipiente de aplicación.

No se deben conservar durante mucho tiempo envases semillenos de producto, pues la cámara de aire puede llegar a variar sus características (por ejemplo Los catalizadores se gelifican; en los barnices sintéticos se forman "pieles"). Antes de que esto ocurra se debe trasvasar el líquido sobrante a recipientes de menor capacidad, para que no queden cámaras de aire.

Al inicio de un trabajo en serie, es prudente hacer pasar una sola pieza y tenerla en observación fuera de la línea para ver si se detecta algún defecto en el proceso, antes de poner la línea en funcionamiento.

Es recomendable siempre aplicar manos cruzadas de barniz sobre la pieza; teniendo en cuenta que se considera una pasada del material cuando se aplica una mano a lo largo y otra a lo ancho.

Siempre debe realizarse un buen lijado de cada capa de fondo, con lija de grano fino, y un total desempolvado.

Se pueden aplicar varias manos de fondo superpuestas, pero en todos los casos se debe lijar entre las mismas. Si se da una segunda mano de fondo sin lijar la anterior, es necesario que la primera esté todavía mordiente, de lo contrario es preciso lijarla antes de aplicar la segunda, para evitar posibles problemas de falta de adherencia.

Aplicar siempre los recubrimientos fluidos y en películas delgadas, para potenciar su buen estirado, dejándolos secar convenientemente.

En la aplicación de tintes a pistola, y según el tipo de madera, es necesario en ocasiones aplicar una mano en cada una de las cuatro direcciones de la pieza.

No se deben aplicar cantidades excesivas de barniz de una sola vez; especialmente en superficies para evitar descuelgues y goteos.

No es recomendable aplicar más de una mano de acabado. En primer lugar, porque el poro debe ser rellenado por el fondo y, en segundo lugar, porque el acabado, al tener la superficie más tersa, no repintará adecuadamente.

Un acabado brillante resalta los defectos de la superficie barnizada; por el contrario, un acabado mate los disimula.

Cuando se utilicen tanques de inmersión, la velocidad de extracción de las piezas debe ser muy lenta; tanto más cuanto mayor sea la velocidad de secado del recubrimiento.

3.3.6 Recomendaciones para el secado de las piezas

El tiempo de secado es muy importante pues varía entre los diferentes productos tanto en un cambio de producto, como en uno de otra línea o de otra marca. La importancia radica en los tiempos de almacenaje del producto terminado para que puedan ser transportados y entregados con el cliente sin falla en la película aplicada.

La zona de secado debe estar perfectamente limpia, totalmente exenta de polvo y bien ventilada (sin corrientes de aire).

El secado de las piezas se debe hacer a la temperatura ambiente adecuada (18 a 20°C), evitando tanto focos de calor directos, como zonas frías en las zonas de secado.

3.4 Métodos de Aplicación de Recubrimientos

Dentro de los métodos de aplicación de barnices existen varios, algunos de los

más frecuentes utilizados para acabados de madera son:

3.4.1 Atomización de Recubrimientos

El principio de estos métodos es el de crear una lluvia atomizada de partículas de recubrimiento finamente dispersado, las cuales se depositan sobre el objeto siguiendo un patrón uniforme, formando una película continua.

Dentro de este método se derivan otros, de los cuales los más utilizados en madera son los siguientes:

- Atomización con aire convencional. Este método exige un volumen considerable de aire comprimido y una pistola de aspersion, donde se mezclan el aire y el recubrimiento líquido, el cual sale finamente dividido en forma de niebla. El chorro de líquido atomizado suele tener forma de abanico, pero puede dársele forma de cono si así conviene.
- Atomización sin aire o hidráulica. Este método se apoya en la presión hidráulica para producir la pulverización y proyección del material líquido, sin utilizar o utilizando aire comprimido. Es el método más rápido de aplicar recubrimientos sobre todo tipo de superficies.
- Atomización electrostática. Este método se basa en la utilización del efecto de las fuerzas electrostáticas de un campo magnético eléctrico, de alto potencial para mejorar la atomización del recubrimiento líquido y conseguir una mejor fijación por atracción de la superficie. La dispersión de las partículas puede realizarse por la acción exclusiva de la repulsión entre ellas por cargas del mismo signo o por fuerzas electrostáticas o bien por un sistema mixto electrostático-neumático, que consiste en una versión de pistola aerostática y electrostática combinada. Este sistema es el más utilizado en la aplicación de recubrimientos sobre madera.

3.4.2 Cortina

Este método consiste en depositar el recubrimiento líquido mediante una cortina

que cae desde uno o varios cabezales rociadores sobre la superficie de un artículo. Este método cuenta con gran aceptación de la industria del marco de la madera, ya que es idóneo aplicar sobre las molduras por su geometría. También es útil en el recubrimiento de persianas de madera, las cuales son casi planas y de forma alargada.

3.4.3 Inmersión Convencional

Este método consiste en sumergir un artículo en un recubrimiento líquido contenido en un recipiente, por unos instantes, extraerlo y después dejarlo escurrir suspendido hasta el secado final. Los recubrimientos aplicados por este método no tienen un espesor uniforme, aunque puede mejorarse, retirando los objetos sumergidos en el recipiente con mucha lentitud, para permitir un flujo uniforme, mientras el recubrimiento todavía esta húmedo.

3.5 Precauciones para el uso de Barnices

Como cualquier proceso en que se manipulen productos químicos, hay que tener una serie de precauciones al manejar barnices y disolventes. Algunas recomendaciones son:

- a) Los componentes de los barnices y disolventes son inflamables, por lo que hay que extremar las precauciones, y alejar estos productos de cualquier fuente de ignición o chispazos.
- b) No fumar en locales donde haya barnices y/o disolventes.
- c) Instalar en los locales de aplicación y almacenaje cuantas medidas de seguridad contra incendios se consideren oportunas.
- d) En épocas de altas temperaturas, refrescar periódicamente las zonas de almacenaje.
- e) Al manipular los productos cuidar de que no salpiquen a los ojos. Si así ocurriera, lavar inmediatamente con agua abundante.

- f) Cuando la aplicación se realice por procedimientos de pulverización, es conveniente la utilización de mascarillas o equipos de protección respiratoria.

Capítulo 4. Fundamentos teóricos sobre el proceso sol-gel

Sin entrar en descripción o definición fenomenológica alguna, un gel es un medio bifásico compuesto de un sólido y un fluido. La fase sólida la componen entidades cuyo tamaño está comprendido entre 1 y 100 nm.

En un sentido estricto, el procesado sol-gel es la síntesis de una red de óxido mediante polimerización inorgánica de precursores moleculares en solución. Este término se extiende con frecuencia a la preparación de óxidos inorgánicos por “química húmeda”. Los precursores normalmente utilizados son soles de sílice o bien compuestos metal-orgánicos (generalmente alcóxidos). Los pioneros [1,2] mantenían que esta técnica era particularmente adecuada para la síntesis de vidrios y cerámicas multicomponentes de alta pureza porque el estado líquido favorece el mezclado homogéneo a temperaturas mucho menores que el punto de fusión. En 1964 Mackenzie [3] incluyó la hidrólisis de alcóxidos metálicos en su compilación de rutas no convencionales para obtener vidrios. Por ello, el proceso revestía un interés especial en el caso de sistemas difíciles o imposibles de obtener por las técnicas convencionales de fusión, debido a las altas temperaturas implicadas, o a la alta viscosidad del fundido resultante que impide una homogeneización satisfactoria. De hecho, cuando los óxidos exhiben marcadas diferencias de volatilidad, la polimerización química a baja temperatura puede ser el único método para evitar grandes pérdidas de algunos constituyentes.

