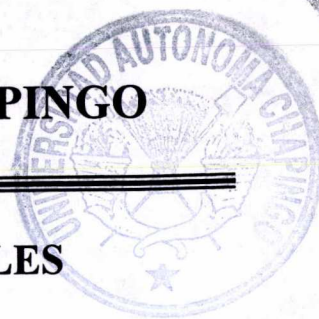


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

DIRECCION ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**DETERMINACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS ACELERADAS, DE LA
VIDA ÚTIL DEL ACABADO PARA EXTERIORES EN MADERA DE
ENCINO Y PINO.**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

ROGELIO FLORES VELÁZQUEZ

Diciembre 1999

Chapingo, Texcoco, Edo. de México.



928781

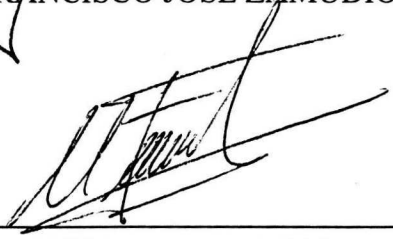
DETERMINACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS ACELERADAS, DE LA VIDA ÚTIL DEL ACABADO PARA EXTERIORES EN MADERA DE ENCINO Y PINO.

Tesis realizada por **Rogelio Flores Velázquez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 
DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR: 
DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

ASESOR: 
M.C. MARIO FUENTES SALINAS

DETERMINACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS ACELERADAS, DE LA VIDA ÚTIL DEL ACABADO PARA EXTERIORES EN MADERA DE ENCINO Y PINO.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Rogelio Flores Velázquez** autor de la presente tesis de maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

ASESOR:



M.C. MARIO FUENTES SALINAS

DEDICATORIA

A Mis Padres,

por el cariño y apoyo que siempre me han brindado.

A mi esposa e hijos,

Que son el motivo de mi vida.

A mis hermanos y amigos,

Por su apoyo incondicional.

A la memoria de mis abuelos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y al Campo Experimental San Martinito, por el apoyo que me han otorgado en mi formación académica y profesional.

A la División de Ciencias Forestales y a la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado.

A Poly-Form de México, S.A. de C.V. por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por su paciencia y atinada dirección de este trabajo.

Al Dr. Francisco Zamudio Sánchez y al M.C. Mario Fuentes Salinas, por su revisión y sugerencias para mejorar este documento.

Al M.C. Juan Quintanar Olguin, Jefe del Campo Experimental San Martinito por haberme brindado el apoyo requerido en el momento preciso.

Al Dr. José Amador Honorato Salazar, por su ayuda y apoyo durante todo el desarrollo del trabajo.

Al Ing. Jorge Hernández Pérez, al Ing. Juan Antonio Hernández y al Ing. José Luis Cuellar por su incondicional ayuda.

A Elizabeth González Estrada por su apoyo en la parte estadística del presente.

Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que de alguna manera participaron en el desarrollo de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en Acámbaro Guanajuato el 8 de diciembre de 1962, donde realizó estudios de primaria y secundaria, en 1979 ingreso a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo donde curso también la licenciatura, egresando en 1985 de la División de Ciencias Forestales como Ingeniero Forestal con Orientación en Industrias Forestales, Obteniendo el título profesional con Mención Honorífica en octubre de 1990 con la tesis intitulada "Características de maquinado de 4 especies maderables de encino del estado de Puebla.

En Octubre de 1985 ingreso a trabajar al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) con adscripción al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Tecnología de la Madera (CENID TECMA), donde fungió como investigador responsable del proyecto de trabajabilidad de la madera y de la planta piloto de dimensionado ensamble y acabado de la madera hasta 1989, en 1990 además estuvo a cargo del proyecto de aserrio, de la planta piloto de aserrio y de la jefatura de operación de dicho centro. De octubre de 1990 a agosto de 1991 realizó un diplomado sobre la industria de la madera en Rimini, Forli Italia.

A partir de septiembre de 1991 lo nombran nuevamente investigador responsable de la planta piloto y del proyecto de aserrio, en 1992 se hace cargo de la jefatura de operación del CENID TECMA y es miembro del Comité de Evaluación Curricular del CENID mencionado. De 1993 a 1995 se desempeña como jefe del Campo Experimental San Martinito, investigador responsable de los proyectos de aserrio y trabajabilidad de la madera y de las respectivas plantas piloto de cada proyecto, en 1994 fue miembro del Comité de Programación y Evaluación Regional de la División Forestal del CIR-Centro del INIFAP y durante 1994 y 1995 fue Coordinador del Sistema Producto Tecnología de Productos Forestales del CIR-Centro del INIFAP.

De 1996 a 1997 curso los créditos de la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo. Reincorporándose al Campo Experimental San Martinito del INIFAP en 1998 donde hasta la fecha se ha desempeñado como investigador titular responsable de los proyectos de aserrio y trabajabilidad de la madera y de las plantas piloto correspondientes a estos dos proyectos.

Ha participado como ponente en diversos foros a nivel nacional y en la asesoría de 8 tesis de licenciatura de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, ha impartido cursos a nivel profesional y subprofesional a diferentes instituciones entre las que se encuentra la ONUDI.

RESUMEN

DETERMINACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS ACELERADAS, DE LA VIDA ÚTIL DEL ACABADO PARA EXTERIORES EN MADERA DE ENCINO Y PINO.

Flores Velázquez Rogelio

Noviembre de 1999

(Bajo la dirección de la Dra. Amparo Borja de la Rosa)

La madera usada en exteriores requiere de productos que la protejan de la acción de los agentes de intemperismo y en algunos casos mejoren su apariencia. En los acabados que forman película se producen fallas de cohesión entre la madera y la película, terminando con un blanqueo y desprendimiento de ésta por la interacción de la radiación solar y la humedad.

En este trabajo se probaron dos barnices poliuretanos de marca comercial para exteriores uno base agua y otro base solvente, aplicados sobre madera de encino y pino, utilizando la rueda de intemperismo acelerado (CTBA de Francia).

Los datos obtenidos se ajustaron con el modelo no lineal de distribución acumulativa de Weibull, con dicho modelo, cuando se tiene el 10% de falla en apariencia que es el recomendado por el fabricante para dar un rebarnizado y lo que señalan Podgorski *et al.*, 1996, de que 2.25 horas de intemperismo en la rueda equivalen a un día de intemperismo natural bajo condiciones drásticas, se estimaron los tiempos a los cuales se alcanza esta falla, siendo para el barniz Hydroform® muy corto, mientras que con el barniz 11000® éste fue mayor al recomendado por el fabricante del producto.

Palabras clave: rueda de intemperismo, película, lixiviación, intemperismo acelerado, intemperismo natural, rebarnizado.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE USEFUL LIFE OF FINISHING FOR OUTDOORS IN WOOD OF OAK AND PINE BY ACCELERATED WEATHERING TESTS.

Flores Velázquez Rogelio

November 1999

(Under the direction of the Dra. Amparo Borja de la Rosa)

The wood used outdoors requires products that protect it from the action of the agents of elements and in some cases that improve its appearance. In the finishing that form films, cohesion failures takes place between the wood and the film, resulting with a whitening and detachment of this for the interaction of the solar radiation and the humidity.

In this work two poliuretan varnishes of commercial brand for exteriors were tested, one water based and another solvent based, applied on oak and pine wood, using the wheel of accelerated weathering (CTBA of France).

The obtained data were adjusted with the non-linear model of accumulative distribution of Weibull, according to this model, when having the 10% of failure in apparence which is the recommended one by the maker to apply a revarnishing and what Podgorski *et al.*, 1996, states, that is to say, 2.25 hours of weathering in the wheel are equivalent to a day of natural weathering under drastic conditions, the times to which this flaw is reached were considered, being very short for the Hydroform® varnish, while the one for the 11000® varnish was higher to the one recommended by the maker of the product.

Key words: wheel of weathering, film, lixiviation, accelerated weathering, natural weathering, revarnishing.

CONTENIDO

	PAG.
APROBACIÓN DE LA TESIS DE GRADO-----	ii
APROBACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO-----	iii
DEDICATORIA-----	iv
AGRADECIMIENTOS-----	v
DATOS BIOGRÁFICOS-----	vi
RESUMEN-----	vii
ABSTRACT-----	viii
CONTENIDO-----	ix
LISTA DE CUADROS-----	xi
LISTA DE FIGURAS-----	xii
1. INTRODUCCIÓN-----	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA-----	4
2.1. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA EN LA DURABILIDAD DE LOS ACABADOS-----	6
2.1.1. Características y propiedades de la madera-----	7
2.1.2. Características de elaboración de la madera-----	12
2.2. PRODUCTOS PARA ACABADO DE EXTERIORES-----	17
2.2.1. Acabados que forman película-----	18

2.2.2. Acabados de penetración-----	23
2.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN-----	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS-----	34
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES-----	34
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS BARNICES-----	37
3.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO-----	38
3.4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO-----	38
3.5. MÉTODO DE ENSAYO-----	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	44
5. CONCLUSIONES-----	58
6. LITERATURA CITADA-----	60

LISTA DE CUADROS

	PAG.
Cuadro 1. Falla de la apariencia en porciento del barniz Hydroform® en encino y pino.-----	44
Cuadro 2. Perdida de adhesión en porciento del barniz Hydroform® en encino y pino.-----	46
Cuadro 3. Falla de la apariencia en porciento del barniz 11000® en encino y pino.-----	48
Cuadro 4. Perdida de adhesión en porciento del barniz 11000® en encino y pino.-----	50
Cuadro 5. Tiempo en horas en que se alcanza el 10% de falla en apariencia----	55

LISTA DE FIGURAS

		PAG.
Figura 1.	Equipo utilizado para la realización de las pruebas de intemperismo acelerado.-----	39
Figura 2.	Comportamiento de la falla en apariencia desde el inicio hasta el final del ensayo.-----	42
Figura 3.	Tendencia de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en encino y pino.-----	45
Figura 4.	Comportamiento del barniz Hydroform® en porciento de falla de la apariencia.-----	46
Figura 5.	Tendencia de la perdida de adhesión del barniz Hydroform® en encino y pino.-----	47
Figura 6.	Tendencia de la falla en apariencia del barniz 11000® en encino y pino.-----	48
Figura 7.	Comportamiento de la falla en apariencia presentada en el barniz 11000®.-----	49
Figura 8.	Tendencia de la perdida de adhesión del barniz 11000® en encino y pino.-----	51
Figura 9.	Ajuste de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en encino.-	53
Figura 10.	Ajuste de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en pino.----	54
Figura 11.	Ajuste de la falla en apariencia del barniz 11000® en encino.-----	55
Figura 12.	Ajuste de la falla en apariencia del barniz 11000® en pino.-----	56
Figura 13.	Proyección del comportamiento de la falla en apariencia con el modelo de Weibull.-----	57

1. INTRODUCCIÓN

Las características naturales y de elaboración de la madera tienen una influencia muy importante sobre sus propiedades de acabado y durabilidad. Sin embargo, la mayoría de éstas cobran mayor importancia solo cuando la madera natural o con algún tipo de acabado es expuesta a condiciones de intemperismo (Cassens y Feist, 1991).

El acabado es la última fase del proceso de elaboración de cualquier producto terminado de madera. En esta fase, una gran variedad de acabados pueden ser aplicados a la superficie de ésta; como son los acabados transparentes, que resaltan y acentúan la belleza natural de la madera; tintas, las cuales le imparten una apariencia rústica y bloquean parcialmente su color y veteado; y pinturas, que tapan totalmente el color y veteado de la madera y pueden obtenerse en una multitud de colores (Cassens y Feist, 1991; Alegri, 1994; Williams *et al.*, 1996).

La madera utilizada para exteriores requiere generalmente de productos que la protejan contra la acción de los agentes de intemperismo y en algunos casos mejoren su apariencia. La radiación solar y la humedad son los agentes de intemperismo más dañinos y tienden a operar a diferentes tiempos, pero sus efectos se combinan para degradarla. La radiación solar (rayos ultravioleta) es la que más afecta a la madera,

provocando reacciones químicas de foto-oxidación en la superficie de ésta, atacando principalmente a la lignina (elemento cementante) e induciendo cambios en su composición química, así como decoloración y degradación de la madera, daño que se presenta en las capas superficiales de la pieza a profundidades de 0.05 a 5 mm. Si la madera tiene algún tipo de acabado de los que forman película (como son barnices y pinturas) se producen fallas de cohesión entre la madera y la película, terminando con un blanqueo y desprendimiento de ésta por la acción de lixiviación que ejerce la lluvia (Chang *et al.*, 1982; Feist, 1983; Feist y Sell, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

En México los trabajos que se han realizado sobre intemperismo de acabados de madera son realmente escasos y normalmente se han hecho *in situ*, mientras que en otros países los estudios de vida útil del acabado de maderas se realiza comúnmente a través de pruebas aceleradas en combinación con pruebas de campo. En nuestro país éstas apenas empiezan a ser utilizadas, por algunos fabricantes de pinturas y barnices para probar la durabilidad promedio de sus productos, pero con muy pocas bases técnicas que les permitan respaldar sus resultados.

En los últimos años a nivel mundial se ha dado la tendencia por utilizar productos de acabado claros o transparentes (Sell y Feist, 1986b). Mientras que en México los barnices son los más comúnmente utilizados en el acabado de la madera, aún y cuando de los productos que la protegen del intemperismo son los que menor vida útil tienen, requiriendo por tanto, de un mantenimiento más frecuente y laborioso. Por lo que, en

este trabajo se decidió estudiar dos tipos de barnices comerciales para el acabado de maderas expuestas a intemperismo.

OBJETIVO

-Determinar la vida útil del acabado con un barniz base agua y otro base solvente para exteriores, en la madera de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl y *Pinus patula* Schl. et Cham a través de pruebas aceleradas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La apariencia estética y las expectativas de vida de la madera y los productos de acabado se ven enormemente afectados por el proceso de intemperismo. Este proceso modifica la estructura molecular de la madera, como resultado de la compleja combinación de cambios químicos, mecánicos, biológicos y otros cambios inducidos por la luz solar, afectándose unos a otros. En general, con 2 meses de exposición a la luz solar, las maderas oscuras tienden a volverse más claras y las maderas claras más oscuras, adquiriendo posteriormente una tonalidad gris. Subsecuentemente se agrietan y pueden desarrollar rajaduras (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

La primera señal del proceso de intemperismo es el desarrollo del color amarillento o cafezoso de la superficie de maderas claras. En secoya (*Sequoia sempervirens*), cedro (*Thuja plicata*) y maderas duras con duramen oscuro, primero desarrollan una apariencia blanquisca antes de tornarse café, pero el café se puede presentar antes del blanqueado. Estos cambios de color se dan sobre la superficie tan pronto como la madera es expuesta a la luz solar y son relativamente superficiales (de 0.5 a 5 mm en profundidad). Dichos cambios de color resultan de la descomposición de la lignina por la luz ultravioleta del sol, y de los materiales orgánicos y extractivos depositados en los lúmenes de las células de la madera de ciertas especies (Feist, 1985; Cassens y Feist, 1991; Castillo y Erdoiza, 1995; Williams *et al.*, 1996).

Si el intemperismo continua, se desarrolla una capa gris de 0.08 a 0.25 mm. Esta capa esta compuesta de fibras matizadas muy sueltas, es decir, casi pura celulosa; debido a que la lluvia y la humedad arrastran por lixiviación a la lignina y extractivos descompuestos y coloreados de café (Feist, 1985; FPL, 1987; Evans, 1988; Feist *et al.*, 1991; Cassens y Feist, 1991; Castillo y Erdoiza, 1995; Williams *et al.*, 1996). La capa de color gris de la superficie de maderas intemperizadas, frecuentemente también resulta del desarrollo de microorganismos como hongos y mohos. Ciertas especies de estos organismos pueden desarrollarse en lugares con humedades esporádicas y producir un intemperizado uniforme y una apariencia gris sobre la superficie de la madera en unos meses (Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Una vez que la madera intemperizada se torna gris, ocurren cambios adicionales en la madera muy lentamente porque el proceso solo afecta la superficie, que se deteriora en un proceso llamado erosión. En general, para maderas suaves como el pino (*Pinus sp.*), abeto (*Pseudotsuga sp.*), cedro blanco (*Cupressus sp.*), secoya y picea (*Picea abies*) cerca de 6.35 mm de madera intemperizada puede ser erosionada en 100 años. La máxima velocidad de erosión reportada es de 15.87 mm en 100 años de intemperización para madera de lento crecimiento (24 anillos de crecimiento por pulgada) de cedro rojo del oeste (*Thuja plicata*) expuesto verticalmente con la cara orientada hacia el sur. Para maderas duras como el encino (*Quercus sp.*), la velocidad de erosión es de aproximadamente de 3.17 mm por cada 100 años. Las maderas duras se erosionan más lentamente que las maderas suaves (Feist, 1985; Sell y Feist, 1986; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Evans (1988) uso la perdida de peso para evaluar el deterioro de chapa delgada de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) durante el intemperismo. La significativa perdida de peso, resultado de la degradación de la matriz lignocelulosica, más que de la perdida de extractivos solubles en agua que ocurre durante la exposición. También contribuye a esta degradación la despolimerización de la celulosa o hemicelulosa causada por el incremento de la insolación de los azucares de hexosas seguido de extracciones acuosas.

La velocidad de intemperismo de una madera es afectada por las condiciones climáticas, el tiempo de exposición, la densidad de la madera, cantidad de madera temprana y tardía, la orientación de los anillos de crecimiento, la velocidad de crecimiento y, el contenido de lignina y extractivos. En general un material menos denso y una exposición más severa, aceleran el intemperismo y la erosión (Feist, 1985; Sell y Feist, 1986a; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

2.1. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA EN LA DURABILIDAD DE LOS ACABADOS

Las características naturales y de elaboración de la madera que afectan su acabado y durabilidad son: la densidad, la madera temprana y tardía de los anillos de crecimiento, la orientación de los anillos (tipo de corte), la textura, la madera de compresión, la presencia y cantidad de albura y duramen, los extractivos, los nudos y el contenido de humedad (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

2.1.1. Características y propiedades de la madera

La densidad es uno de los factores más importantes que afectan las características de acabado de la madera y el comportamiento del mismo, debido a que las maderas duras se contraen y se hinchan más que las maderas suaves, particularmente en exteriores donde ganan o pierden humedad de acuerdo con los cambios de la humedad relativa y de humedecimientos periódicos causados por lluvia y rocío. Los cambios dimensionales excesivos en la madera causan esfuerzos constantes en la película de acabado, lo cual origina una rápida falla de ésta por rajaduras y formación de escamas (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Sell y Feist, 1986a; Feist y Sell, 1987; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Las deformaciones y rajaduras que ocurren como resultado de los cambios dimensionales de la madera y durante el proceso de intemperismo natural, también están directamente relacionados con la densidad. Las maderas de densidad alta como el pino del sur, abeto Douglas y encino tienden a deformarse y rajarse más que las de baja densidad como la secoya y el cedro rojo del oeste (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

La cantidad de madera tardía en maderas suaves (coníferas) afecta la durabilidad de la pintura y está estrechamente relacionada con la densidad. La pintura nueva se adhiere firmemente a la madera temprana y tardía. Sin embargo, la pintura vieja que se vuelve quebradiza con la edad e intemperismo, pierde su adhesión y se descascara de la

superficie tersa y dura de la madera tardía. En barnices la falla inicial ocurre en la madera temprana como un resultado de la degradación por la luz ultravioleta de la interface madera-barniz (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Normalmente no se encuentran bandas anchas de madera tardía en el corte radial de cedro y secoya, lo cual mejora su pintabilidad, en contraste, estas bandas son muy prominentes en pino amarillo del sur (*Pinus sp.*) y abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), dos de las especies más comúnmente usadas para la construcción en general y para la producción de triplay en los Estados Unidos de América (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993b; Williams *et al.*, 1996).

La erosión por unidad de tiempo depende predominantemente de la densidad de la madera, por lo tanto del grosor de la pared celular de la misma. Siendo la relación entre densidad y erosión aproximadamente lineal dentro del rango de densidad de 0.3 a 1.0 g/cm³. La influencia de la densidad en la erosión es particularmente notoria si se compara la erosión de la madera temprana y tardía de las maderas suaves, la cual se presenta por unidad de tiempo de exposición en una relación de alrededor de 4.4 a 1 (Sell y Feist, 1986a). Por ejemplo en la madera de cedro rojo del oeste; la madera de primavera se erosiona más rápido que la madera de verano en las primeras etapas de intemperismo acelerado y natural. Sin embargo, después de dos años de intemperismo natural, el coeficiente de erosión fue similar para la madera temprana y la tardía (Feist y Mraz, 1978a).

Las maderas duras son compuestas principalmente de células (fibras) relativamente cortas, de diámetros pequeños y poros (vasos) de mayor diámetro, en contraste las maderas suaves están compuestas de células (traqueidas) más largas y de diámetro pequeño. El tamaño y disposición de los poros puede tener mayor influencia que los factores de densidad y patrones de corte sobre la retención de acabados. Las maderas duras como el encino y fresno (*Fraxinus sp.*) son poco adaptables a los métodos ordinarios de acabado porque pequeños hoyos como piquetes de alfiler pueden formarse en la película sobre sus poros grandes. Estos hoyos son insignificantes, pero conducen a una rápida falla de la película. Por otro lado especies con una textura fina y poros pequeños tienen en general una mejor pintabilidad en comparación con especies de textura gruesa. En las maderas con poros grandes se debe aplicar previo al acabado de estas un sellador que tapone dichos poros (Cassens y Feist, 1991; Alegri, 1994; Williams *et al.*, 1996).

La textura de una madera es debida en primera instancia a su estructura anatómica (diámetro de traqueidas o vasos y grosor de pared celular), en segundo lugar a los métodos de maquinado empleados en su procesamiento (marcas de los dientes en el aserrio, marcas de cuchilla en el cepillado, etc.), y también se puede presentar como resultado de la variación que se da dentro de los métodos de maquinado (vibraciones, desalineamientos y desafileado) (Richter *et al.*, 1995).

Así pues, la pintura y el barniz pueden durar más si se aplican sobre superficies tersas y con un corte radial. Los acabados naturales como las tintas de penetración y los

tratamientos de preservación por el contrario duran más en superficies rugosas y con un corte tangencial. Los acabados naturales que no forman película acentúan el aspecto rústico de la madera aserrada y permiten que la veta y la textura de la superficie se vean a través del acabado; en triplay, una aplicación inicial dura más en superficies de textura rugosa que en superficies tersas, debido a la mayor cantidad de producto que es aplicado en ellas (Cassens y Feist, 1991; Richter *et al.*, 1995; Williams *et al.*, 1996). Se ha encontrado también, que en superficies lijadas, el comportamiento del entintado es mejor con menos de la mitad de tinta aplicada que en superficies muy ásperas, con índices de comportamiento mejores aún que los encontrados en madera muy áspera (Richter *et al.*, 1995). En general la mayor durabilidad del entintado de superficies ásperas es debido en primera instancia a la mayor cantidad de producto aplicado y absorbido, más que a la rugosidad de la superficie (Feist, 1988; Feist, 1994; Richter *et al.*, 1995).

Así mismo, la madera de compresión puede ocasionar una falla rápida de los productos de acabado que forman película debido a que tiende a contraerse excesivamente en la dirección longitudinal. Esta madera es formada en el lado inferior de árboles inclinados de especies de maderas suaves. La parte del anillo de crecimiento con madera de compresión es usualmente más ancha y tiene una alta proporción de madera tardía. Esta madera presenta serios problemas en los procesos de elaboración porque es menos resistente que la madera normal con la misma densidad (Cassens y Feist 1991).

Los atractivos colores, buena estabilidad dimensional, y la buena resistencia natural a la pudrición de muchas especies son debidas a la presencia de extractivos. Sin embargo, algunos de estos extractivos pueden causar serios defectos en el tiempo de aplicación del acabado, además de retardar su curado y disminuir su adhesión. Porque los extractivos solubles en agua, pueden ser disueltos cuando el agua libre esta presente y subsecuentemente transportados a la superficie de la madera donde el agua se evapora y los extractivos permanecen como una mancha café rojiza. Si la madera es pintada, la resina se puede difundir a través de las capas de pintura, decolorándolas o provocando la formación de burbujas. Los problemas más serios ocurren cuando la madera se calienta por ejemplo por la acción del sol, la resina es forzada a salir a la superficie. Una vez que la resina se encuentra en la superficie de la madera, la trementina se evapora, dejando gotas de colofonia dura (FPL, 1987; Hse y Kuo, 1988; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Los árboles más viejos tienen un porcentaje mayor de duramen comparativamente con los más jóvenes. Algunas especies como el pino amarillo del sur tienen una zona más amplia de albura que las especies como el cedro y la secoya. En las maderas longevas de algunas especies, como el ciprés y la secoya, es notable su resistencia natural a la pudrición y al ataque de insectos. La madera de segundo crecimiento contiene un porcentaje más alto de albura, la cual no es resistente a la pudrición y ataque de insectos; su duramen no es tan resistente como el de las maderas longevas debido a la menor cantidad de extractivos que contiene (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Pretratamientos a la superficie de la madera de secoya y cedro rojo del oeste con diferentes químicos solubles en agua entre los que se encuentran cloruro de estaño, complejo de óxido de amoníaco y zinc, cromato de cobre, y compuestos simples de cromo, previenen la degradación por manchado, que se da por el exudado natural de extractivos de la madera solubles en agua, pudiéndose aplicar posteriormente sin problema pinturas de látex base agua (Feist, 1977).

Los aceites aromáticos que se encuentran en la madera son solubles en muchos acabados comunes que forman película y por esto pueden decolorar las pinturas u otro acabado. La presencia de aceites puede también retardar el secado de las capas dejándolas pegajosas, y frecuentemente causa ampulas, ablandamiento, arrugado, y desintegración general de las capas. Los problemas de acabado que se presentan por la resina y los aceites pueden generalmente ser reducidos usando una secuela de secado correcta (Hse y Kuo, 1988; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

2.1.2. Características de elaboración de la madera

La manera en la cual una tabla es cortada en el aserrio afecta la orientación de los anillos de crecimiento y así su pintabilidad o características de acabado. La madera con corte tangencial se contrae y se hincha más que la madera de corte radial y también presenta bandas de madera tardía más anchas y más oscuras (Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996). El corte radial de la madera generalmente ayuda a mejorar la pintabilidad de ésta, comparativamente con el corte

tangencial en maderas suaves. En maderas duras, la diferencia de pintabilidad entre los cortes es relativamente pequeña comparada con la que se da en las maderas suaves (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

La presencia de nudos y otras irregularidades (tales como corteza, grietas, bolsas de resina y daños de insectos) afectan la pintabilidad de la madera. Los nudos normalmente son cortados transversalmente por lo que absorben una mayor cantidad de producto de acabado que el corte tangencial o radial, esto afecta la apariencia de las capas de acabado. En los pinos los nudos casi siempre contienen un alto porcentaje de resina, lo cual puede causar que la pintura sobre los nudos se decolore y/o se adhiera pobremente. Además los nudos grandes frecuentemente se rajan y rompen, dando como resultado una grieta o defecto, empezando la falla del acabado por este punto. Por consiguiente, cuando se va a pintar una madera es conveniente que esta sea de la mejor calidad posible, es decir, libre de defectos, para lograr la mayor vida útil de servicio de la película (Hse y Kuo, 1988; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

El contenido de humedad de la madera es un factor crítico en la determinación de la vida en servicio de un acabado. Y debe considerarse durante el proceso de construcción y acabado. La mayor vida útil de un acabado se consigue cuando el contenido de humedad de la madera es igual al contenido de humedad en equilibrio del lugar donde se va a utilizar. Sin embargo, tanto el contenido de humedad como las dimensiones de la madera todavía varían un poco, de acuerdo con las variaciones de la humedad relativa de la atmósfera, pero estos cambios no son excesivos, por lo que los

acabados que forman película no son sometidos a esfuerzos innecesarios, obteniéndose así una mayor vida de servicio de estos (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Los cambios en el contenido de humedad de la madera le ocasionan hinchamiento y contracción lo que le provoca esfuerzos en su superficie. La humedad en combinación con la luz solar ocasionan grietas y rajaduras macroscópicas y microscópicas intercelulares e intracelulares. Por las diferencias de hinchamiento y contracción que existen entre la madera temprana y la madera tardía se puede presentar el grano levantado. El enlace de las paredes celulares cercanas a la superficie pierde resistencia; erosionándose con la acción continua del agua sobre la superficie ablandada (Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Con la finalidad de determinar el efecto de las lluvias ácidas sobre madera expuesta a intemperismo, Williams (1987) trató pequeñas muestras (2.5 x 2.5 x 0.65 cm) de cedro rojo del oeste con ácido sulfúrico diluido o ácido nítrico periódicamente durante la prueba realizada de intemperismo acelerado, incrementándose la erosión en un 12%, lo que conduce paralelamente a una reducción de la vida útil de servicio de la madera, representando pérdidas económicas substanciales, debido a las grandes cantidades de madera sin protección que se encuentra en uso y la presencia de lluvias ácidas.

Si se usa madera húmeda se secará posteriormente cuando este en servicio, y se presentaran contracciones acompañadas quizá de alabeos, torceduras y rajaduras. Si el

contenido de humedad es mayor del 20% cuando la madera es pintada, probablemente se formen burbujas o se descascare. Además la presencia de extractivos de color oscuro en maderas como secoya y cedro rojo del oeste pueden decolorar la pintura ligeramente después de su aplicación (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Las pinturas porosas como pinturas de látex y bajo lustre o pinturas base aceite que permiten la entrada y salida de aire, formuladas con una concentración de sólidos alrededor del 40% proporcionan poca protección contra la humedad. Estas pinturas permiten la rápida entrada del agua de rocío y lluvia a menos que sean aplicadas sobre un sellador no poroso. Del mismo modo, los acabados de penetración como el aceite de linaza, aceite de tung, repelentes de agua, y las tintas son inefectivos contra el vapor de agua (FPL, 1987; Cassens y Feist 1991). La modificación química de la pared celular con anhídrido acético y saturando el lumen con metacrilato de metilo en la madera de álamo da muy buenos resultados en la reducción de la velocidad y extensión del hinchamiento y de la erosión causada por intemperismo acelerado (aproximadamente en 85%) (Feist *et al.*, 1991).