Otra aplicación de importancia es en el *procesado de ultraestructuras*, término que se ha utilizado [4,5], para designar a: “la fabricación reproducible de estructuras con una homogeneidad única, con fases secundarias en una escala extremadamente pequeña (10 nm), con un control de los gradientes de superficie y una combinación única de propiedades físicas”. En el caso de las cerámicas, los métodos clásicos de fabricación suponen la fabricación de moldes plásticos de los polvos húmedos, con partículas mixtas de aproximadamente 1 μm de diámetro.

Sin embargo, si se requiere la presencia de partículas de tamaño sub-micrométrico, como resulta en el caso del procesamiento de ultraestructuras, es necesario aplicar técnicas especiales para moldear al cuerpo cerámico y obtener cuerpos densos libres de porosidad. Una de las técnicas propuestas consiste en la elaboración de polvos monodispersos [6], con un tamaño entre 0.1 y 1.0 μm , por filtración u otras técnicas, facilitando la elaboración de polvos de tamaño hasta 0.05 μm .

Cuando se trata de preparar compuestos inorgánicos, las ventajas del método se pueden concretar en lo siguiente [7]:

1. Permite la preparación de polvos de alta pureza, con gran superficie específica, y con una distribución monodispersa de tamaño de partícula.
2. Permite obtener polvos amorfos que pueden ser densificados antes del comienzo de la cristalización, y seguidamente recristalizados para la obtención de vitrocerámicas.
3. Permite el diseño a escala molecular, haciendo posible la obtención de microestructuras únicas y uniformes en la zona de inmiscibilidad líquido-líquido, así como la elaboración de composiciones que no puedan ser preparadas en estado amorfo por fusión.
4. Permite preparar materiales compuestos de microestructura particular.
5. Permite la obtención de vidrios ultrapuros pues el riesgo de contaminación es muy bajo.
6. Permite controlar tanto la porosidad del material como su morfología, pudiendo obtenerse tanto como láminas delgadas [8] o fibras [9].

El método posee otras aplicaciones importantes [10], tales como:

- La obtención de piezas monolíticas de vidrio.
- Recubrimientos ópticos, antirreflectantes.
- Vidrios y vitrocerámicas de alta resistencia.
- Vidrios ultrapuros para espejos de telescopios, etc.

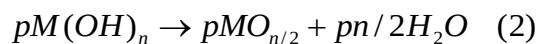
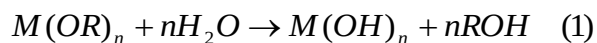
Según el método de preparación se distinguen dos categorías de geles:

1. Los geles coloidales, obtenidos por desestabilización de una solución coloidal de óxidos o hidróxidos en medio acuosos.
2. Los geles poliméricos, obtenidos por reacciones de hidrólisis y policondensación de compuestos organometálicos en un disolvente orgánico.

Con respecto a los geles coloidales, los poliméricos presentan una serie de ventajas tales como: la disponibilidad de una gran variedad de precursores, la pureza de los productos de partida y, un mejor control de la microestructura del material. Todas estas ventajas otorgan un claro privilegio al método de preparación de geles a partir de compuestos metalorgánico.

La forma habitual de obtención es por hidrólisis y policondensación de alcóxidos metálicos. Estos precursores son del tipo $M(OR)_n$, donde el grupo (-R) es una cadena alquil y, M , es un catión metálico. La hidrólisis de estos compuestos conduce a la formación de grupos $M-OH$, que son centros activos para la policondensación. Para que estas reacciones tengan lugar en una sola fase se precisa añadir un disolvente común, generalmente un alcohol; los geles así preparados se denominan *alcogeles*.

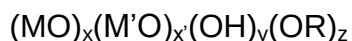
Las reacciones que forman la red de óxidos se pueden escribir:



En las reacciones de hidrólisis (1), un grupo $-OR$ es sustituido por un grupo $-OH$. Las reacciones posteriores de condensación (2) entre los grupos $-OH$ y $-OR$, o bien, $-OH$ y $-OH$, llevan a la formación de puentes $M-O-M$, que conforman la red que da estructura al gel. Durante la reticulación el medio se hace cada vez más

viscoso y rígido, definiéndose el *punto de gelificación* como el instante en el que se produce la transformación del líquido viscoso en un gel elástico. A partir de este momento comienza la generación de la red a medida que progresa la polimerización, de modo que las proporciones relativas al sol y gel varían continuamente.

La hidrólisis y la policondensación pueden acelerarse o ralentizarse empleando el catalizador ácido o básico adecuado. Estos procesos transcurren simultáneamente y son, por lo general, incompletos. En el caso que se usen diferentes cationes para formar una red mixta, se requiere un paso previo de quelación para igualar las velocidades de hidrólisis y evitar la separación. Tras una complicada secuencia de polimerización, formación del sol y gelificación, queda formado un gel microporoso, de alta superficie específica, constituido de pequeñas partículas (≈ 2 nm), de fórmula aproximada:



Los radicales OH y OR dan cuenta de los subproductos de la reacción.

Es comúnmente admitido que una de las características más atractivas del procesado sol-gel es la posibilidad de conformar materiales únicos, especialmente, por polimerización de un compuesto metalorgánico. La clave reside en identificar el monómero adecuado que polimerice formando una estructura. Los más habituales en la preparación de geles basados en la sílice son el tetrametoxisilano, $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$, y el tetraetoxisilano, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, conocidos como TMOS y TEOS, respectivamente. Como estos compuestos y el agua son inmiscibles, debe añadirse un disolvente común (generalmente alcohol etílico o metílico) a la mezcla inicial para obtener un líquido homogéneo de base silícea. Los resultados obtenidos para este sistema proporcionan una idea aproximada del comportamiento de otros precursores en distintas condiciones de reacción [11].

El tiempo de gelificación y, en general el proceso global, dependen de diversos factores como son [12]:

1. El pH.
2. La proporción de agua de hidrólisis.

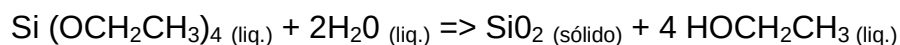
3. La naturaleza del precursor.
4. La naturaleza del disolvente.
5. Catalizador (ácido o básico).
6. La temperatura.

Inicialmente, los geles de sílice se obtenían a partir de tetrametiloxisilano (TMOS). Más adelante, en 1983, Arlon Hunt y el *Microstructured Materials Group*, del laboratorio de Berkeley, descubrieron que el compuesto TMOS; muy tóxico, podría reemplazarse por tetraetoxisilano (TEOS).

Sin embargo, muchos otros alcóxidos, que contienen varios grupos funcionales orgánicos, se pueden utilizar para conferir propiedades diferentes al gel.

Los alcóxidos basados en la química sol-gel evitan la formación de sales como subproductos indeseables, y permite un grado de control mucho mayor sobre el producto final.

La ecuación química balanceada para la formación de un gel de sílice a partir de TEOS es:

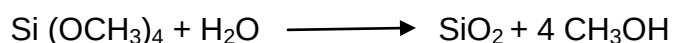


La reacción anterior se realiza típicamente en etanol.

Después de la gelificación, el gel se deja inalterado en el disolvente durante un largo período de tiempo (al menos 48 horas) debido a que la columna vertebral del

gel de sílice todavía contiene un número significativo de grupos alcóxidos que no han reaccionado. De hecho, la hidrólisis y la condensación pueden continuar durante varias veces el tiempo necesario para la gelificación.

Existe un procedimiento sintético para la preparación de gel con organosilanos. El tetrametoxisilano (TMOS) se disuelve en metanol y es hidrolizado por un exceso molar de agua en presencia de un catalizador ácido o básico de acuerdo con la siguiente reacción global:



La primera hidrólisis de TMOS produce ácido silícico, el cual luego es condensado a SiO_2 . Pequeñas partículas de sílice de tamaño nanométrico forman un "sol". La viscosidad del sol aumenta a medida que las partículas se vinculan hasta formar una red de sílice altamente reticulada tridimensional, produciendo un alco-gel.

Es posible obtener geles homogéneos sometiendo la mezcla de alcóxido y agua a la acción de ultrasonidos intensos. Los materiales así preparados reciben el nombre de *sonogeles* [13-15]. Ese método no requiere añadir el disolvente común. Son geles densos cuya estructura es fina y homogénea debido a la ausencia del disolvente y, principalmente por el estado de reticulación inicial inducido por los ultrasonidos. Su distribución de poros es muy estrecha, tiene una densidad aparente muy alta al igual que la relación superficie/volumen.

Otra relevante característica del método sol-gel es la baja temperatura requerida en el proceso. Eso abre muchas posibilidades en el campo de los materiales compuestos orgánicos-inorgánicos con la introducción de polímeros basados en enlaces Si-C, no polimerizables [16,17]. Este tipo de material, en el que las fases orgánicas e inorgánicas están enlazadas fue denominado ORMOSIL (ORganic MODified SILicate). El polímero orgánico suministra flexibilidad, baja densidad, tenacidad y deformabilidad, mientras que la parte inorgánica contribuye con la dureza de la superficie, resistencia mecánica, transparencia, alto índice de refracción, control de la porosidad y reacciones electroquímicas. Así estos materiales combinan las ventajas del procesado sol-gel en cuanto al uso de precursores metal-orgánicos, disolventes orgánicos y baja temperatura de proceso, con las características específicas de los polímeros orgánicos como componentes hidrofóbicas/hidrofílicas. Una de las rutas propuestas para estos materiales [18], incorpora la fase orgánica en combinación la aplicación de ultrasonidos (*sono-ormosiles*). Al igual que los geles inorgánicos, las propiedades finales de los ormosiles están afectadas por la acción de los ultrasonidos. Son más densos, menos porosos y, también, con mayor estabilidad térmica que los preparados por el procedimiento clásico.

El desarrollo de los materiales híbridos orgánico-inorgánico está basado fundamentalmente en la incorporación de especies oligoméricas y poliméricas con grupos funcionales apropiados en una red inorgánica constituida fundamentalmente de enlaces Si-O-Si. Dado que, la dispersión de sílice a nivel molecular es imposible, es necesaria la utilización de precursores (tetraalcóxidos) que generen “in situ” la red inorgánica mediante reacciones de hidrólisis y policondensación dentro de polímeros orgánicos solubles.

La incorporación de moléculas o polímeros orgánicos en una red inorgánica por el proceso sol-gel está influenciada por una serie de factores tales como: impedimentos estéricos, reactividad del alcóxido (precursor), reactividad del grupo orgánico, reducción de conexión de la red, comportamiento en la densificación, etc. Además de estos factores, los oligómeros pueden ser hidrofóbicos así como hidrofílicos, de acuerdo al número de grupos -OH que presenten, por lo tanto, es de gran importancia que se produzca la unión de los grupos orgánicos a la red inorgánica en los primeros momentos de la policondensación, para así evitar fenómenos de separación de fases debido a diferencias hidrofílicas de las dos redes.

El método sol-gel posee la versatilidad en el procesamiento de materiales que ofrece el estado coloidal (previo al gel). La baja viscosidad de los soles permite la deposición de películas o sobre un sustrato preciso. La combinación adecuada de las fases orgánica e inorgánica favorece el control de parámetros de interacción con el ambiente, tales como la permeabilidad de oxígeno, vapor de agua y compuestos orgánicos volátiles.

Esta tecnología está muy extendida para diversas aplicaciones tales como la formación de materiales en forma de partículas, monolitos, fibras y los recubrimientos. Las películas y los recubrimientos representan la primera aplicación comercial de la tecnología sol-gel. Las películas delgadas formadas por

inmersión utilizan poca materia prima y pueden ser procesadas de forma rápida sin rotura de la película. Además, se pueden tratar grandes substratos simultáneamente por ambas caras.

Las primeras aplicaciones fueron en el campo de la óptica [19]. Desde entonces muchas aplicaciones nuevas han ido surgiendo en campos de la electrónica, protección, membranas y sensórica. Algunas de las aplicaciones más comunes de los recubrimientos sol-gel son:

- Recubrimientos Ópticos.- Coloreados, antireflectantes, optoelectrónicos y memoria óptica.
- Recubrimientos Electrónicos.- Fotoanodos, superconductores de alta temperatura, conductores.
- Recubrimientos Porosos y protectores resistentes a la corrosión.

El interés de esta Tesis recae en un recubrimiento aplicado a la madera, específicamente un barniz. En este punto es preciso tener en cuenta que, desde un punto de vista químico, la madera se puede considerar un material polimérico de tipo lignocelulósico en el que existen grupos hidroxilo libres susceptibles de enlazarse a un reactivo que tenga afinidad por ellos.

Los investigadores Tschabalala del Forest Products Laboratory (USDA Forest Service) y Sakka de la Universidad de Kyoto han estudiado el efecto de los recubrimientos sol-gel sobre la madera [20]. Estos estudios están centrados en la utilización de MTMOS (metiltrimetoxisilano), HDTMOS (hexadeciltrimetoxisilano) y TEOS (tetraetoxisilano) y demuestran la viabilidad de realizar éste tipo de desarrollos. La tecnología sol-gel es tan versátil que algunos autores han logrado fijar absorbedores UV y biocidas en madera [21].

Por una parte, la técnica sol-gel se aplica en materiales de origen sintético tales como el vidrio o el metal. Las tecnologías de aplicación utilizadas normalmente sobre estos materiales sintéticos (tales como el spin-coating), junto con el estricto

control de las variables de proceso, son claves para mantener una superficie cuya funcionalidad dependa en parte de la continuidad de la película formada a lo largo de todo el substrato. Por la otra, la tecnología de protección de la madera contempla desde el primer momento la heterogeneidad de la superficie de la madera como base para su desarrollo. Es precisamente esta heterogeneidad la que permite una excelente adherencia de las películas formadas sobre su superficie con una preparación de superficie liviana.

De la unión de ambas tecnologías cabe esperar que la continuidad de la película -O-Si(R)-O-Si- sobre la superficie sea de corto alcance pero lo suficiente para dotarla de superhidrofobicidad. Además, tienen en común algunos sistemas de aplicación de producto líquido tales como por inmersión o rodillo.

Capítulo 5. Diseño de una formulación del recubrimiento

Previo a la formulación del recubrimiento es conveniente analizar el actual estado del arte sobre la protección de la madera. El moderno proceso de fabricación de muebles de madera representa un fino balance de materia prima (madera, resina, cera y otros aditivos) y variables de producción (presión, temperatura y tiempo) en termino de costo y rendimiento del producto.

Estándares de la industria requieren que todos los componentes de las ventana de madera diseñados para la exposición exterior, ya sea revestido o no revestidos, deben ser previamente tratados con un repelente al agua conservante de la madera [22]. Estos revestimientos protectores se han utilizado para extender la vida de servicio de ventanas de madera desde mediados de los años 1930. Hasta la década de 1980 la mayoría de estos tratamientos se basaron en el pentaclorofenol (PCP) como el ingrediente activo. Los tratamientos modernos se basan en conservantes tales como IPBC, propiconazol y tebuconazol. Estos ingredientes más nuevos tienen excelente estado de salud, seguridad y perfiles ambientales y pueden proporcionar una protección durante muchos años en servicio. Los insecticidas se utilizan a menudo con los conservantes de la madera para proporcionar una protección contra las termitas.

Los repelentes de agua incorporados en estas fórmulas añaden un rendimiento proporcionando estabilidad dimensional en situaciones en las que puede producirse la entrada de humedad. El vehículo para estos tratamientos es típicamente ya sea un disolvente orgánico tal como alcoholes minerales, o agua.