Un buen acabado para exteriores retiene su máxima efectividad de aislamiento contra la humedad por un tiempo considerable y pierde su efectividad lentamente. Los blanqueados profundos, grietas o rajaduras indican serios daños de la efectividad de aislamiento contra la humedad del acabado. Mientras que la apariencia e integridad original del acabado se mantienen, se tiene la mayor efectividad (FPL, 1987; Cassens y Feist 1991).

Con la aplicación de un tratamiento de calentamiento a la madera de haya (*Fagus sylvatica*) y picea se reduce su higroscopicidad y aumenta su estabilidad dimensional, mejorando así sus características de resistencia al intemperismo, especialmente en el haya. Además en las dos especies se tienen efectos pequeños pero medibles sobre el comportamiento y durabilidad de las tintas semitransparentes de penetración y formadoras de película (Feist y Sell, 1987).

Para que un acabado sea efectivo en la minimización de los cambios del contenido de humedad de la madera, debe ser aplicado en todas las caras de esta, particularmente en los cabezales. El corte transversal de estos les permite absorber mucho más rápido la humedad que las otras caras, y los acabados generalmente fallan en esta área primero. Se requiere fortalecer el acabado (dar dos y preferentemente tres manos) porque si no se sellan los poros éste no es efectivo (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

El humedecimiento de la madera de cedro rojo del oeste con agua fue medido como ángulo de contacto usando una técnica de grabado en videocinta. El ángulo de contacto disminuyó, de 77 a 51 grados después de 4 semanas de intemperismo. El mayor humedecimiento de la madera intemperizada sugiere que este es un factor que contribuye al deterioro de la estructura de la madera. Los resultados también señalan que el intemperismo de la madera incrementa su humedecimiento por la reducción o remoción del efecto repelente al agua de los extractivos, degradación de los componentes hidrofóbicos de la lignina de la madera y por la celulosa que se hace más abundante sobre la superficie (Kalnins y Feist, 1993).

De las maderas suaves, la secoya y el cedro rojo del oeste son consideradas las más fáciles para dar un acabado y mantenimiento, mientras que el pino amarillo del sur y el abeto Douglas son las más difíciles. La secoya y el cedro son maderas de baja densidad y tienen bandas angostas de madera tardía, mientras que el pino amarillo del sur y el abeto Douglas son de mayor densidad y tienen amplias bandas de madera tardía. Las mejores maderas duras para pintarse son las de textura fina y uniforme (poros pequeños) y con una densidad de media a baja tal como el álamo amarillo, la magnolia, y álamo de Virginia. En maderas duras la pintura tiende a descascararse en hojuelas bastante grandes, sin importar aparentemente el hilo de la madera que se encuentra como soporte de la pintura (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

2.2. PRODUCTOS PARA ACABADO DE EXTERIORES

La función primaria de cualquier tipo de acabado para madera es proteger la superficie de esta del proceso de intemperismo natural, y ayudarla a mantener su apariencia (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Echenique y Robles, 1993; Williams y Feist, 1993b; Castillo y Erdoiza, 1995), aún cuando no se puede frenar completamente o revertir el proceso de intemperización de la madera en exteriores, si se puede reducir significativamente su efecto usando algún tipo de acabado de los que en párrafos subsecuentes se mencionan. Para seleccionar el tipo de acabado para exteriores se debe tener en consideración: apariencia, durabilidad, costos, tipo de superficie, destino final del producto, facilidad de aplicación y mantenimiento (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Echenique y Robles, 1993; Alegri, 1994).

Los dos tipos básicos de acabado o tratamiento usados para proteger la superficie de la madera del intemperismo son aquellos que forman película o capas y los que penetran. Los que forman película incluyen pinturas y barnices, y dentro de los que penetran se encuentran los preservadores, repelentes de agua, tintas pigmentadas semitransparentes y tratamientos químicos (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Echenique y Robles, 1993; Castillo y Erdoiza, 1995).

2.2.1. Acabados que forman película

De todos los acabados, las pinturas son las que proveen la mayor protección a la madera contra la degradación provocada por los rayos ultravioleta y de la simple erosión de la superficie (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Feist, 1994; Williams *et al.*, 1996). Dependiendo de la porosidad de la pintura y del número de capas aplicadas, ésta retarda la entrada de la humedad exterior en la madera, reduciendo así los problemas de decoloración por extractivos de la madera, agrietamiento y deformación de la misma y descascarado de la pintura. Las pinturas no son preservadores, por lo que no pueden prevenir la pudrición si las condiciones son favorables para el desarrollo de los hongos que la provocan (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Carll y Feist, 1987; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams *et al.*, 1996). Pero la aplicación de un preservador repelente de agua base solvente como sellador previo a la aplicación de la pintura puede reducir la pudrición de la madera (Feist, 1990).

Las pinturas base aceite o alquídicas son esencialmente suspensiones de pigmentos inorgánicos en un vehículo oleoresinoso que une las partículas pigmentantes y los agentes de enlace a la superficie de la madera. Una de las propiedades más importantes de las pinturas es la relación entre el volumen de pigmentos y el volumen de agentes de enlace. Cuando la relación sobrepasa cierto límite, el volumen de agentes de enlace es inadecuado para cubrir totalmente las partículas pigmentantes y en apariencia la pintura se convierte en porosa y sin cuerpo. Las pinturas de látex son suspensiones de pigmentos inorgánicos y varias resinas de látex en donde el solvente o dispersante es el agua. Las resinas acrílicas de látex son muy durables, pero todavía no es aceptado que un buen látex acrílico usado en exteriores dure más que una buena pintura base aceite. La película de pintura base aceite usualmente provee el mejor escudo contra el agua líquida y vapor de agua. Sin embargo, no son necesariamente las más durables porque con el tiempo se tornan frágiles. Las pinturas de látex son también más porosas y flexibles, y el hecho que ellas puedan ligeramente respirar (aunque sin embargo, detiene el agua derramada sobre ella) puede contribuir a su longevidad, pues son las que mejor se acomodan a los cambios dimensionales de la madera (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams *et al.*, 1996).

Pruebas realizadas en palizadas por el Laboratorio de Productos Forestales de Madison Wisconsin y otros laboratorios, muestran que todas las pinturas de látex acrílico de acabado o terminado, aplicadas en dos manos sobre un sellador de tinta acrílica de látex dura más que cualquier otro sistema de pintura, aún sobre superficies de triplay ásperas difíciles de pintar. Las pinturas de látex son más fáciles de usar que las pinturas

base aceite porque el agua es usada para limpiarlas (Feist, 1987; Feist, 1988b; Carll y Feist, 1989; Feist, 1990; Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993; Feist, 1994; Williams *et al.*, 1996).

El comportamiento de las pinturas es mejor sobre superficies tersas, cortes radiales de maderas de baja densidad como secoya y cedro y en todas aquellas maderas que pueden lograr un acabado blanco brillante, estas se aplican a la superficie de la madera y no penetran profundamente, formando una película que oscurece o cubre completamente la veta. Los costos iniciales y de mantenimiento son frecuentemente más altos para un acabado con pintura que para uno con preservadores repelentes de agua o con una tinta de penetración (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Los barnices también son calificados como acabados formadores de película. Estos acabados claros siempre han sido populares porque acentúan la veta y el color de la madera. Desafortunadamente, requieren de un frecuente mantenimiento para conservar su atractiva apariencia, pues la luz ultravioleta del sol degrada el barniz y las fibras de la madera que se encuentran inmediatamente abajo de éste (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams *et al.*, 1996). El mal comportamiento de los barnices al exterior, se debe a que su transparencia, permite el paso de la radiación ultravioleta, hacia la madera y produce reacciones de foto-oxidación de la lignina, dañando así la estructura de la pared celular, produciendo decoloración y fallas en la cohesión entre la madera y la película de barniz, terminando finalmente con un blanqueo y desprendimiento de esta última (Infante, 1991).

Por análisis químico directo y por técnicas espectroscópicas se demuestra que la pérdida de peso ocurrida en la madera barnizada de *Pinus radiata* durante el intemperismo natural es debido a la pérdida de ligninas y hemicelulosas. Esta pérdida de peso se reduce considerablemente con la aplicación de compuestos de trióxido de cromo y compuestos férricos (Evans *et al.*, 1992). En esta misma especie la erosión de la región de la lamina media ocurre rápidamente en la madera tardía y la subsecuente degradación de estas células se presenta a través de la separación individual de traqueidas y la erosión y delaminación de la pared secundaria. Las traqueidas de madera temprana muestran erosión preferencial de la lamina media mostrando menos tendencia a separarse pero son rápidamente erosionadas durante el intemperismo (Evans, 1989).

Nuevos barnices de resinas sintéticas han sido fabricados con inhibidores especiales de rayos ultravioleta, pero algunos de estos rayos logran pasar aún a través de la película. Eventualmente, los barnices empiezan agrietarse, descascararse y desprenderse en escamillas, llevándose adheridas las fibras de la madera degradada fotoquímicamente. La durabilidad del barniz en maderas bajo la acción del intemperismo es limitada, y es necesario aplicar varias capas de éste para tener una durabilidad aceptable, aunque eventualmente éste puede volverse quebradizo como resultado de la exposición a la luz del sol. La limpieza y rebarnizado se hace tan pronto como la falla ocurre, y esto puede ser antes de un año bajo condiciones severas (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams *et al.*, 1996).

Si el acabado no requiere de una larga vida de servicio, está protegido de la luz directa del sol por un saliente o tejado y/o se encuentra en el lado norte de la construcción, un mínimo de tres manos de barniz es recomendado, y la madera además puede ser tratada inicialmente con un preservador repelente de agua pintable como sellador. El uso de barnices compatibles con tintas pigmentadas y pinturas como sellador puede también contribuir alargar la vida de los acabados claros (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

El barniz entintado es un acabado que casi forma una película y ha sido recientemente desarrollado en Europa. La película de barniz entintado es más gruesa que la obtenida con una tinta semitransparente, pero más delgada que la de un barniz. El barniz entintado contiene un repelente de agua, pigmentos transparentes especiales de óxido de hierro, y fungicida. La superficie donde se aplica este acabado se erosiona lentamente y puede ser más fácilmente reacabada que cuando se utiliza un barniz convencional. El barniz entintado de manera usual es aplicado inicialmente a un sistema de tres manos (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Los barnices poliuretanos son más fuertes y quizá más resistentes a la radiación ultravioleta que otros acabados transparentes formadores de película, pero son de más alto costo, difíciles de usar, y generalmente no tienen una vida mucho más larga que los barnices convencionales (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Las maderas de poros grandes son más difíciles de barnizar en relación con las maderas de poros pequeños, y a las maderas resinosas se les debe tener una consideración especial, pues la resina que contienen aflora constantemente al exterior, incluso durante el proceso de barnizado, produciendo una dificultad adicional por retardo o inhibición del secado, la cual solo puede ser soslayada mediante la aplicación de capas de aislamiento. Una dificultad adicional se presenta cuando de forma independiente o combinada con las anteriores características, existe una dificultad notoria respecto a la mojabilidad y extensibilidad de los productos de acabado tipo tintas y barnices (Alegri, 1994).

Los acabados formadores de película, como la pintura, duran más sobre una madera estable (Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996), por eso en ocasiones es conveniente dar una mayor estabilidad dimensional a la madera con un tratamiento o acabado como la aplicación de un preservador repelente de agua antes del pintado. Aún cuando se aplicaran un gran número de manos del producto de acabado, no se pueden eliminar completamente los cambios del contenido de humedad de la madera en respuesta a los cambios de la humedad relativa (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

2.2.2. Acabados de penetración

Los acabados de penetración están diseñados para ser absorbidos por la madera, saturando las fibras de la superficie y rellenando, parcial o completamente los poros.

Muchos acabados de penetración contienen repelentes de agua, usualmente en forma de cera de parafina que es disuelta en alcohol mineral u otros solventes (Feist, 1985).

Los repelentes de agua normalmente son claros y pueden ser usados solamente como un acabado natural de penetración o como un tratamiento preliminar de la madera que va a ser pintada (Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams y Feist, 1993b; Feist, 1994; Castillo y Erdoiza, 1995; Williams *et al.*, 1996). Los preservadores repelentes de agua contienen un fungicida, una pequeña cantidad de cera como repelente de agua, una resina o aceite seco, y un solvente que puede ser trementina, alcohol mineral, o aceite de parafina y algunos contienen además estabilizadores de radiación ultravioleta (Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Castillo y Erdoiza, 1995; Williams *et al.*, 1996). La mayoría de los acabados claros de penetración contienen preservadores de la madera con repelentes de agua adicionados, estos hacen mucho más efectivos los acabados para exterior (Feist, 1985; Feist, 1990; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996). Los preservadores controlan el desarrollo de mohos y otros hongos, y algunos también impiden el ataque de insectos (Feist, 1985; Feist, 1990; Cassens y Feist, 1991; Feist, 1994; Castillo y Erdoiza, 1995; Williams *et al.*, 1996). Esto es especialmente importante en lugares húmedos y sombreados. Se recomienda no aplicar los preservadores repelentes de agua en madera que va a estar en contacto con el suelo (Feist, 1985; Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993b; Williams *et al.*, 1996).

La aplicación inicial de un preservador repelente de agua en superficies tersas tiene una vida corta de 1 a 2 años, y de 1 a 3 años en madera áspera aserrada o superficies intemperizadas. Cuando una superficie empieza a mostrar una mancha de decoloración como resultado de los extractivos o enmohecimiento, ésta debe ser limpiada con un blanqueador comercial o un líquido blanqueador de uso domestico y detergente, enjuagar bien y dar un retratamiento después del secado. Durante los primeros años un acabado fresco puede ser aplicado cada año más o menos, después que la madera a sido intemperizada y toma un tono de color uniforme, los tratamientos adicionales pueden ser dados cada dos o tres años porque las tablas intemperizadas absorben más producto (FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

Muestras colocadas a ángulo recto simulando la esquina de la parte baja de una ventana y de marcos de ventana fueron tratadas con un repelente de agua hecho de cera de parafina, resina y solvente, de las cuales unas fueron pintadas y otras no, encontrando que éste dio una excelente protección contra intemperismo natural durante 20 años de exposición; tanto las muestras pintadas como las no pintadas estuvieron intactas y libres de pudrición. Así, los resultados obtenidos demuestran que los preservadores tales como el pentaclorofenol no son necesarios para proteger las ventanas y sus marcos de la pudrición que se da sobre el suelo en exposiciones climáticas del norte si la madera es protegida por un repelente de agua (Feist y Mraz, 1978b).

Cuando se adhieren pigmentos inorgánicos a acabados claros de penetración que contienen preservadores de madera, repelentes de agua, o ambos, la mezcla es clasificada

como una tinta semitransparente de penetración. Estas tintas penetran la madera formando una película más delgada que la obtenida con pinturas, la cual permite ver la veta de la madera. Las tintas base látex son formadoras de película y no se comportan como verdaderas tintas de penetración (Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams y Feist, 1993b; Williams *et al.*, 1996).

Las tintas semitransparentes base solvente son las mejores, pues permiten a la madera el movimiento de vapor de agua, así el acabado no se aburruja o se descascara aún cuando el contenido de humedad de la madera sea alto (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993b; Feist, 1994; Williams *et al.*, 1996). Los pigmentos en una tinta semitransparente de penetración incrementan enormemente la durabilidad del acabado, principalmente por la absorción de la luz ultravioleta que de otro modo va actuar sobre las fibras de la madera. Si se dobla la cantidad de pigmentos en la formula se mejora por consiguiente la durabilidad pero el acabado se hace menos transparente y el color más intenso. La mezcla total de pigmentos, resina, preservadores y repelente de agua es lo que determina la durabilidad del sistema de entintado para exteriores, además de la cantidad de material aplicado a la superficie de la madera, recomendándose aplicar de dos a tres manos (Feist, 1988a; Feist, 1988b; Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Williams y Feist, 1993b; Williams *et al.*, 1996).