En Norteamérica, el principal modo de aplicación de conservantes de la madera que repelen el agua es un tratamiento de inmersión. Los bloques de madera se sumergen normalmente durante tres minutos mientras que las piezas individuales se sumergen durante unos 25 segundos. Esta situación es muy diferente de la de la mayoría de los países europeos en los que la norma es el tratamiento de vacío.

Una vez tratado, las partes se secan, ya sea en un horno de aire caliente forzado, o por evaporación bajo condiciones ambientales. Después de que están secos, los componentes son luego revestidos o recubiertos antes del montaje final en ventanas acabadas. Es importante que los tratamientos de conservación estén diseñados para la compatibilidad, ya que los componentes que repelen el agua de los tratamientos de conservación pueden interferir con la adherencia y humectación de algunos acabados.

La adición de un componente preservativo o el uso de reactivos químicamente modificados, puede tener un efecto importante sobre las propiedades del producto y requiere a menudo cambios en el proceso de fabricación. Un número de factores importantes necesitan ser tomados en cuenta cuando se desarrolla cada uno de estos sistemas. Esos factores incluyen la naturaleza de los preservativos (por ejemplo sólido o líquido, la naturaleza de los adhesivos, la influencia sobre las propiedades de los paneles de la interacción del conservador con el adhesivo y la madera, y los métodos de incorporación del conservador [23].

Los tratamientos para la preservación de la madera tienen una larga historia que puede ser trazada a principios de 1800. Actualmente es necesario realizar exámenes exhaustivos sobre los conservadores de la madera, procesos de tratamiento y las nuevas tecnologías de protección y productos de madera, éstos deben considerar la salud, la seguridad y las propiedades ambientales de los fabricantes y los consumidores; ciclo de vida del producto, compatibilidad y capacidad de adaptación de los procesos de fabricación, resina y sistemas de aditivos, la estabilidad y la coherencia en el proceso de fabricación, propiedades de durabilidad, etc.

Los tratamientos de conservación de los componentes de la madera pueden ser catalogados de distinta maneras, una forma de clasificarlos es a partir del proceso de manufactura de los materiales que la componen:

1. Pre-tratamiento de los muebles de madera
2. En línea o tratamiento integral durante el proceso de fabricación; y
3. Post-tratamiento a los productos finalizados.

El tratamiento con repelentes de agua puede cambiar las propiedades a largo plazo de la madera. La influencia de la lluvia y el rocío de aguas superficiales causan erosión y la lixiviación de los componentes de la madera y su nivel de humedad, y por lo tanto el riesgo de formación de grietas y la degradación biológica se reduce. La combinación de sustancias activas tales como retardantes de la llama, biocidas y protectores de luz Ultravioleta con repelentes de agua, puede proteger contra lixiviación de estos agentes.

Históricamente, los métodos de prueba establecidos para los nuevos tratamientos de la madera a menudo requieren de 5 a 15 años de pruebas antes de entrar en el mercado. Hay una gran necesidad, sin embargo, para reducir este tiempo de manera significativa. La necesidad de tiempos de prueba más cortos se debe a los cambios en los criterios para los productos a base de madera en el servicio y el deseo de la disponibilidad de nuevos conservantes ambientalmente sensibles y seguros. Además, el aumento de problemas de salud por el público en general sobre el crecimiento de moho en las estructuras está impulsando la necesidad de desarrollo de nuevos tratamientos. Con el fin de determinar la idoneidad de un nuevo tratamiento para uso comercial en los Estados Unidos, el tratamiento debe ser:

- 1) Registrado en la Agencia de Protección del Medio Ambiente,
- 2) La prueba de la eficacia con respecto al organismo degradante (s),
- 3) Probado para determinar los efectos sobre las propiedades del producto y el rendimiento del producto durante el servicio, y
- 4) Un producto que es económicamente viable en el mercado.

Por lo general, los artículos 2 y 3 se llevan a cabo por organizaciones de investigación de terceros, tales como universidades o laboratorios de pruebas independientes para proporcionar información imparcial reconocida.

Las normas de ensayo para los productos de madera utilizados en los Estados Unidos son elaboradas y aprobadas por las organizaciones de normalización, tales como los estándares americanos y Pruebas de Materiales (ASTM 2002), así como otros que se especializan en un área específica, como la Asociación Americana de conservadores de madera "para tratamientos de conservación de la madera (AWPA 2002). Además, numerosas metodologías y protocolos de ensayo han sido desarrollados por universidades y otras instituciones de investigación y se han incorporado a través del intercambio de conocimientos comunes. Las pruebas de eficacia de los nuevos tratamientos suelen comenzar con las pruebas de detección de laboratorio que son seguidos por las pruebas de campo a largo plazo para simular las condiciones de servicio severo. Las normas de ensayo de decaimiento e insectos se han desarrollado mientras que todavía se están desarrollando normas de moho. Los avances en las metodologías de prueba para la resistencia a las termitas y el moho son las más notables.

Las pruebas de laboratorio o pruebas de detección para la resistencia a la infestación de insectos es un proceso relativamente rápido normalmente dura aproximadamente 4 semanas, dependiendo del insecto se está examinando. En los Estados Unidos, las pruebas de resistencia a las termitas es la prueba más común usada principalmente debido a su mayor y más devastador daño a corto plazo de las estructuras de madera. El protocolo más utilizado es AWP A estándar E1-97, "Método Estándar para la Evaluación en laboratorio para determinar la resistencia a las termitas subterráneas". En esencia, esta prueba se somete una muestra de ensayo a 400 termitas durante 4 semanas bajo condiciones controladas. El análisis consiste en determinar la mortalidad de termitas, la pérdida de peso de la pieza, y una calificación subjetiva de la degradación. Otras pruebas de detección de insectos siguen mucho los mismos procedimientos, sin embargo los contenedores, el número de insectos y el calendario específico pueden diferir.

Se están desarrollando metodologías y protocolos de ensayo del moho. Actualmente existe una norma desarrollada por la Asociación Americana de

Conservadores de madera 'titulado "Método Estándar de Evaluación de la resistencia de los productos y superficies de madera al crecimiento de moho ". Esta norma se basa en el método de prueba ASTM D 3273-00 "Método de prueba estándar para resistencia a la formación de moho en la superficie de recubrimientos interiores en una cámara ambiental" (ASTM 2002). En la nueva norma del moho AWWA, las muestras basadas en productos de madera se colocan en una cámara donde la temperatura y la humedad relativa se controlan para proporcionar las condiciones ideales para el crecimiento de moho. Algunas esporas de moho adicionales también pueden ser introducidas desde el aire o el suelo y, pueden competir con los moldes inoculados para la colonización sobre superficies de productos de prueba. Las muestras se evalúan para el crecimiento de mohos en las superficies de muestra cada dos semanas durante ocho semanas.

Las pruebas de campo para la eficacia del moho no se han estandarizado. Por lo tanto, la eficacia del moho actual de un producto se basa en pruebas de laboratorio. Sin embargo, algunos protocolos de pruebas de campo, se están creando por investigadores individuales y/o empresas de tratamiento. Se están desarrollando bajo dos enfoques. El primer enfoque es la protección de los productos a base de madera del moho después de la fabricación del producto, a través de la manipulación y el proceso de construcción. Por ejemplo, los tratamientos de la madera y paneles estructurales deben proteger a estos productos del moho desde la planta de fabricación hasta el cierre de las paredes interiores y exteriores y los componentes estructurales del techo. El segundo enfoque es la determinación de si un tratamiento es eficaz dentro de la estructura cerrada por un número de años después de la construcción. La mayoría del trabajo se dirige hacia el primer enfoque, que es más fácil de controlar. Una vez que el material se coloca en servicio de un gran número de variables que tienen que ser considerados y pueden ocurrir sin ningún control por parte del fabricante de tratamiento, tales como agua líquida que queda dentro de las paredes durante largos períodos de tiempo. El caso de una lixiviación de una tubería con fugas

también puede ocurrir. Además, la mayor preocupación por el crecimiento del moho es que va a ocurrir en sustratos no tratados de la madera.

Algunos de los procedimientos de pruebas de campo que están en uso comprenden diversas metodologías, el más común es una prueba de chimenea. Esto se realiza mediante la colocación de productos a base de madera tratados y no tratados en las pilas que pueden o no pueden ser cubiertos de plástico para simular las condiciones de almacenamiento y envío. Para probar la eficacia a largo plazo, tendrán que ser desarrollados métodos para simular las condiciones del suelo en la pared que se exponen a una mayor humedad y la humedad de las estructuras de prueba. Se espera que estas metodologías y protocolos comiencen a aparecer en la literatura científica [24,25].

Los silanos son compuestos de silicio con la fórmula general $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$. Estos compuestos son químicamente inestables y son inflamables al contacto con el aire. En un sentido más amplio, el grupo silano también incluye compuestos en los que los átomos de hidrógeno son sustituidos por grupos orgánicos o inorgánicos, tales como grupos alcoxi alquilo, o grupos cloruros.

Los silanos se aplican en plásticos, textiles, edificios y papeles. Ellos proporcionan la base, por ejemplo, para la hidrofobicidad de la cerámica, superficies resistentes al rayado, recubrimientos anti-grafiti o promotores de adhesión entre materiales orgánicos e inorgánicos. La hidrofobicidad contra el agua líquida es una de las principales aplicaciones, por ejemplo en hormigón, para dejar el material abierto para el intercambio de humedad.

Una reacción a base de alcoxisilanos se realiza en el proceso sol-gel. Los grupos alcoxi de silanos pueden ser hidrolizados para formar silanoles, que posteriormente se condensan a unidades tridimensionales. La condensación comienza mientras que la hidrólisis todavía está en marcha, lo que conduce a la formación de partículas oligoméricas de coloide, llamadas soles. La reacción

adicional conduce a la reticulación de estas partículas en sol de modo que se forman geles altamente condensados.

Hay diferentes estrategias utilizadas para aplicar alcoxisilanos a la madera [26]. En un proceso, el agua unida y libre en la madera se utilizó para iniciar la hidrólisis del alcoxisilano para llevar a cabo el proceso de sol-gel dentro de la pared celular de la madera. En otro estudio reportado en la literatura, los silanos se hidrolizaron en un lote de un reactor antes de ser utilizados para impregnar la madera.

La comparación de estos tratamientos revela que la reacción *in situ* exclusivamente conduce a una mejor penetración de los compuestos de silano en la pared celular, dando como resultado una estabilidad dimensional ligeramente mayor. Sin embargo, en ambos métodos los resultados fueron determinados principalmente por la existencia de grupos alquilo que permanecen en las moléculas de silano después de la reacción.

Los Trimetoxisilanos organofuncionales aplicados en combinación con agentes resistentes al fuego o anti fúngicos y precursores formados de gel tales como el tetraetoxisilano (TEOS) tienen efectos sinérgicos. Los sistemas que contienen varios agentes basados en boro-y-fósforo mejoran la resistencia al fuego de la madera, lo que podría ser mantenido después de un procedimiento de lixiviación con agua debido a la hidrofobicidad del silano organofuncional. Los compuestos de amonio cuaternario incrustados en el proceso de sol-gel mejoran la resistencia contra el ataque del hongo de la pudrición marrón *Tyromyces palustris*, pero este método fue menos efectivo contra el hongo de la pudrición blanca *Trametes versicolor* [26].

En un estudio sobre láminas de pino, éstas fueron tratadas con una mezcla de silano que consiste en metiltrimetoxisilano (MTMOS) y hexadeciltrimetoxisilano (HDTMOS). Mientras que el bajo peso molecular del silano MTMOS penetró en la madera, el alto peso molecular del silano HDTMOS permaneció en la superficie y

formó una película delgada de redes de polisiloxano. Esta película hidrófoba se unió covalentemente por reticulación con MTMOS y fueron anclados en la superficie de madera. Después, el acelerado desgaste y la erosión de la superficie se redujeron y la estabilidad del color fue mejorada en comparación con madera de pino no tratada [27]. La madera de Pino ha sido tratada por otros autores [28], con solución metanólica de dos alcoxisilanos: trimetoxi silano, y vinil trimetoxi silano. Varios parámetros de tratamiento se estudiaron con el fin de determinar el método óptimo de recubrimiento, obtuvieron buenos resultados confirmados por estudios de resonancia magnética nuclear de estado sólido de la madera tratada.

El objetivo de este estudio fue investigar las características de los repelentes del agua de la madera tratada con diferentes tipos de silanos comerciales. Los silanos seleccionados deben cumplir con los altos requisitos para el tratamiento de la madera industrial, así como la buena relación coste-rendimiento, fácil manipulación, y una alta estabilidad de los lotes.

5.1 Desarrollo experimental

Es necesario seleccionar los monómeros más atractivos para el diseño de la formulación. La primera tarea que se llevó a cabo en el diseño de la formulación del recubrimiento, fue la selección de las materias primas a utilizar para producir el recubrimiento hidrófobo. Para alcanzar este fin, fue preciso analizar los distintos componentes que lo forman:

- a) Alcoxisilanos. Una de las principales ventajas de la tecnología sol-gel es la posibilidad de diseñar materiales únicos para cada aplicación. Para realizar este diseño es posible seleccionar entre una amplia variedad de monómeros por lo que cada mezcla dará una polimerización distinta y una película singular. La gama de monómeros es amplia por lo que la selección puede hacerse variando la longitud de la cadena del grupo $R-Si(OCH_3)_3$ o $R-Si(OCH_2CH_3)_3$. El híbrido resulta de la combinación, en las proporciones que se estimen adecuadas, de un precursor orgánico, como:

- Metiltrimetoxisilano (MTMOS)
- (3-aminopropil) Trimetoxisilano (APMES)
- Polidimetilsiloxano (PDMS12)

y los habituales precursores inorgánicos:

- Tetrametoxisilano (TMOS)
- Tetraetoxisilano (TEOS)

b) Por otra parte, la velocidad de las reacciones de hidrólisis y policondensación que tienen lugar durante el proceso de formación de película se puede aumentar mediante la incorporación al medio de catalizadores ácidos tales como el ácido trifluoroacético (ATFA). Además, el uso de los ultrasonidos tiene una gran influencia en la densidad, la textura e, incluso, el orden a escala atómica de los geles.

En el control de la viscosidad del sol está buena parte del éxito de la aplicación, cualquiera esta sea, inmersión, brocha, pistola, etc. Hay que obtener una viscosidad que permita un fácil manejo, dé lugar a una película uniforme. Con el viscosímetro se llevó a cabo el estudio sistemático para obtener soles cuya viscosidad sea la adecuada para su manipulación. No obstante, este logro no garantiza el objetivo ya que, además, debe venir acompañado de una buena adherencia al sustrato.

Para mejorar la adhesión de la película a la madera (celulosa) es interesante la utilización de agentes de acoplamiento (también denominados, promotores de la adherencia) de la familia de los silanos, como tratamiento antes de aplicar el recubrimiento sol-gel: silanos con grupos amino (aminopropiltriethoxisilano, aminopropiltrimetoxisilano, etc), con grupo epoxi (glicidoxipropiltrimetoxisilano, etc), con grupo metacrilato, etc.

c) Otro de los reactivos que se seleccionó para limpiar o extraer de la superficie de la madera aquellos extractos que dificulten o impidan una buena adhesión del recubrimiento sol-gel a la pared celular de la madera, fue el la N-metil-2pirrolidona (NMP).

Finalmente, el disolvente que se utilizó inicialmente es alcohol etílico.