Las tintas de penetración son convenientemente usadas en superficies de textura tersa y áspera, pero sus cualidades de protección son marcadamente mejores si son

aplicadas sobre superficies aserradas ásperas, intemperizadas, o madera de textura gruesa porque se puede aplicar más producto a tales superficies y el tipo de superficie que no acepta la pintura muy bien, como son caras tangenciales de maderas densas tales como el pino amarillo del sur (Feist, 1983; Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Echenique y Robles, 1993; Feist, 1994; Richter, 1995; Williams *et al.*, 1996).

La primera aplicación de una tinta semitransparente de penetración en una superficie cepillada totalmente expuesta a intemperismo dura de 2 a 3 años. Dos manos de tinta aplicadas a la superficie de madera aserrada áspera o intemperizada puede durar de 6 a 8 años o más. En general las tintas semitransparentes base aceite o alquídicas dan el doble y frecuentemente el triple de tiempo de vida en servicio del que se obtiene con un preservador repelente de agua sin pigmentos u otros acabados transparentes (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

En el acabado de la madera de especies de densidad alta tales como pino amarillo del sur y abeto Douglas, la superficie puede ser tratada con un preservador repelente de agua y dejada a la intemperie por un año antes del entintado. La primera mano de tinta entonces penetra uniformemente y es más durable porque el intemperismo hace que la superficie de la madera absorba más (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

La aplicación de un fungicida a las tintas semitransparentes mejora su apariencia cuando son usadas sobre maderas expuestas a intemperismo. Adicionando un 10% de pentaclorofenol a la tinta, la efectividad fungicida después de 18 meses de exposición es

de 100% y de 64% después de 30 meses; mientras que agregando solo 5% de pentaclorofenol, su efectividad fungicida se reduce a 69% y 41% después de 18 y 30 meses de exposición respectivamente. La efectividad del fungicida varia de acuerdo con las condiciones climáticas, el substrato y la concentración química (Feist y Mraz, 1980).

Muchos aceites o formulaciones de acabado natural de la madera base aceite son disponibles para el acabado de maderas que se utilizaran en exteriores, los aceites más comunes son el de linaza y tung. Sin embargo, estos aceites pueden servir como una fuente de alimento para los mohos si son aplicados a la madera en ausencia de un fungicida. El comportamiento de los aceites se mejora si se incluye un repelente de agua en su formulación (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

En situaciones severas de intemperismo usualmente se utilizan los preservadores de madera, que se clasifican principalmente en tres tipos: aceites como creosota de alquitrán de hulla, soluciones de solventes orgánicos como pentaclorofenol (penta), y sales hidrosolubles como arsenatos cromatados de cobre (CCA) y arsenato de cobre amoniacal (ACA). En la madera tratada a presión con CCA después de pocos años algunas de las piezas pueden agrietarse y rajarse como parte del proceso de intemperismo natural (Feist, 1983; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996). De hecho, el tratamiento con CCA mejora la durabilidad de los acabados, particularmente la de las tintas semitransparentes. El óxido de cromo que se encuentra en CCA se enlaza a la madera, disminuyendo la degradación de la superficie

de la misma y puede incrementar la durabilidad de las tintas semitransparentes de dos a tres veces (Feist, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.* 1996).

El efecto de fotodegradación de la madera puede ser mitigado por medio de tratamientos con soluciones acuosas de ácido crómico y cloruro férrico. Pequeñas cantidades relativamente de estos químicos son necesarios para una protección efectiva (Shang *et al.*, 1982). Soluciones acuosas de trióxido de cromo (ácido crómico) o nitrato de cromo mejoran la resistencia contra el intemperismo de las tintas semitransparentes y acabados claros formadores de película (Barniz poliuretano) en cedro rojo del oeste y abeto Douglas (Williams y Feist, 1988). En general un pretratamiento con un repelente de agua o una solución acuosa de óxido de cromo, mejora enormemente el comportamiento de los diferentes productos de acabado al intemperismo, ya que ayudan a controlar la pudrición de las maderas (Feist, 1987).

En un experimento hecho para determinar si, con las pruebas aceleradas de intemperismo se muestran diferencias en relación con las rajaduras en la superficie tratada de muestras de encino rojo con preservadores de tipo oleosolubles como la creosota y el pentaclorofenol, se concluye que los preservadores incluidos en el experimento efectivamente reducen la cantidad de rajaduras en la superficie en comparación con el testigo que no fue tratado (Rietz, 1961).

El comportamiento y durabilidad de los diferentes productos de acabado aplicados sobre madera previamente tratada con preservadores CCA se da de la siguiente

manera; en productos completamente pigmentados (formadores de película como pinturas) fue mejor que en los ligeramente pigmentados (como las tintas semitransparentes) y mucho mejor en comparación con los no pigmentados (como los repelentes de agua transparentes y los preservadores repelentes de agua) (Feist y Ross, 1995).

Donde se considera dar un acabado formador de película a la superficie de la madera, la aspereza ocasionada por el intemperismo provoca que ésta sea un substrato muy pobre y entre mayor sea el tiempo de intemperización más rápido se presenta el agrietamiento y rajado del acabado. Así pues unas semanas de exposición de una madera clara disminuye su pintabilidad y la vida del acabado, por la pérdida de adhesión presentada en la superficie; aplicando un preservador repelente de agua a la madera intemperizada antes del pintado reduce la degradación de la pintura (Williams *et al.*, 1987; Feist, 1990; Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993a; Williams y Feist, 1993b; Williams *et al.*, 1996). La acción combinada de esfuerzos de tensión, compresión, cortante y flexión sobre la superficie causa una disminución de la adhesión entre el acabado y la madera (Sell y Feist, 1986b).

Los cambios en la adhesión entre la superficie de madera intemperizada previamente y el sellador aplicado a la misma depende del tipo de sellador, tiempo de exposición antes del sellado y de la especie. Los resultados obtenidos por Williams *et al.* (1987) muestran que los paneles de cedro rojo del oeste intemperizados por más de cuatro semanas y posteriormente pintados con sellador alquídico o sellador acrílico de

látex fallan principalmente en la interfase madera-pintura, mientras que en las muestras expuestas a intemperismo por 2 semanas o menos, previo a su pintado con los mismos tipos de selladores la falla se presentó en la madera. En otra investigación realizada por Williams *et al.* (1990) se obtiene que los paneles pintados con sellador acrílico de látex fallan principalmente en la interfase madera-pintura, y su resistencia al esfuerzo cortante disminuye de acuerdo con el tiempo de exposición. Aunque los paneles pintados con un sellador alquídico no tuvieron una tendencia general de falla para las muestras expuestas a intemperismo de 0 a 4 semanas, las muestras expuestas por 8 semanas fallaron principalmente en la interfase madera-pintura, lo cual demuestra que hay una pérdida de adhesión en maderas intemperizadas.

Por otro lado, algo de intemperización de la superficie puede ser benéfico para los acabados de penetración (como las tintas) porque permite que haya una mayor absorción de la solución de acabado (Cassens y Feist, 1991; Williams y Feist, 1993; Williams *et al.*, 1996). Sin embargo, Arnold *et al.* (1992b) encontraron que el intemperismo de 1 a 16 semanas de triplay de cedro rojo del oeste y abeto Douglas no tuvo ningún efecto sobre la durabilidad de la tinta semitransparente base aceite. Pero, si incremento la cantidad de tinta necesaria en la aplicación debido a la degradación de la superficie, siendo los resultados de protección similares a los obtenidos en maderas que no fueron intemperizadas, esto debido a que la interfase acabado-madera es más débil a causa de la intemperización, lo cual tiene un efecto negativo sobre el aspecto de costos por la mayor cantidad de tinta requerida para obtener la misma durabilidad. Lo anterior es sumamente importante porque en cualquier proceso de construcción con madera, ésta

es frecuentemente expuesta por muchas semanas o meses a intemperismo antes de aplicarle algún tipo de acabado (como pinturas, tintas o cualquier otro acabado).

2.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

La mayoría de los métodos para evaluar el efecto del intemperismo sobre la superficie de la madera tienen algunas desventajas que limitan su uso para labores específicas. La erosión de la superficie frecuentemente es usada como una medida de la acción del intemperismo. La aplicación de un sistema de escaneado láser para reproducir los perfiles de la superficie y para medir la erosión por intemperismo fue probado sobre varias muestras y se encontró que es una alternativa muy útil y superior a los métodos existentes. Este método consiste en la determinación de la erosión de la superficie mediante la proyección de un rayo láser y los cambios de posición de dicho rayo sobre un fotodiodo de recepción, los cuales son proporcionales a los cambios verticales sobre la superficie de la muestra. Los cambios en la señal del fotodiodo son recogidos digitalmente y almacenados en una computadora (Arnold *et al.* 1992a). Por otro lado Arnold *et al.* (1992b) mencionan que el uso de técnicas de análisis de imágenes en la evaluación de paneles intemperizados no mostró una mejor precisión en relación con las técnicas visuales y requieren substancialmente de más tiempo y son más costosa. La ventaja del uso de las técnicas de análisis de imagen es que los datos se van almacenando en computadora para su evaluación posterior.

Con respecto a la erosión, 2400 horas de intemperismo acelerado corresponden aproximadamente a 4 años de intemperismo natural de la madera que es instalada verticalmente en una pared orientada hacia el sur. El intemperismo acelerado consistió de 24 horas de exposición a la luz ultravioleta por día y 4 horas de rociado con agua destilada sin apagar la luz ultravioleta de la cámara. Las condiciones de la cámara fueron $45\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50\pm 2\%$ de humedad relativa. (Feist y Mraz, 1978a; Sell y Feist, 1986a)

Podgorski *et al.* (1996) determinaron en la madera de encino, lauan y moabi con un acabado a tres manos de tinta alquídica base solvente con una retención de 130 g/m^2 peso seco y un grosor de película de $150\text{ }\mu\text{m}$, que alrededor de 800 horas de intemperismo natural, con las muestras a 1 m del suelo y con una inclinación de 45° , orientadas hacia el sur corresponden a 75 horas de intemperismo artificial, utilizando la rueda de intemperismo desarrollada por el CTBA, donde un ciclo de 1 hora 30 minutos comprende: 12 minutos de inmersión en agua destilada, 27 minutos en condiciones ambientales (25°C), 24 minutos bajo la acción de 6 lámparas de luz ultravioleta y 27 minutos en condiciones ambientales (25°C). La evaluación la hicieron en base a la temperatura de transición vítrea de los polímeros que constituyen el acabado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito (INIFAP), ubicadas en San Martinito Tlahuapan, Puebla y los barnices probados fueron donados por la empresa Polyform S.A. de C.V.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES

Quercus crassifolia Humb. & Bonpl.

Árbol de hasta 20 m de altura, con diámetro de hasta 50 cm, se distribuye en altitudes de 1900 a 2800 msnm (Bello, 1987). En los estados de: Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, México, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, San Luis Potosí, Sinaloa, Veracruz y Zacatecas (Zavala, 1996).

La madera presenta color castaño rojizo, contrastando con los rayos poliseriados que muestran un tono gris oscuro, no tiene olor ni sabor característicos, su brillo es mediano en las caras tangenciales y alto en las radiales, veteado pronunciado y textura gruesa, estas dos características ocasionadas principalmente por los rayos poliseriados;

su hilo es recto. Los poros, presentan distribución circular y forman de una a dos bandas en la madera temprana y, en la tardía, están arreglados en hileras radiales. El parenquima es vasicéntrico, reticulado y en bandas de color blanco; algunas células presentan cristales en forma romboidal. Los rayos uniseriados y poliseriados son de tipo homogéneo, los primeros, solo visibles con lupa, son numerosos y bajos, y los segundos visibles a simple vista (De la Paz Pérez, 1985). Su densidad básica es de 0.62 gr/cm^3 , con contracciones volumétricas altas (19%), contracciones tangenciales totales muy altas (12.6%), contracciones radiales totales también muy altas (5.1%) y es clasificada como una madera de dureza alta (Fuentes, 1990).

Pinus patula Schl. et Cham.

Dentro de su ámbito natural el árbol alcanza una altura de hasta 35 m, con diámetro de hasta 90 cm, se distribuye en altitudes de 1500 a 3100 msnm y precipitación media anual de 600 a 2500 mm (Wright, 1999). En los estados de: México, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Distrito Federal (Martínez, 1992).

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen, la madera temprana es castaña clara amarillenta y la tardía es castaña muy pálida; no tiene olor ni sabor característicos; su brillo es bajo; veteado pronunciado dado por los anillos de crecimiento; textura de fina a mediana; su hilo es recto (De la Paz Pérez y Olvera, 1981).

Los anillos de crecimiento están perfectamente delineados por una banda oscura de madera tardía y una banda clara de madera temprana, su anchura es homogénea, la madera temprana ocupa más de la mitad del total del anillo, la transición de temprana a tardía es gradual. Los rayos son visibles a simple vista en la cara transversal; aún cuando la madera presenta canales resiníferos, esta especie es considerada como no resinosa dado que desde el punto de vista económico, no existe duda de que la calidad y la reducida cantidad de la resina producida por el *P. patula* no justifica su explotación (De la Paz Pérez y Olvera, 1981).

Las traqueidas son largas (2.03 mm), con diámetro tangencial del lumen mediano (29 micras) y grosor de la pared muy delgado en la madera temprana (4 micras), y de diámetro tangencial del lumen fino (16 micras) y grosor de la pared delgado (6 micras) en la madera tardía; sus caras radiales presentan una hilera de puntuaciones areoladas; los rayos son de tipo homogéneo, poco numerosos (5) y muy bajos (191 micras); los que no presentan canal son uniseriados y los que lo presentan son fusiformes de 2 a 3 series en la parte cercana del canal; en los campos de cruzamiento se ven de 1 a 3 puntuaciones de tipo pinoide; Las traqueidas de rayo presentan bordes dentados; los canales longitudinales son poco numerosos por mm²; el parenquima axial es ausente. (De la Paz Pérez y Olvera, 1981). Su densidad es de 0.47 gr/cm³, con contracciones volumétricas totales medias (12.31%), contracciones tangenciales totales muy altas (8.48%) y contracciones radiales totales altas (4.27%) (Quiñones, 1974).