Se depositaron 10 ml del precursor inorgánico de Si más 1 ml de EtOH en un envase de polietileno, luego se agregaron 0.5 ml de ácido trifluoroacético (ATFA) durante 3 min de ultrasonido con un 750-Watt Ultrasonic Processor Cole Parmer, Figura 10. Posteriormente se agregaron 12 ml de precursores orgánicos de Si durante 6 min de ultrasonido. Con objeto de homogeneizar el producto final se aplicó una dosis de 9 min de ultrasonido.

Los soles recién preparados son transparentes.

Se prepararon los sistemas reportados en la Tabla3.

Tabla 3. Soles preparados en un envase de polietileno.

Sistema	TEOS (ml)	TMOS (ml)	MTMOS (ml)	EtOH (ml)	ATFA (ml)	APMES (ml)
1	10 (42.5)		10 (42.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)
2	13.3 (56.6)		6.7 (28.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)
3		10 (42.5)	10 (42.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)
4		13.3 (56.6)	6.7 (28.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)
5	5 (21.8)	5 (21.8)	10 (42.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)
6	6.6 (28.1)	6.6 (28.1)	6.7 (28.5)	1 (4.3)	0.5 (2.1)	2 (8.5)



Figura 10. Homogeneizador 750-Watt Ultrasonic Processor Cole Parmer.

Y a cada sistema se le determinó su viscosidad Brookfield.
El comportamiento de los soles se presenta en la Figura 2.

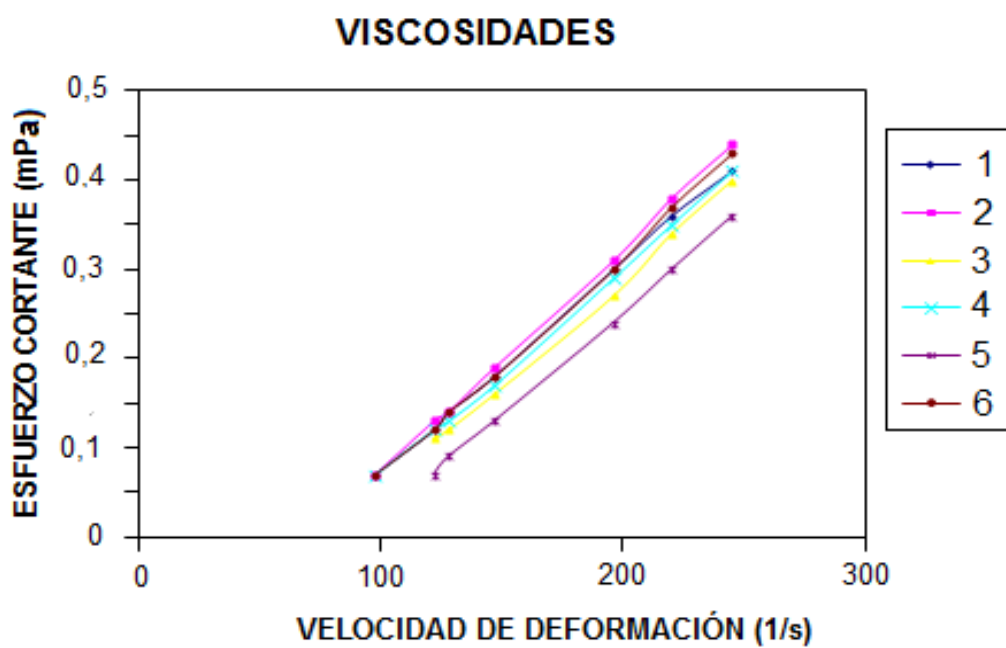


Figura 11. Esfuerzo cortante contra la velocidad de deformación para el cálculo de la viscosidad de los sistemas 1 al 6.

Los resultados de la viscosidad se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Ecuaciones de las rectas de regresión que ajustan los puntos (x = velocidad de deformación, y = esfuerzo cortante) para el cálculo de la viscosidad

Sistema	Viscosidad ($t = 0$) [cps]	Ecuación
1	2.4	$y = 0.0024x - 0.1631$ $R^2 = 0.9992$
2	2.5	$y = 0.0025x - 0.1803$ $R^2 = 0.9994$
3	2.4	$y = 0.0024x - 0.1842$ $R^2 = 0.9977$
4	2.3	$y = 0.0023x - 0.1661$ $R^2 = 0.9986$
5	2.3	$y = 0.0023x - 0.2214$ $R^2 = 0.9994$
6	2.5	$y = 0.0025x - 0.1781$ $R^2 = 0.9987$

Observaciones:

- Los sistemas recién preparados son transparentes.
- Se observó una pequeña precipitación con la incorporación del APMES.
- Se introdujo la madera seleccionada: Pino, durante un periodo de dos minutos. Tras un periodo de 72 horas a temperatura ambiente las soluciones finales muestran un color amarillo.
- Los recubrimientos que se realizaron sobre las maderas no son satisfactorios ya que aparece una tonalidad blanquecina lo cual indica escasa adherencia.
- Se decidió incluir en la etapa de síntesis al precursor orgánico de silicio Polidimetilsiloxano (PDMS12) para mejorar la adherencia en sustitución del APMES.

Los soles preparados con PDMS12 se reportan en la Tabla 5.

Tabla 5. Soles preparados que incluyeron PDMS12.

Sistema	TEOS	TMOS	PDMS12	TFA	EtOH
7	10		10	0.5	1
8		10	10	0.5	1
9	5	5	10	0.5	1

El comportamiento de los soles de la segunda serie se presenta en la Figura 3.

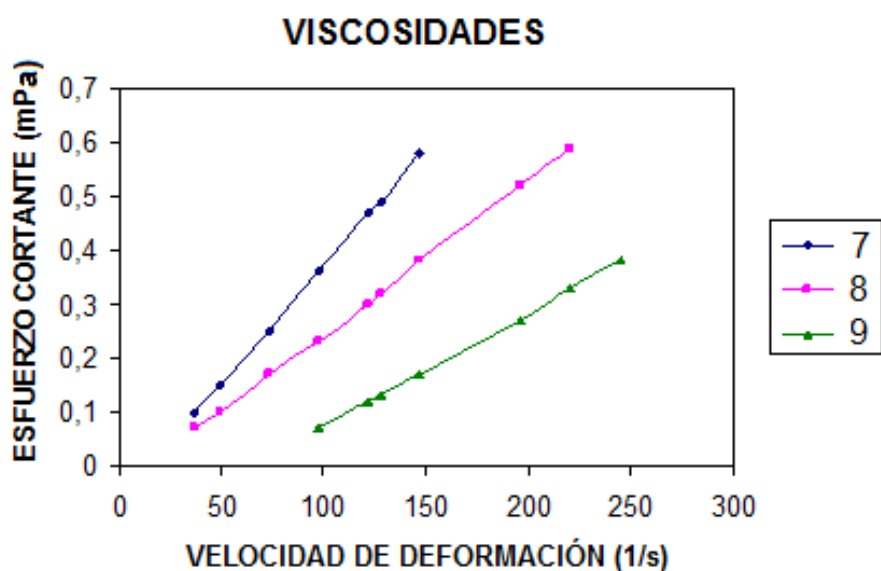


Figura 12. Esfuerzo cortante contra la velocidad de deformación para el cálculo de la viscosidad de los sistemas 7, 8 y 9.

Los resultados de la viscosidad se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Ecuaciones de las rectas de regresión que ajustan los puntos (x = velocidad de deformación, y = esfuerzo cortante) para el cálculo de la viscosidad

Sistema	Viscosidad (t = 0) [cps]	Ecuación
7	4.4	$y = 0.0044x - 0.0638 \quad R^2 = 0.9996$
8	2.9	$y = 0.0029x - 0.0411 \quad R^2 = 0.9992$
9	2.1	$y = 0.0021x - 0.1393 \quad R^2 = 0.9993$

Observaciones:

- Los sistemas recién preparados son transparentes.
- Se introdujeron las maderas durante 2 min en las correspondientes soluciones (primera capa).
- Se dejaron secar durante 3 horas.
- Se introdujeron nuevamente durante 2 min para depositar una segunda capa.
- Los recubrimientos mejoraron significativamente en comparación con los obtenidos en la primera serie de soles.

5.2 Propiedades de la madera protegida

Las pruebas de hidrofobicidad se realizaron para los tres soles de la segunda serie, obteniendo mejores resultados con el sistema 7, estos se presentan en las Figuras 13 a 16.

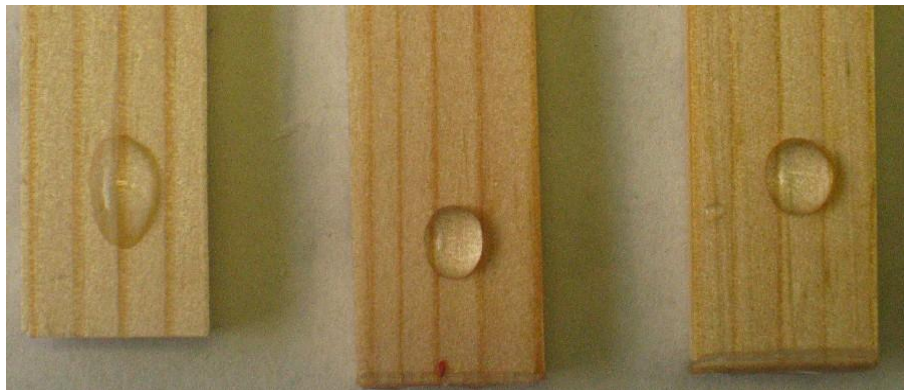


Figura 13. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino. La probeta de la izquierda está sin recubrir, la del centro se recubrió con una capa y la derecha con dos capas.

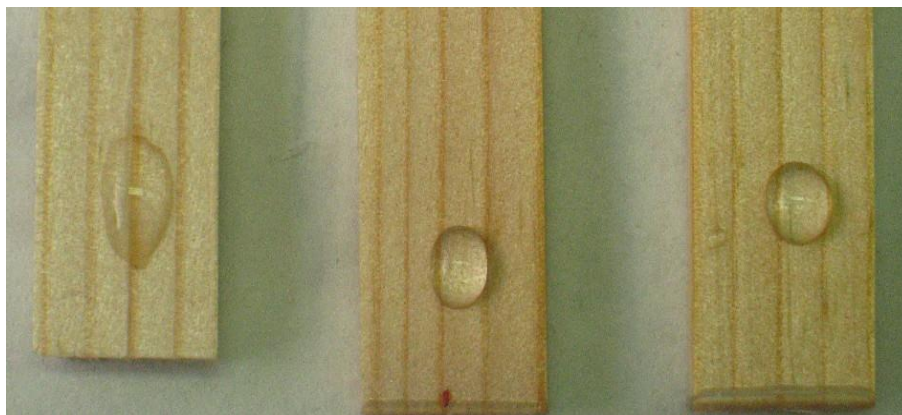


Figura 14. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino. La probeta de la izquierda está sin recubrir, la del centro se recubrió con una capa y la derecha con dos capas, con las gotas recién depositadas, tras 1 min.

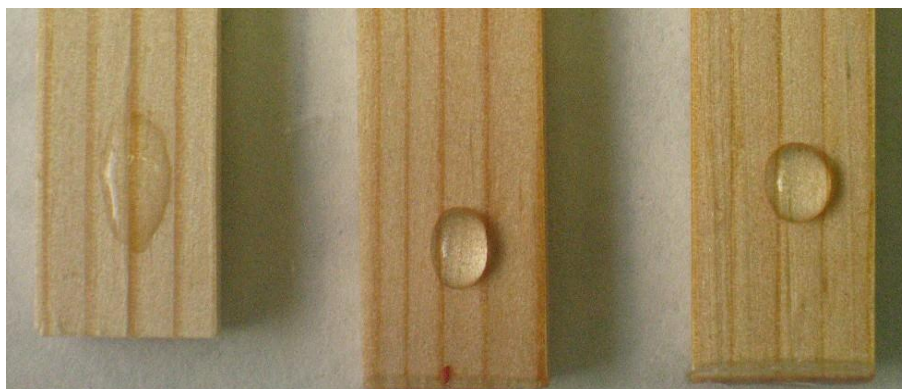


Figura 15. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino. La probeta de la izquierda está sin recubrir, la del centro se recubrió con una capa y la derecha con dos capas, con las gotas recién depositadas, tras 3 min.

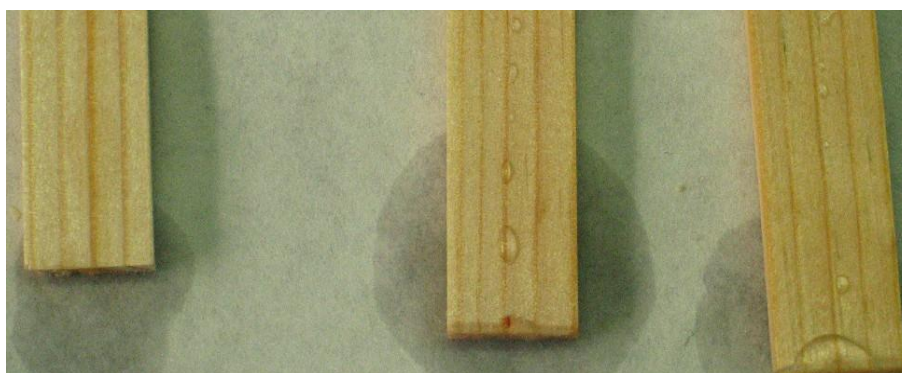


Figura 16. Evolución de la forma de una gota de agua depositada sobre una probeta de madera de pino. La probeta de la izquierda está sin recubrir, la del centro se recubrió con una capa y la derecha con dos capas, con las gotas recién depositadas, después de volcar las probetas.

5.3 Velocidad de eliminación de Agua

Después de depositar una gota de agua sobre las probetas de madera protegidas y sin proteger se observa que las protegidas (con una o dos capas) pierden peso con el tiempo de una forma lineal, ese comportamiento es consecuencia de la evaporación de la gota de agua.

La muestra sin proteger pierde peso a una mayor velocidad al difundirse la gota por el entramado de la madera, siendo mayor la superficie de líquido en contacto con el aire, los resultados se observan en la Figura 17.

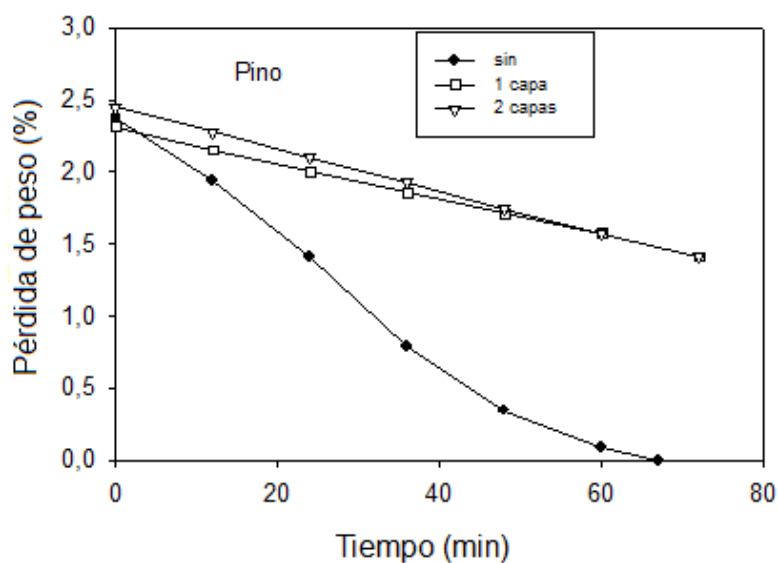


Figura 17. Pérdida de peso de agua de probetas de pino protegidas y sin proteger.