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS BARNICES

Características físicas	Barniz base solvente	Barniz base agua
Tipo de resina	Poliuretano alifático	Poliuretano alifático
Presentación del producto	Dos componentes	Un componente
Solvente	Thinner	Agua desmineralizada
Aspecto en el envase	Transparente	Translucido
Acabado	Brillante, semimate y mate	Brillante
Tiempo de secado al tacto	2 - 4 horas	20 minutos
Tiempo de gelado	8 horas	2 horas
Fraguado	5 días	3 días
Contenido de sólidos	69% $\pm$ 1	30% $\pm$ 1
Viscosidad	100 - 300 Centipoises (cps.)	60 - 100 Centipoises (cps.)
Densidad	0.98 - 1.0 g/cm ³	1.04 - 1.06 g/cm ³
Ph	7 $\pm$ 0.5	7 $\pm$ 0.5
Dureza	68 en el Sward Rocker Hardness, usando una placa de vidrio estándar de 100	40.8 en el Sward Rocker Hardness, usando una placa de vidrio estándar de 100
Brillo	Su reflexión a la luz es de 100 comparada a 94 de la placa patrón de vidrio	Su reflexión a la luz es de 88 comparada a 94 de la placa patrón de vidrio
Rendimiento teórico	30 m ² a 0.001 pulg	12 m ² a 0.001 pulg

3.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

La prueba acelerada de intemperismo se realizó en un equipo fabricado con las características especificadas por el Reglamento Técnico del Centro Técnico de la Madera de Francia, dicho equipo consiste de una rueda con un diámetro de 1.5 m, en donde se colocan las probetas. La velocidad de giro es de una vuelta por 1.5 hr, la cual en la parte superior tiene 6 lamparas de luz ultravioleta de 300 watts (OSRAM Ultravitalux E 27), para simular los rayos ultravioleta del sol cuando la madera es expuesta por uso a la intemperie. En la parte inferior tiene una tina de 0.4 m de ancho y una longitud de 1.5 m en la parte alta y 1.2 m en la parte baja, a la cual se le agregó agua destilada para simular el efecto de la humedad y lixiviación por lluvia o rocío (Figura 1).

3.4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO

La madera de *Quercus crassifolia* y *Pinus patula* utilizada para la obtención de las probetas de ensayo, se seleccionó de un lote de material debidamente clasificado, el cual fue utilizado en la realización de otros trabajos de investigación. Las dimensiones de las probetas usadas fueron 1 x 10 x 30 cm. Una vez que se tuvieron las probetas a las dimensiones mencionadas, se lijaron en una lijadora de banda con lija del número 100 con el fin de preparar la superficie para la aplicación de los productos de acabado probados, un barniz base agua y otro base solvente, los dos poliuretanos alifáticos de la marca comercial Polyform®.



Figura 1. Equipo utilizado para la realización de las pruebas de intemperismo acelerado.

Las probetas fueron barnizadas por el mismo fabricante de los productos, para reducir el error por una aplicación inadecuada, aplicándose cuatro manos en las seis caras de todas y cada una de las probetas, con excepción de los cabezales donde se aplicó una mano más, porque la película formada era notoriamente más delgada debido a que el producto se absorbió más.

3.5. METODO DE ENSAYO

Se realizaron dos repeticiones, utilizando en cada una de ellas 44 probetas, 22 por especie, montándose en la rueda de manera intercalada, es decir, se colocó una probeta

de encino con barniz base agua, después una de pino con el mismo producto, enseguida otra de encino pero con acabado base solvente, posteriormente otra de pino también con barniz base solvente y así sucesivamente; fijándolas con baguetas de aluminio para someterlas posteriormente a intemperismo acelerado de la siguiente manera:

- 12 minutos de inmersión en la tina con agua destilada a temperatura ambiente,
- 27 minutos al aire a las condiciones ambientales del laboratorio donde se encontraba la rueda,
- 24 minutos de exposición a las seis lamparas de rayos ultravioleta que se encuentran en la parte superior de la rueda y,
- 27 minutos al aire a las condiciones ambientales del laboratorio donde se encontraba la rueda.

En la primera repetición a las 500 horas de que se puso en marcha la rueda, se realizó la primera evaluación determinando en porciento el área de falla en apariencia (Figura 2), esto de manera apreciativa (visual) y con cinta diurex se tomaron 3 muestras por probeta, presionando solo con el dedo pulgar en un área aproximada de 6 cm^2 y desprendiendo posteriormente de un tirón para determinar la adhesión, utilizando una malla de puntos se midió el barniz o barniz y madera que se desprendía y se quedaba adherido a la cinta en un área de 6 cm^2 , obteniendo un promedio por probeta y teniendo así el porciento de falla de adhesión, las siguientes evaluaciones se realizaron cada 250 horas, hasta las 1000 horas para el barniz base agua y en el caso del barniz base solvente hasta las 2000 horas. La última evaluación del área de falla, además de realizarla de

manera visual se hizo con malla de puntos midiendo el área de falla y determinando su porcentaje con respecto al área total.

En la segunda repetición todo se hizo de la misma manera, con excepción de la primera evaluación que se realizó después de 250 horas de que se expusieron las probetas a intemperismo en la rueda.

Las lamparas se cambiaron cada 500 horas para tener una distribución de la luz homogénea y ayudar a que la vida útil de estas se prolongara lo más posible, de hecho se dice que la vida útil estimada por el fabricante para estas es de 1000 horas, al termino de la fase experimental todas y cada una de ellas se había usado por 1000 horas sin que ninguna se hubiera fundido.

El agua que se utilizó fue destilada como lo señala el Centro Técnico de la Madera de Francia, y se cambió cada 250 horas, ya que ésta se volvía muy viscosa y amarillenta, aunque cabe aclarar que en las mediciones que se le hicieron a ésta con indicadores de Ph, éste se mantenía en 5.5.

Para ajustar los datos obtenidos se utilizo un modelo no lineal basado en la función de distribución acumulativa de una Weibull de 2 parámetros, escala y forma, para poder aplicar dicho modelo se manejaron los datos como proporciones, es decir los datos que estaban en porcentaje se dividieron entre 100.

$$F_X(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{b}\right)^c\right\}$$

donde:

$F_X(t)$ = proporción de falla para el tiempo de exposición t

t = tiempo de exposición

b = parámetro de escala

c = parámetro de forma

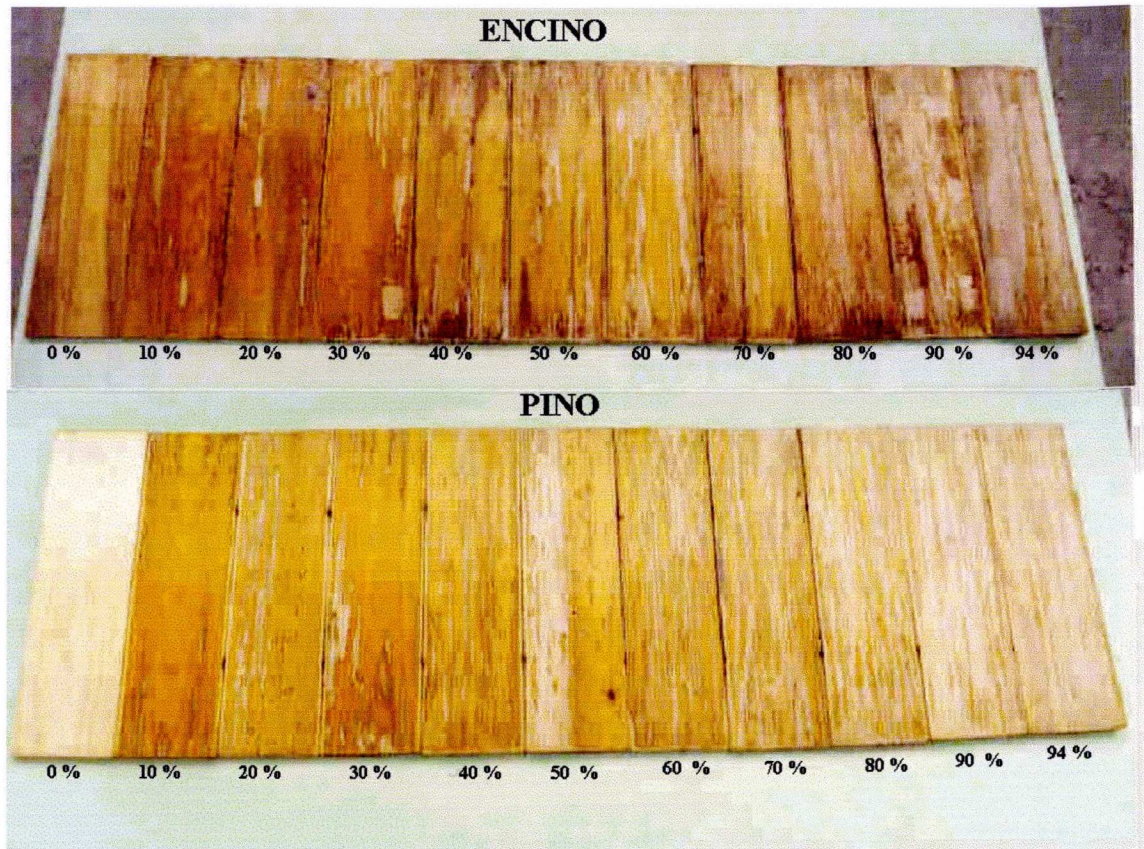


Figura 2. Comportamiento de la falla en apariencia desde el inicio hasta el final del ensayo.

Una vez que se tuvo el ajuste de los datos se estimó el tiempo en que se alcanzaría el 10% de falla en los barnices probados en cada una de las maderas utilizadas como soporte, aplicando la ecuación que se desprende del modelo utilizado.

$$t = b \left\{ \ln \left(\frac{1}{1-F_x(t)} \right) \right\}^{1/c}$$

Donde

$F_x(t)$ = proporción de falla para el tiempo de exposición t

t = tiempo de exposición

b = parámetro de escala

c = parámetro de forma

El 10% de falla en el barniz fue el sugerido por el fabricante, como el adecuado para dar un reacabado, esto con la finalidad de evitar una mayor degradación del producto o del soporte mismo que pueda tener una influencia negativa en la adherencia de las aplicaciones posteriores del producto, lo cual conduciría a una rápida falla del acabado, haciendo necesario un mantenimiento mayor que consistiría en lijar la superficie sobre la que se aplicó el acabado hasta llegar a madera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedio de la falla en apariencia en porciento del barniz Hydroform® en la madera de encino y pino se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Falla de la apariencia en porciento del barniz Hydroform® en encino y pino.

Tiempo	Encino	Pino
0	0	0
250	14.36	33.45
500	29.90	33.86
750	42.77	45.90
1000	53.54	52.36

Observándose que la falla en pino se dio más rápidamente, a las 42 horas de exposición ya presentaba agrietamiento de la película en las áreas de madera temprana, lo cual coincide con lo señalado por Cassens y Feist, 1991 y Williams *et al.*, 1996, a las 250 horas la falla en este era de poco más del doble que la presentada en madera de encino, manteniéndose casi sin variación a las 500 horas en pino, mientras que en encino la falla aumento en poco más del doble, por lo que casi se igualaba con la del pino, existiendo una diferencia de tan solo 3.95%. A las 750 horas la diferencia era de 3.14%, el hecho de que la falla fuera hasta las 750 horas de exposición siempre mayor en pino fue totalmente contrario a lo esperado, de acuerdo con Feist, 1983; Feist, 1985; Sell y Feist, 1986a; Feist y Sell, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996 por la

mayor densidad del encino (0.62 gr/cm^3), comparativamente con la del pino (0.47 gr/cm^3). Pero a las 1000 horas la falla en encino fue ligeramente mayor (1.2%) que en pino, lo que coincide en parte con lo especificado por los autores antes citados en cuanto a la influencia de la densidad en el intemperismo, las tendencias señaladas en cuanto a falla en apariencia se pueden ver en la Figura 3. Mientras que en la Figura 4 se muestra como se presento el avance progresivo de la falla en el barniz Hydroform® aplicado en encino y pino.

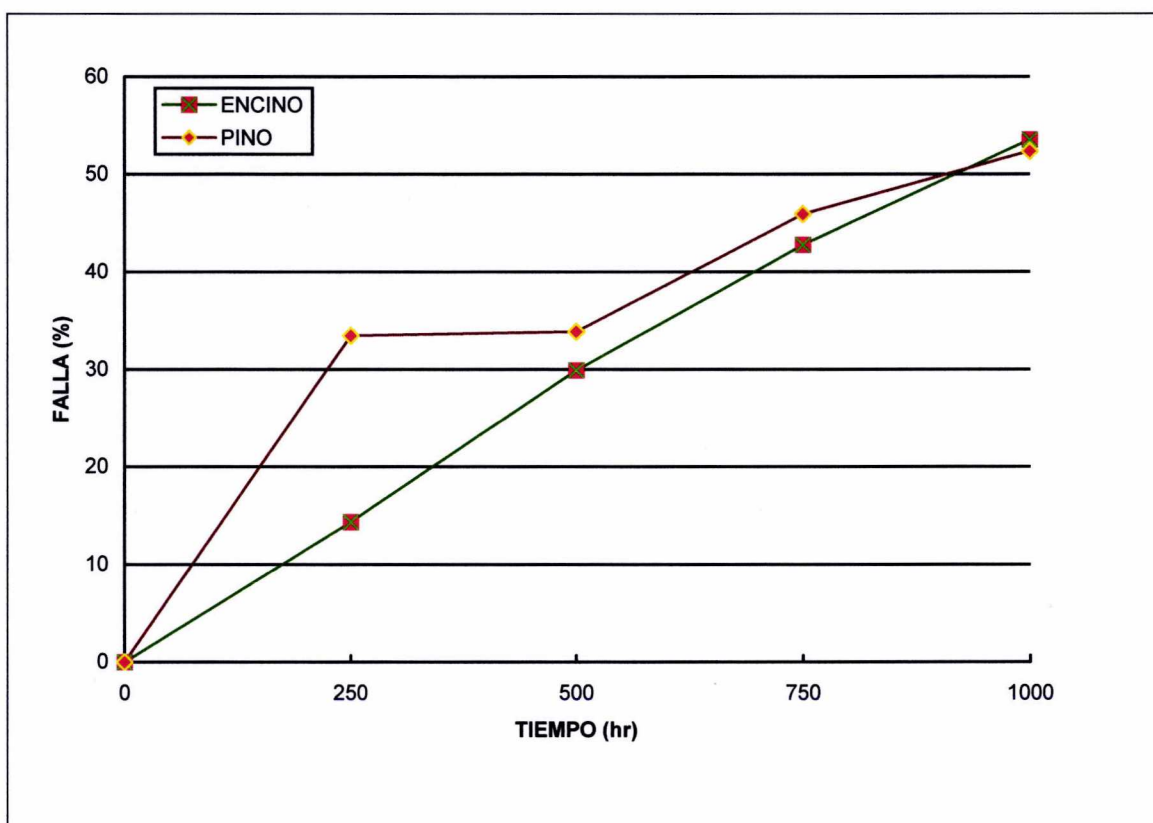


Figura 3. Tendencia de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en encino y pino.

Contrariamente a lo que ocurrió en la falla en apariencia, en la falla por pérdida de adhesión del barniz Hydroform® (Cuadro 2), ésta siempre fue mayor en la madera de

encino hasta en un 30% aproximadamente (Figura 5), lo cual es debido a la mayor densidad y la textura más gruesa de ésta.