Capítulo 6. Discusión de resultados

En la primera serie de soles los resultados en cuanto a adherencia al recubrir la madera no fueron satisfactorios, incluso en algunos casos se presentaron escamas. Razón por la que se decidió incorporar en la formulación el precursor orgánico PDMS12 en sustitución del APMES. La viscosidad de los soles varía entre 2.3 y 2.5 cps.

La segunda serie de soles mejora substancialmente la adherencia al recubrir la madera, por ello se procedió a realizar pruebas de hidrofobicidad, se apreciaron cambios importantes entre la madera protegida y sin proteger, obteniéndose resultados satisfactorios en la madera protegida con una y dos capas y específicamente con la formulación del sol correspondiente al sistema que incluye cantidades iguales de TEOS y PDMS12, con una viscosidad inicial de 4.4 cps.

Capítulo 7. Conclusiones

En el control de la viscosidad del sol está buena parte del éxito de la aplicación. Hay que obtener una viscosidad que permita un fácil manejo y de lugar a una película uniforme. No obstante, este logro no garantiza la consecución del objetivo pues, además, debe venir acompañado de una buena adherencia al sustrato. Para mejorar la adhesión de la película a la madera (celulosa) fue necesario incluir en la formulación PDMS12 como precursor orgánico en sustitución del APMES.

Se cumplió el objetivo de ésta Tesis ya que se obtuvo un barniz para proteger la madera de pino, con satisfactorios resultados de hidrofobicidad.

Cabe mencionar la conveniencia de darle continuidad a este trabajo, si se desean hacer pruebas complementarias, aplicando el barniz desarrollado en otras maderas como la caoba, cedro etc., y determinar la resistencia de la madera protegida ante las termitas y el moho.

.

Capítulo 8. Bibliografía

- [1] Dislich, H, *Angewandte Chemie*, International Edition, 1971,10, (6): 363.
- [2] Roy, R, *J. Am. Ceram. Soc.* 1969, 52 : 344.
- [3] D. R. Secrist, and J. Mackenzie D, *Modern Aspect Vitreous State*, 1964, 3: 149.
- [4] J. Zarzycki, "Ultrastructure Processing of Ceramic, Glasses and Composites", Ch. 4, *Eds. L.L. Hench, D.R. Ulrich*, Wiley (1984).
- [5] C.J. Brinker, G.W. Scherer, "Ultrastructure Processing of Ceramic, Glasses and Composites", Ch. 5, *Eds. L.L. Hench, D.R. Ulrich*, Wiley (1984).
- [6] E. Barringer, N. Jubb, B. Fegley, R.L. Pober, H.K. Bowen, "Ultrastructure Processing of Ceramic, Glasses and Composites", Ch. 26, *Eds. L.L. Hench, D.R. Ulrich*, Wiley (1984).
- [7] J. Zarzycki, "Glass Science and Technology", *Eds. D.R. Uhlmann, N.J. Kreidl*, vol. 2, Acad. Press Inc., (N.Y. 1984) p. 209.
- [8] M. Atik, M.A. Aegerter, "Corrosion resistant sol-gel ZrO₂ coatings on stainless steel", *J. Non-Cryst. Solids*, **147 & 148**, (1992) 813-819.
- [9] D.R. Ulrich, "Prospects for sol-gel processes", *J. Non-Cryst. Solids*, **121**, (1990) 465-479.
- [10] J.D. Mackenzie, "Ultrastructure Processing of Ceramic, Glasses and Composites", Ch. 3, *Eds. L.L. Hench, D.R. Ulrich*, Wiley (1982).
- [11] B.J.J. Zelinski, D.R. Uhlmann, "Gel technology in ceramics", *J. Phys. Chem. Solid*, **45**, (1984) 1069-1090.
- [12] M. Prassas, L. Hench, "Ultrastructure Processing of Ceramic, Glasses and Composites", Ch. 9, *Eds. L.L. Hench, D.R. Ulrich*, Wiley (1982).
- [13] J. Zarzycki, *Heterogeneous Chemistry Reviews*, **1**, (1994) 243.
- [14] E. Blanco, L. Esquivias, R. Litrán, M. Piñero, M. Ramírez-del-Solar and N. de la Rosa-Fox *Appl. Organometal. Chem.*, **13** (1999) 399.
- [15] N. de la Rosa-Fox, M. Piñero, M.J. Mosquera and L. Esquivias 'Organic-Inorganic Hybrid Materials from Sonogels' in "*Encyclopaedia of Nanoscience and Nanotechnology*" Ed. S.H. Nalwa. American Scientific Publishers, Ca., 2003, p.241.
- [16] Philipp G and Schmidt H, *J. Non-Cryst. Solids*, 1984, 63: 283.
- [17] *Organic/Inorganic Hybrid Materials*, Klein L and Sánchez C (eds) *J.Sol-Gel Sci.&Tech.*, 5 (2), 1995 and 7 (3), 1996, (special issues).
- [18] Mackenzie J D, *J. of Sol-Gel Science&Technology*, 1994, 2:81.
- [19] H- Schroeder, "Physics of thin films", ed. G. Hass, 5 (academic Press, New York, 1969), pp. 87-141.
- [20] Tshabalala, M.A., Kingshott, P., VanLandingham, M.R., Plackett, D. (2003) "Surface chemistry and moisture sorption properties of wood coated with multifunctional alkoxysilanes by sol-gel process". *J. Appl. Polym. Sci.* 88:2828–2841.
- [21] H. Miyafuji, H. Kokaji, S. Sakka, *J. Wood. Sci.*, **50**, (2004) 130-135 ;S. Fujita, H. Miyafuji, S. Saka, *Mokuzai Gakkaishi*. **49** (2003) 365-369.
- [22]. "Coatings for Millwork Components", Alan S. Ross, Vice President/Technical Director, Kop-Coat, Inc. May (2004), 1-3.
- [23]. "Durability improvement for structural wood composites through chemical

treatments” W. Ramsay Smith and Qinglin Wu, Forest Products Journal, Vol. 55, No. 2, February 2005, 8-17.

[24]. “An overview on new generation of preservation treatments for wood-based panels and other engineered wood products” Alan S. Ross, Hans A. Ward, W. Ramsay Smith, Seventh European Panel Products Symposium, North Wales Conference Centre, Llandudno UK, October 2003, 219-225.

[25]. “New termite and mould testing methodologies for wood based products”, Alan S. Ross, Hans A. Ward, W. Ramsay Smith, Seventh European Panel Products Symposium, North Wales Conference Centre, Llandudno UK, October 2003, T51-T58.

[26] Tshabalala, M.A., Gangstad, J.E. (2003) “Accelerated weathering of wood surfaces coated with multifunctional alkoxy silanes by sol-gel deposition. J. Coat. Technol. 75:37–42.

[27]. “Creating water-repellent effects on wood by treatment with silanes”, Steffen Donath, Holger Militz and Carsten Mai, Holzforschung, Vol. 60, 2006, 40-46.

[28]. “The use of organo alkoxy silane coupling agents for wood preservation”, Callum A.S. Hill, M.R. Mastery Farahani and Michael D.C. Hale, Holzforschung, Vol. 58, 2004, 316-325.

[29] “Manual para la protección contra el deterioro de la madera”. Semarnat. Comisión Nacional Forestal. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2010

Materiales de uso técnico. La Madera. Tecnología Industrial I. IES Villalba Hervás. La madera

[30] “Protección superficial de la madera”. Boris Ppovot