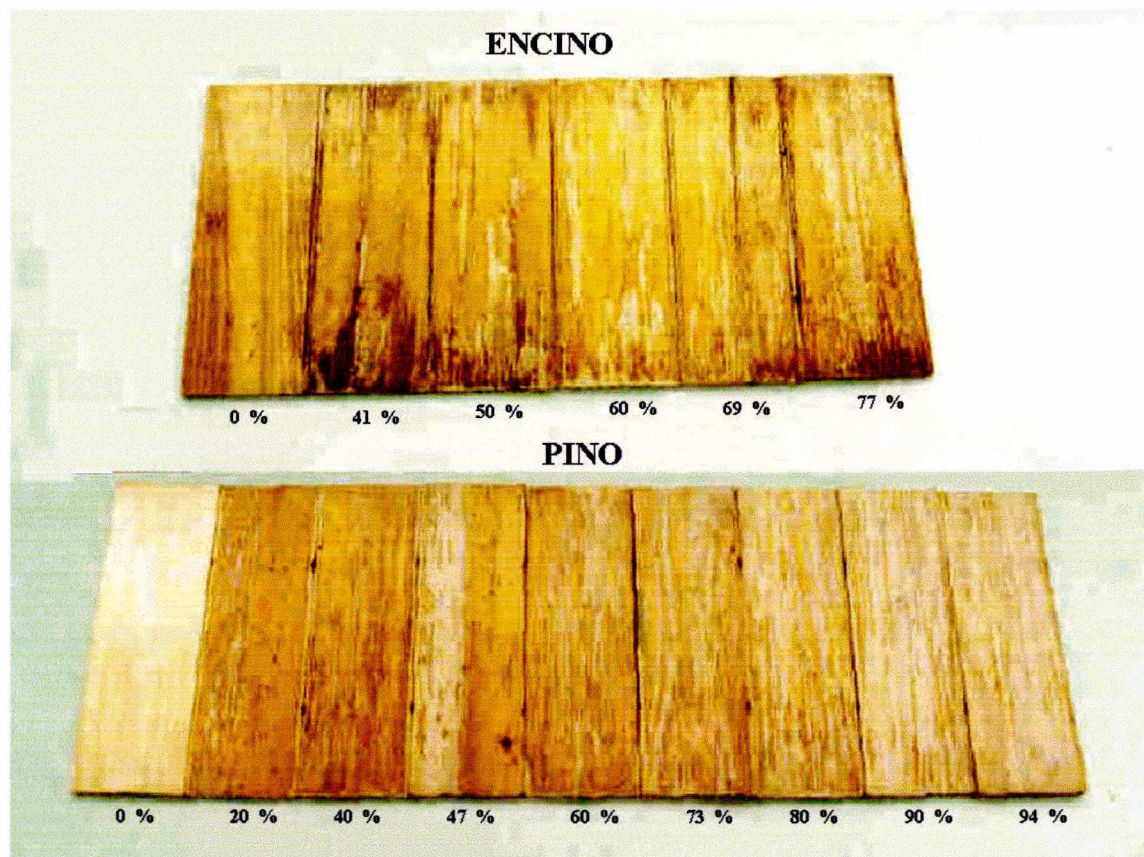


Figura 4. Comportamiento del barniz Hydroform® en porciento de falla de la apariencia.

Cuadro 2. Pérdida de adhesión en porciento del barniz Hydroform® en encino y pino.

Tiempo	Encino	Pino
0	0	0
250	5.72	3.85
500	24.53	12.39
750	32.04	20.70
1000	38.07	24.00

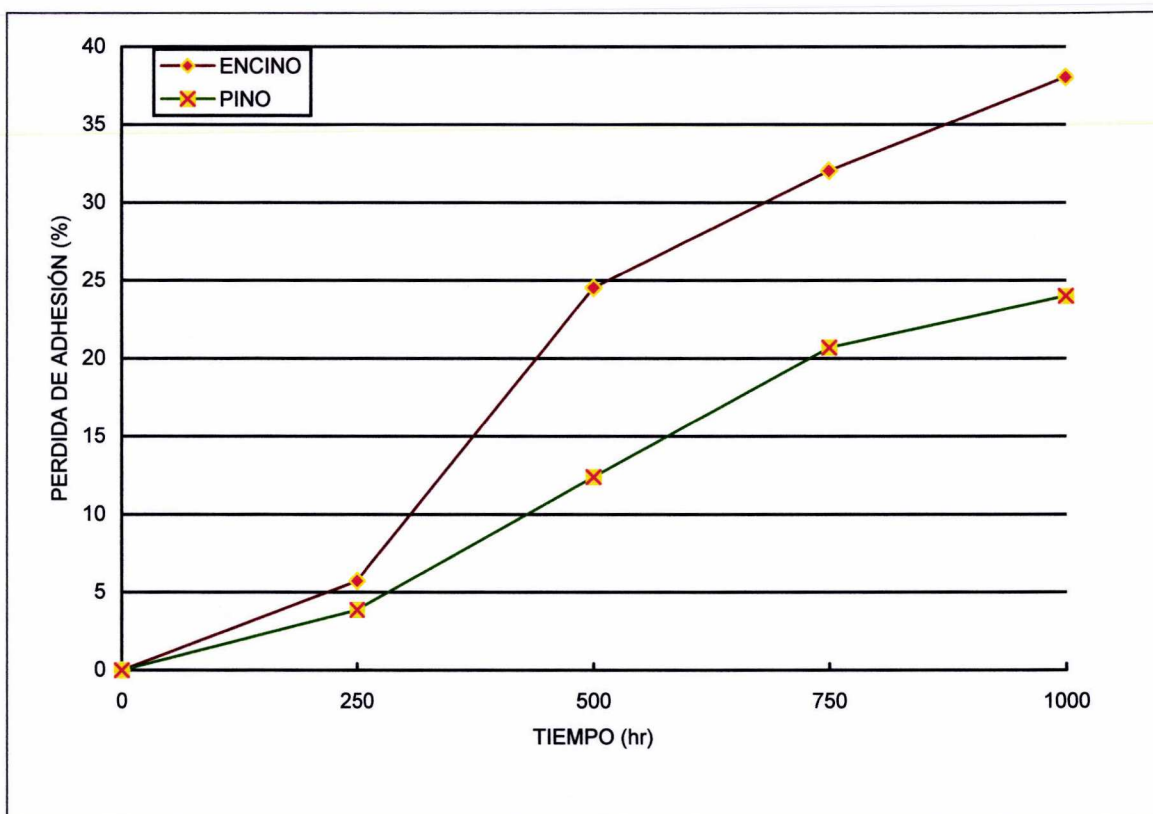


Figura 5. Tendencia de la pérdida de adhesión del barniz Hydroform® en encino y pino.

Por otro lado en la Figura 7 se muestran algunas probetas que permiten ver como se fue presentando la falla en apariencia en el barniz 11000® base solvente, el cual presentó, una falla más acentuada en el encino tanto en apariencia como en adhesión (Cuadro 3 y 4), lo que coincide con lo señalado por Feist, 1983; Feist, 1985; Sell y Feist, 1986a; Feist y Sell, 1987; Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996, en cuanto a la influencia de la densidad en los cambios dimensionales de la madera, pues la madera de encino al tener una mayor densidad sufre de hinchamientos y contracciones mayores (el valor de sus contracciones volumétricas totales es de 19%, mientras el valor de éstas para el pino es de 12.31%), lo que termina con un fuerte agrietamiento de la película de barniz como resultado de los grandes esfuerzos a que es sometida y en algunos casos

estas grietas se manifiestan hasta en la madera. Las diferencias presentadas en la falla en apariencia entre encino y pino se pueden apreciar en la Figura 6.

Cuadro 3. Falla de la apariencia en porcentaje del barniz 11000® en encino y pino.

Tiempo	Encino	Pino
0	0	0
250	0.45	0.09
500	3.22	2.00
750	7.00	3.54
1000	12.13	4.59
1250	22.40	11.86
1500	27.57	14.63
1750	36.90	21.09
2000	44.33	23.63

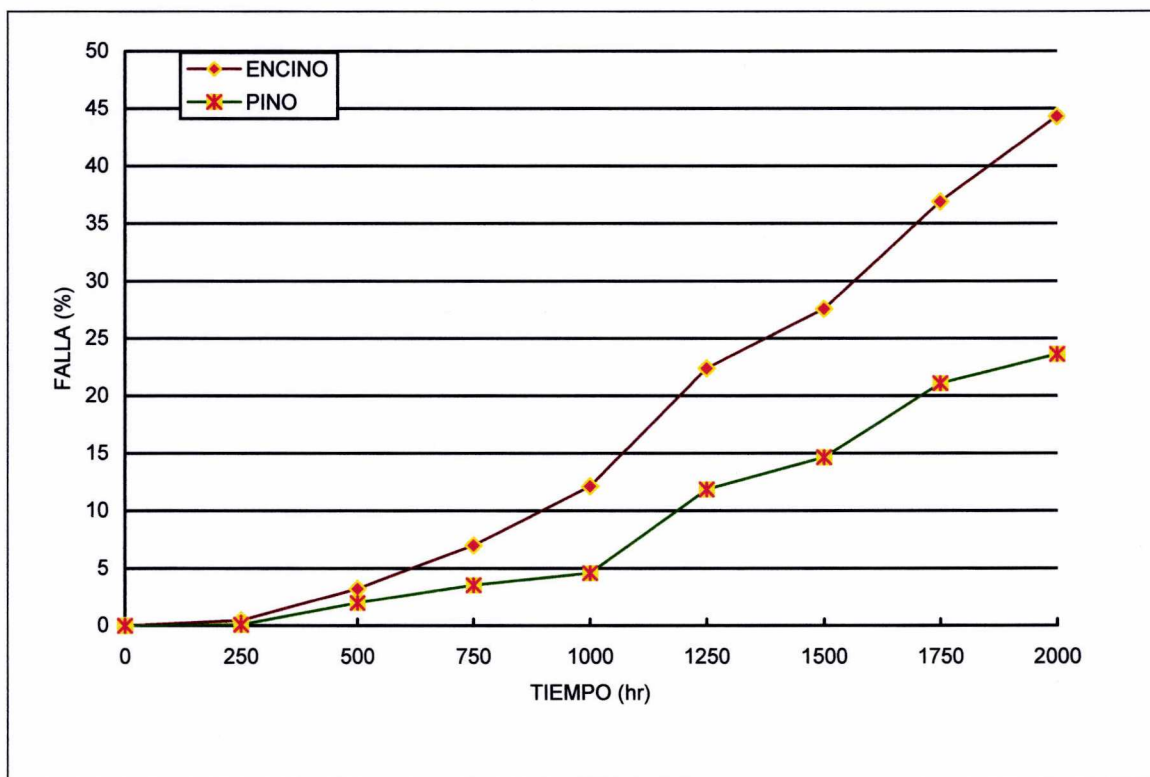


Figura 6. Tendencia de la falla en apariencia del barniz 11000 ® en encino y pino.

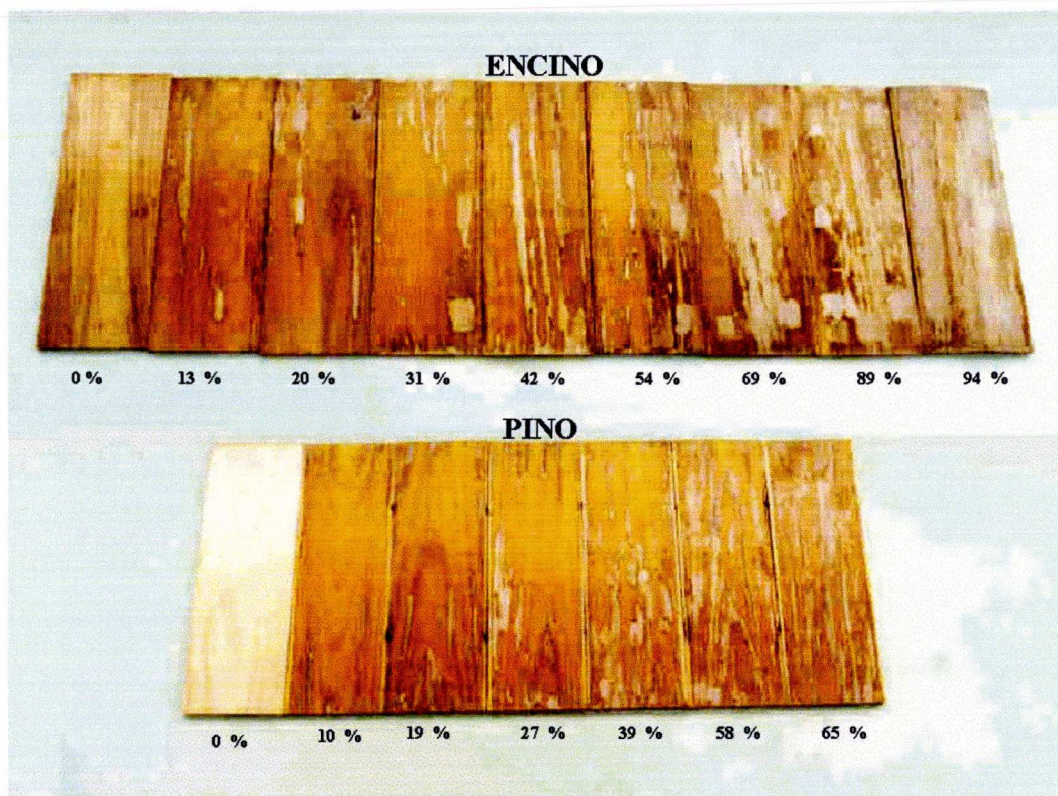


Figura 7. Comportamiento de la falla en apariencia presentada en el barniz 11000®.

La disminución que se observa al final en la pérdida de adhesión entre la película de barniz y la madera en pino (Figura 8), se debe fundamentalmente a que las pruebas de adhesión se hicieron en tres puntos diferentes en cada evaluación, presentándose una menor pérdida de adhesión en el área donde se hizo la última observación.

En las pocas probetas que se tuvieron con un corte radial se pudo observar que la falla tanto en adhesión como en apariencia fue menor coincidiendo con Feist, 1984; Feist, 1985; FPL, 1987; Cassens y Feist, 1991 y Williams *et al.*, 1996, quienes señalan que este tipo de corte ayuda a mejorar la estabilidad dimensional de la madera, siendo

menor el esfuerzo a que es sometida la película de barniz y por ende la falla de éste por rajaduras y formación de escamas disminuye.

Cuadro 4. Pérdida de adhesión en porciento del barniz 11000® en encino y pino.

Tiempo	Encino	Pino
0	0	0
250	0.73	0
500	2.61	0.126
750	5.76	1.23
1000	15.06	1.63
1250	18.89	5.80
1500	29.02	9.96
1750	40.43	18.90
2000	45.17	14.75

El contenido de humedad de la madera fue también esencial en la falla tanto de apariencia, como en la pérdida de adhesión, pues una vez que la película de barniz se comenzó a agrietar y el contenido de humedad aumento, a consecuencia de esto, la madera se hinchaba al pasar por el agua en la tina y se contraía al pasar frente a las lamparas, sometiendo a un mayor esfuerzo a la película de barniz coincidiendo con lo que mencionan Cassens y Feist, 1991 y Williams *et al.*, 1996, en el sentido de que la humedad en combinación con la luz solar ocasionan grietas y rajaduras macroscópicas y microscópicas intercelulares e intracelulares en la madera, lo que le provoca esfuerzos en su superficie.

Por otro lado también se pudo observar que en las probetas donde había nudos, normalmente la falla de la película por agrietamiento iniciaba en éstos, tanto en encino

como en pino. Además, en la madera de pino donde se encontraban pequeñas bolsas de resina y/o incrustación de corteza, también era manifiesta la falla por agrietamiento y la pérdida de adhesión coincidiendo con lo señalado por Hse y Kuo, 1988; Cassens y Feist, 1991; y Williams *et al.*, 1996, quienes mencionan que la falla del acabado normalmente inicia en los nudos u otras irregularidades que presenta la madera tales como incrustaciones de corteza, grietas, bolsas de resina y daños de insectos. En las probetas de pino con duramen se observó que en esta área la falla tanto en apariencia como en adhesión fue menor.

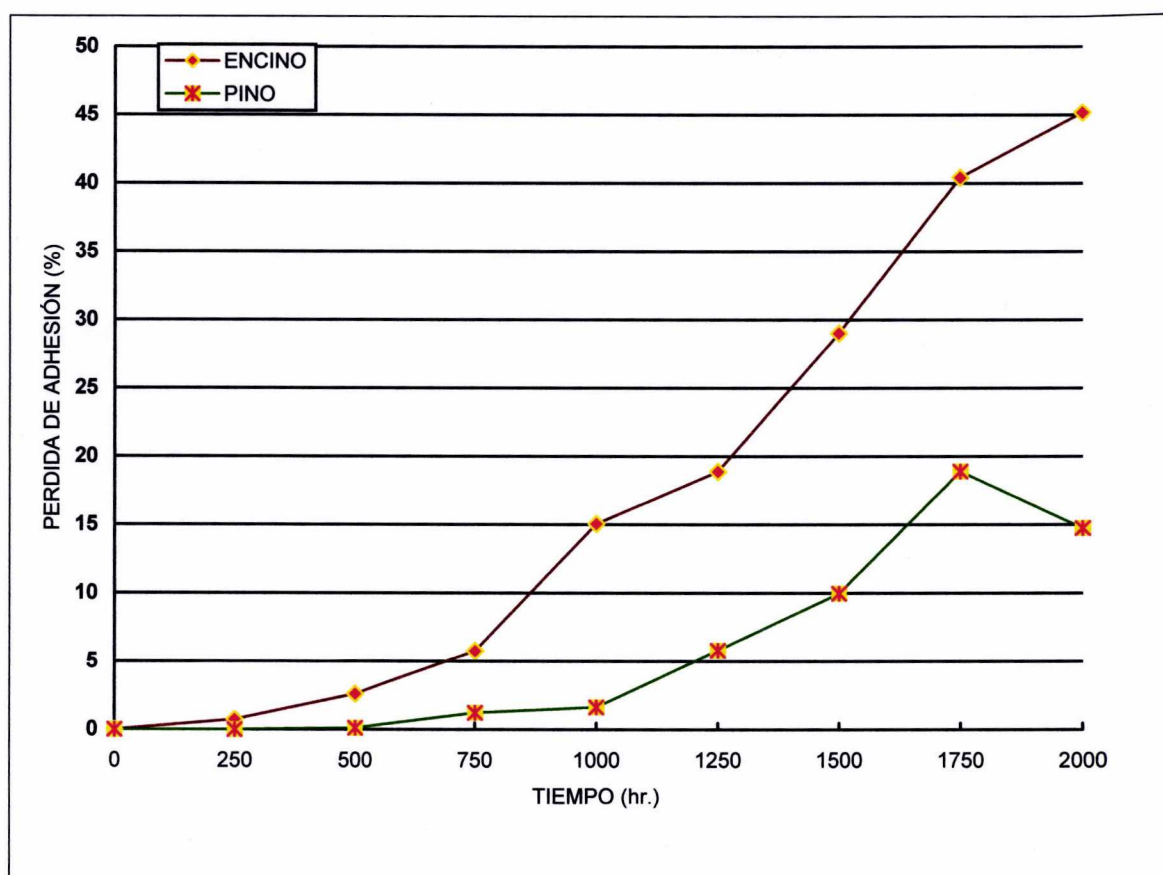


Figura 8. Tendencia de la pérdida de adhesión del barniz 11000® en encino y pino.

En los cabezales de las probetas de encino la película de barniz tanto del Hydroform® como del 11000® se descascaró más que en el pino, lo cual se puede deber al tamaño de sus poros, y pudo haber contribuido también a la falla más acentuada que se presentó en esta especie tanto en apariencia como en adhesión, ya que esto favorece el movimiento de agua en la madera de acuerdo con Cassens y Feist, 1991; y Williams *et al.*, 1996. En el corte transversal en general en las dos especies se descascaró más la película de barniz a pesar de tener una mano más, lo cual parece indicar que esto no es suficiente y se requiere un número mayor de capas en las caras transversales o la aplicación de un repelente de agua, cuando la madera va a estar expuesta a intemperismo.

Aún cuando los dos barnices probados fueron poliuretanos alifáticos, se pudo observar que la falla en apariencia y adhesión fue mucho más acentuada en el barniz Hydroform®, tanto en la madera de pino como en la de encino, lo cual puede deberse al contenido de sólidos que es menor en éste que en el 11000® teniéndose así un grosor de película menor con el Hydroform®. Por lo que el Hydroform® a las 1000 horas de exposición tenía una falla en apariencia de poco más del 50% como se puede observar en el Cuadro 1, mientras que el barniz 11000® con el mismo tiempo de exposición apenas presentaba una falla de 12.13% en encino y de 4.59% en pino, y ni siquiera con el doble de tiempo de exposición en la rueda de intemperismo, este último igualo la falla que se tuvo con el Hydroform® (Cuadro 3).

La pérdida de adhesión también fue mayor en el barniz Hydroform®, siendo a las 1000 horas de exposición en encino de 38.07% y de 24% en pino (Cuadro 2), mientras que para el barniz 11000® con el mismo tiempo de exposición la pérdida de adhesión fue de 15.06% y 1.63% en encino y pino respectivamente, y para este mismo producto a las 2000 horas de exposición la falla de adhesión que se presentó en encino fue de 45.17% y en pino de 14.75%.

Con el modelo no lineal de Weibull de dos parámetros (escala y forma) se ajustaron los datos observados, en las Figuras 9 y 10 se muestra el ajuste obtenido para el barniz Hydroform® aplicado en encino y pino.

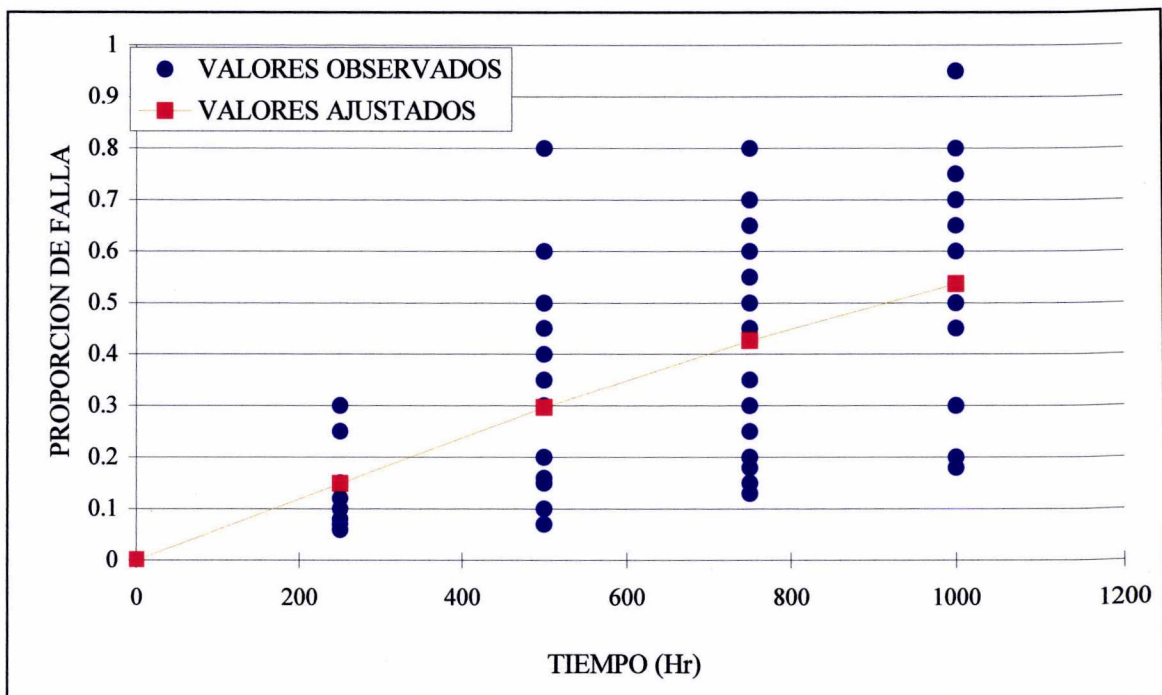


Figura 9. Ajuste de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en encino.

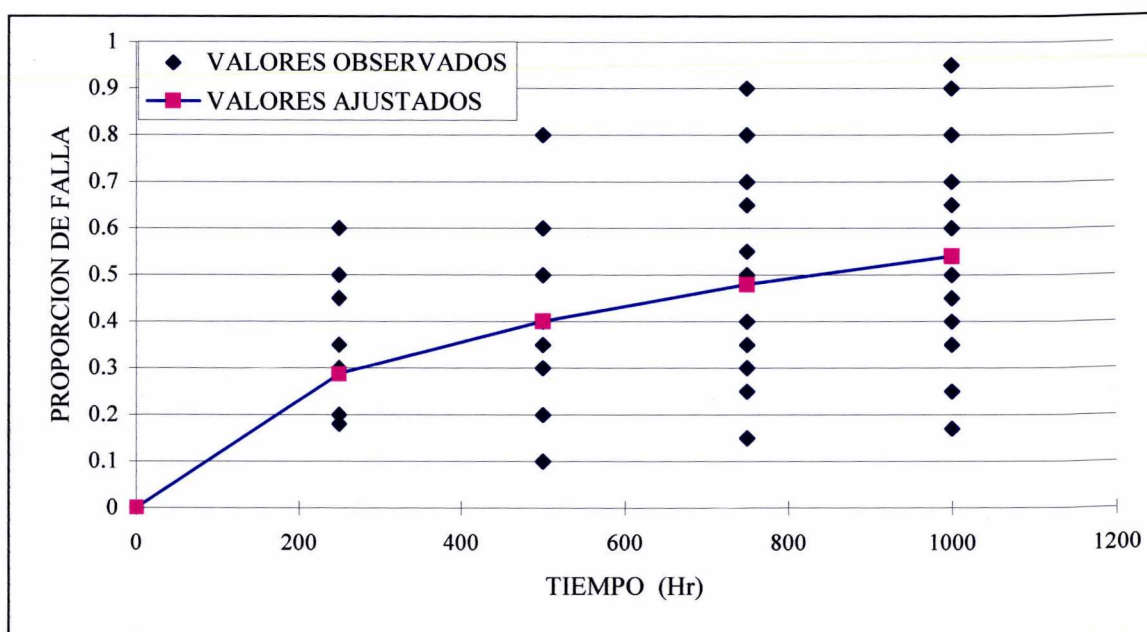


Figura 10. Ajuste de la falla en apariencia del barniz Hydroform® en pino.

Los valores de los parámetros del modelo para el barniz Hydroform® aplicados en encino y pino fueron; parámetro de forma 1.128 en encino y 0.598 en pino y el parámetro de escala 1260.71 para encino y 1528.17 para pino, lo cual indica que el encino tiene una velocidad de falla en apariencia más elevada y el tiempo esperado en que el 50% de la falla se presenta es alrededor de las 910.97 horas de exposición en la rueda de intemperismo (Figura 9). Mientras que en el caso del pino la velocidad de degradación o falla en apariencia, al final tiende a ser muy baja como se puede ver en la Figura 10, pero al principio es elevada y el 50% de falla se presenta próximo a las 827.93 horas de exposición en la rueda de intemperismo.

Por otro lado, para el barniz 11000® los parámetros del modelo presentaron los siguientes valores; para encino 1.97 el parámetro de forma y 2687.67 el parámetro de

escala y para pino 2.033 y 3704.38 respectivamente. En las Figuras 11 y 12 es notorio que la velocidad de deterioro del barniz 11000®, es mayor en encino que en pino, por ello un 50% de falla en apariencia se alcanza a las 2231.40 horas de exposición en la rueda de intemperismo en encino y a las 3093.29 horas en pino.

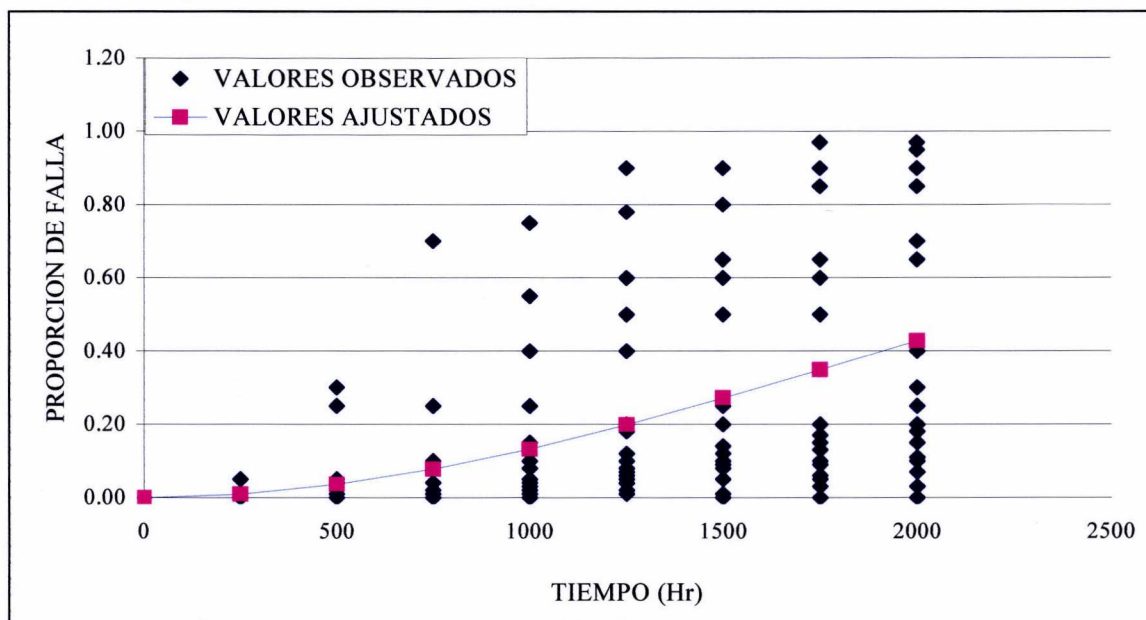


Figura 11. Ajuste de la falla en apariencia del barniz 11000® en encino.

Utilizando la ecuación que se desprende del mismo modelo y se cita en el apartado de materiales y métodos, se calculó el tiempo en el cual se esperaría que la falla en apariencia fuera del 10%, pues en este momento es donde se considera que se debe dar un rebarnizado (Cuadro5).

Cuadro 5. Tiempo en horas en que se alcanza el 10% de falla en apariencia.

Barniz	Encino	Pino
Hydroform®	171.47	35.47
11000®	857.58	1224.58

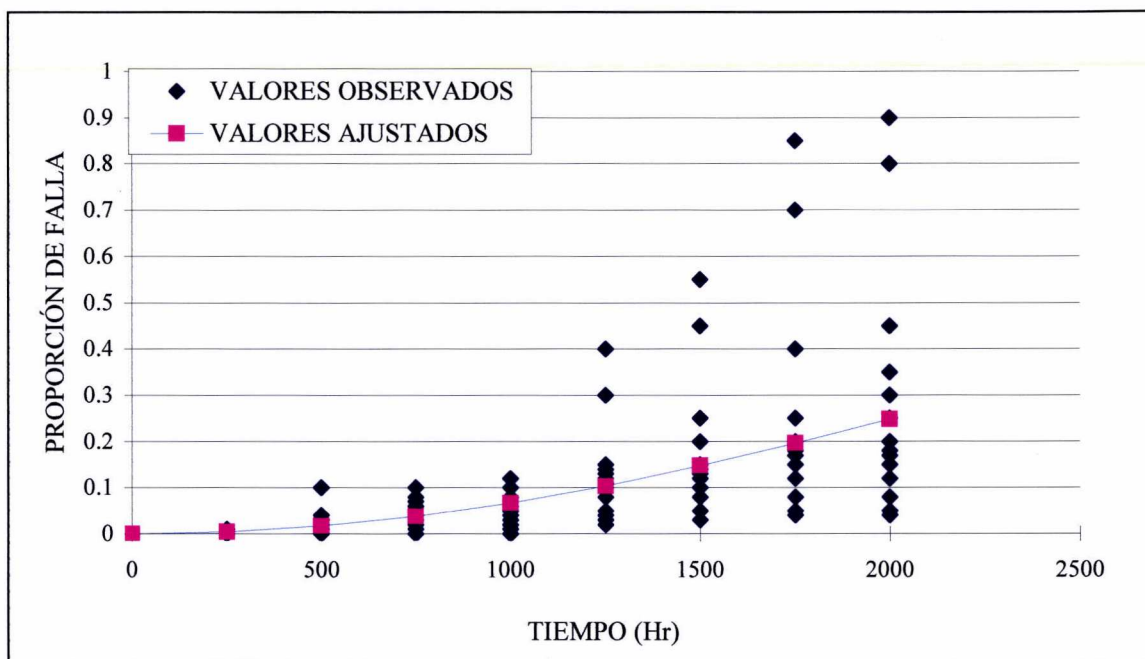


Figura 12. Ajuste de la falla en apariencia del barniz 11000® en pino.

De acuerdo con Podgorski *et al.*, 1996, quienes señalan que un día de intemperismo natural bajo condiciones drásticas equivale a 2.25 horas de intemperismo acelerado en la rueda, y a la información proporcionada por el fabricante de los barnices probados, en el sentido de que se debe dar un rebarnizado al detectar una falla en apariencia del 10%. Con el Hydroform® aplicado en el encino probado para uso en exteriores se requiere dar un rebarnizado a los 76.21 días y, aplicado en la madera del pino usado como soporte en este trabajo, el tiempo de vida útil antes de requerir de un rebarnizado es muy corta, 15.76 días, lo cual puede deberse como ya se mencionó anteriormente a la influencia de los anillos de crecimiento, pero con todo y eso este resultado se tiene que tomar con ciertas reservas. En el caso del barniz 11000® usado en la madera de encino, tiene una duración de 381.15 días antes de que sea necesario dar un

rebarnizado, en cambio en pino la vida en servicio de este barniz antes de requerir de un rebarnizado es de 544.26 días. De acuerdo con lo anterior, tanto en la madera de encino como en la de pino barnizadas con barniz 11000, se estima un tiempo de servicio mayor al recomendado por el fabricante (365 días) para dar un rebarnizado.

En la Figura 13, se muestra como las curvas de degradación del barniz Hydroform® son cóncavas hacia abajo, mientras que las del barniz 11000® al inicio son cóncavas hacia arriba y posteriormente cóncavas hacia abajo, lo cual significa que la degradación del Hydroform® al principio (antes de las 3500 horas) es más acelerada que la del barniz 11000®, aunque al final, la velocidad de deterioro tiende a ser igual en ambos tipos de barnices.

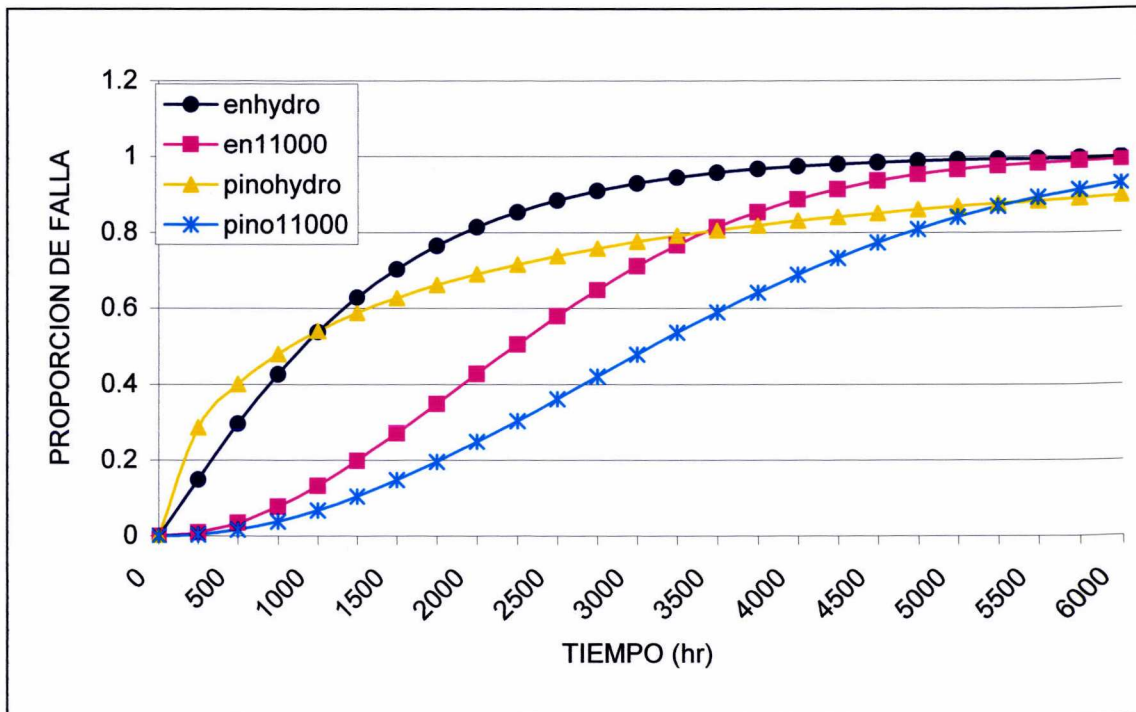


Figura 13. Proyección del comportamiento de la falla en apariencia con el modelo de Weibull

5. CONCLUSIONES

La falla en apariencia que se presentó en la madera de encino con cualquiera de los dos barnices probados fue mayor que la observada en la madera de pino.

La pérdida de adhesión también fue mayor en encino que en pino para los dos productos probados.

El barniz Hydroform® manifestó una mayor falla en apariencia y una pérdida de adhesión más acentuada que el 11000 en la madera de encino y pino que fueron utilizadas como sustrato o soporte.

La densidad y la textura de la madera utilizada como soporte tuvieron un efecto determinante en la degradación de los barnices probados, en encino por su mayor densidad y textura más gruesa se presentó, una degradación más acentuada.

El contenido de humedad y la estabilidad dimensional de la madera que se usó como sustrato también influyeron en el deterioro de los barnices probados, en encino que es una madera menos estable comparativamente con la del pino, la degradación observada fue mayor.

Con base en los resultados obtenidos se considera que el barniz Hydroform® no es adecuado para aplicarse en maderas que van a ser utilizadas en exteriores por la vida útil tan corta que puede prestar, siendo de 16 días para pino y de 76 días para encino, después de lo cual se requiere dar un rebarnizado de acuerdo con las indicaciones del fabricante del producto.

6. LITERATURA CITADA

- ALEGRI, F. E. 1994. Tipos de barnices. AIDIMA. Valencia España.SP.
- ARNOLD, M., R. L. LEMASTER y W. A. DOST. 1992a. Surface characterization of weathered wood using a laser scanning system. Wood and Fiber Sci. 24(3):287-293.
- _____, W. C. FEIST y R. S. WILLIAMS. 1992b. Effect of weathering of new wood on the subsequent performance of semitransparent stains. Forest Prod. J. 42(3):10-14.
- BELLO G., M. A. 1987. Los encinos (Quercus) del estado de Michoacán, México. SARH-CEMCA. México. 98 p.
- CARLL, C. G. y W. C. FEIST. 1987. Weathering and decay of finished aspen waferboard. Forest Prod. J. 37(4):27-30.
- _____ y _____. 1989. Long-term weathering of finished aspen waferboard. Forest Prod. J. 39(10):25-30.
- CASSENS, D. L. y W. C. FEIST. 1991. Exterior wood in the south. Selection, applications, and finishes. GTR-69. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. 56 pp.
- CASTILLO M., M. I. y J. J. ERDOIZA S. 1994. Acabados para madera en exteriores. Madera y bosques. 1(2):9-22.
- CHANG, S.-T., D. N. S. HON y W. C. FEIST. 1982. Photodegradation and photoprotection of wood surfaces. Wood and Fiber Sci. 14(2):104-117.
- DE LA PAZ PEREZ, O. C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género Quercus. Bol. Tec. No. 123. Inst. Nac. Invest. For. México. 72 p.
- _____ y P. OLVERA C. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. Bol. Tec. No. 69. Inst. Nac. Invest. For. México. 111 p.

- ECHENIQUE M., R. y F. ROBLES F. 1993. Ciencia y tecnología de la madera II. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana. México. 127 p.
- EVANS, P. D. 1988. A note on assessing the deterioration of thin wood veneers during weathering. *Wood and Fiber Sci.* 20(4):487-492.
- _____. 1989. Structural changes in *Pinus radiata* during weathering. *J. Inst. Wood Sci.* 11(5):172-181.
- _____, A. J. MICHELL y K. J. SCHMALZL. 1992. Studies of the degradation and protection of wood surfaces. *Wood Sci. Technol.* 26:151-163.
- FEIST, W. C. 1977. Wood surface treatments to prevent extractive staining of paints. *Forest Prod. J.* 27(5):50-54.
- _____. 1983. Weathering and protection of wood. In: Proceedings, seventy-ninth annual meeting of the American Wood-Preservers' Association; April 17-20; Kansas City, MO. Stevensville, MD: American Wood-preservers' Association; 1983; 79: 195-205 pp.
- _____. 1984. Painting and finishing wood for use outdoors. In: New ideas materials procedures. Proceedings of seventh annual educational conference; February 5-8; Baltimore, MD. Washington, DC; American Society of Home Inspectors, Inc. 1984; 79: A1-A27 pp.
- _____. 1985. The outdoor finish; how and when to paint or stain. *Fine Homebuilding.* 54-55 pp.
- _____. 1987. Weathering performance of finished yellow-poplar siding. *Forest Prod. J.* 37(3):15-22.
- _____. 1988. Role of pigment concentration in the weathering of semitransparent stains. *Forest Prod. J.* 38(2):41-44.
- _____. 1988. Weathering performance of finished southern pine plywood siding. *Forest Prod. J.* 38(3):22-28.
- _____. 1990. Weathering performance of painted wood pretreated with water-repellent preservatives. *Forest Prod. J.* 40(7/8):21-26.
- _____. 1994. Weathering performance of finished aspen siding. *Forest Prod. J.* 44(6):15-23.
- _____ y E. A. MRAZ. 1978a. Comparison of outdoor and accelerated Weathering of unprotected softwoods. *Forest Prod. J.* 28(3):38-43.

- ____ y _____. 1978b. Protecting millwork with water repellants. *Forest Prod. J.* 28(5):31-35.
- ____ y _____. 1980. Performance of mildewcides in a semitransparent stain wood finish. *Forest Prod. J.* 30(5):43-46.
- ____ y A. S. ROSS. 1995. Performance and durability of finishes on previously coated CCA-Treated wood. *Forest Prod. J.* 45(9):29-36.
- ____, R. M. ROWELL y W. D. ELLIS. 1991. Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and methacrylated aspen. *Wood and Fiber Sci.* 23(1):128-136.
- ____ y J. SELL. 1987. Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas. *Wood and Fiber Sci.* 19(2):183-195.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). 1987. Wood handbook: Wood as an engineering material. Agricultural Handbook no. 72. USDA, Washington, DC. 466 p.
- FUENTES L., M. E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino (*Quercus*) del estado de Puebla. Tesis Profesional. Univ. Aut. Chapingo. México. 52 p.
- HSE, C.-Y. y M.-L. KUO. 1988. Influence of extractives on wood gluing and finishing-a review. *Forest Prod. J.* 38(1):52-56.
- INFANTE T., R. 1991. Comportamiento a la intemperie de un barniz alquídico y otro acrílico base agua, con y sin impregnación sobre pino radiata, alerce, rauli y mañío. IN: Actas VII reunión sobre investigación y desarrollo de productos forestales 25, 26 y 27 de abril. Valdivia Chile. Universidad Austral de Chile. 312-315 p.
- KALNINS, M. A. y W. C. FEIST. 1993. Increase in wettability of wood with weathering. *Forest Prod. J.* 43(2):55-57.
- MARTINEZ, M. 1992. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas. 3ed. México. 368 p.
- PODGORSKI, L., A. MERLIN y X. DEGLISE. 1996. Analysis of the natural and artificial weathering of a wood coating by measurement of the glass transition temperature. *Holzforschung.* 50(3):282-287.
- QUIÑONES J., O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de 5 especies mexicanas. Bol. Tec. No. 42. Inst. Nac. Invest. For. México. 21 p.

- RICHTER, K., W. C. FEIST y M. T. KNAEBE. 1995. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1. roughness characterization and stain performance. *Forest Prod. J.* 45(7/8):91-97.
- RIETZ, R. C. 1961. Accelerated weathering of red oak. *Forest Prod. J.* 11(12):567-575.
- SELL, J. y W. C. FEIST. 1986a. Role of density in the erosion of wood during weathering. *Forest Prod. J.* 36(3):57-60.
- ____ y _____. 1986b. U.S. and European finishes for weather-exposed wood-a comparison. *Forest Prod. J.* 36(4):37-41.
- WILLIAMS, R. S. 1987. Acid effects on accelerated wood weathering. *Forest Prod. J.* 37(2):37-38.
- ____ y W. C. FEIST. 1988. Performance of finishes on wood modified with chromium nitrate versus chromic acid. *Forest Prod. J.* 38(11/12):32-35.
- ____, P. L. PLANTINGA y W. C. FEIST. 1990. Photodegradation of wood affects paint adhesion. *Forest Prod. J.* 40(1):45-49.
- ____ y W. C. FEIST. 1993a. Durability of paint or solid-color stain applied to preweathered wood. *Forest Prod. J.* 43(1):8-14.
- ____ y W. C. FEIST. 1993b. Finishing wood decks. *Wood Design Focus.* 4(3):17-20.
- ____, M. T. KNAEBE y W. C. FEIST. 1996. Finishes for exterior wood. Selection, applications, and maintenance. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. 127 pp.
- ____, J. E. WINANDY y W. C. FEIST. 1987. Paint adhesion to weathered wood. *Journal of Coatings Technol.* 59(749):43-49.
- WRIGHT, J. A. 1999. Utilización y calidad de los productos mejorados de *Pinus patula* en plantaciones manejadas sosteniblemente. Mexico. En prensa.
- ZAVALA Ch., F. 1996. Encinos y robles. Notas fitogeograficas. Univ. Aut. Chapingo. México. 44 p.

