

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. ING. EN MADERAS

PROFESOR GUÍA:
SRA. ANA MARÍA FERNÁNDEZ



COMPARACION DE METODOS ACELERADOS
PARA EVALUAR REPELENCIA A LA HUMEDAD

Estudio desarrollado en conformidad para obtener el título de:
Ingeniero de Ejecución en Maderas.

NAHAAN J. MATUS A.

Concepción, Noviembre del 2007.

RESUMEN

Esta investigación consistió en comparar en forma experimental los métodos normalizados para simular la humedad en madera revestida con productos de terminación y evaluar el comportamiento de estos dos revestimientos (esmalte y stain), sobre madera y chapas de *Pinus radiata* D. Don, frente al agua ya sea en estado líquido, como al vapor de agua.

La aplicación de los revestimientos sobre la madera, se realizó mediante brochas y en dos capas para los tres tests (flotación, aspersion y permeabilidad al vapor de agua), y se evaluaron mediante el cálculo de eficacia de exclusión de humedad, absorción de agua, coeficiente de captación de humedad y permeabilidad al vapor de agua.

De los resultados arrojados por los tres ensayos se observó que el revestimiento que tuvo un mejor comportamiento a la humedad, tanto frente al agua líquida como frente al vapor de agua fue el producto B (esmalte) sobre el producto A (stain). Por otra parte, el ensayo que resultó ser acelerado a la hora de evaluar la repelencia al agua de los revestimientos fue el de flotación, por lo que podría implementarse y llegar a normalizarse.

INDICE

Contenido	Páginas
Introducción	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Antecedentes	
Antecedentes generales	3
Capítulo I: Generalidades y conceptos.	
1.1. Higroscopicidad de la madera	5
1.2. Factores que afectan la higroscopicidad de la madera	5
1.2.1. Extractivos	5
1.2.2. Temperatura	6
1.2.3. Otros factores	7
1.3. Hinchamiento y contracción de la madera	7
1.4. Revestimientos	8
1.4.1. Imprimantes	8
1.4.2. Pinturas de terminación	8
1.4.2.1. Látex	8
1.4.2.2. Óleo	9
1.4.3. Hidrófugos o repelentes a la humedad	9
1.5. Materias primas de los revestimientos	9
1.5.1. Pigmentos	9
1.5.2. Vehículo	10
1.5.3. Solvente	11
1.5.4. Aditivos	11
1.6. Control de calidad de los revestimientos en el envase	12
1.7. Tipos de ensayos acelerados de exposición a la humedad	12
1.7.1. Absorción de agua por aspersión	12
1.7.2. Absorción de agua por flotación	12
1.7.3. Permeabilidad al vapor de agua	12
1.7.4. Absorción de agua por inmersión	13
1.8. Evaluación de la repelencia a la humedad	13
1.8.1. Coeficiente de captación de agua	13
1.8.2. Absorción de agua	14
1.8.3. Efectividad de exclusión de humedad	14
1.8.4. Grado de transmisión de vapor de agua	15
1.8.5. Permeancia al vapor de agua	15
1.8.6. Permeabilidad de vapor de agua	16
Capítulo II: Metodología de trabajo	
2.1. Materiales y métodos	17
2.2. Determinación del contenido de materias no volátiles	17
2.3. Obtención y preparación de las probetas	18
2.4. Aplicación de los revestimientos	18
2.5. Instalación de la experiencia	19
2.5.1. Test de absorción de humedad por aspersión de agua	19
2.5.2. Test de absorción de humedad por flotación en agua	19
2.5.3. Test de permeabilidad al vapor de agua	20

Capítulo III: Resultados y discusión

3.1. Control de calidad de los revestimientos en el envase	22
3.2. Determinación del contenido de humedad de las probetas	22
3.3. Coeficiente de captación de humedad	23
3.4. Absorción de agua	24
3.5. Eficacia exclusión de humedad	25
3.6. Permeabilidad al vapor de agua	26

Capítulo IV: Conclusiones

4.1. Conclusiones	27
4.2. Recomendaciones	28
4.3. Bibliografía	29

Capítulo V: Anexos

Anexo N° 1: Tablas de datos y de resultados	31
Anexo N° 2: Tabla de Promedios mensuales y anuales de humedad de equilibrio para pino insigne	46
Anexo N° 3: Determinación del contenido de humedad	47
Anexo N° 4: Descripción de los productos utilizados	47



INTRODUCCION

Uno de los factores de mayor incidencia en el comportamiento y durabilidad de la madera es la humedad del medio en que ésta se encuentre. La madera como material higroscópico equilibra su humedad con la de su entorno, generando con esto una inestabilidad dimensional de ella (cuando su contenido de humedad está en el rango higroscópico, es decir, de 0 a PSF), es por esto que se hace necesaria una protección para ella. Este hecho es importante a la hora de elegir un producto que proteja al sustrato de acuerdo a los requerimientos de su puesta en servicio.

El coeficiente de absorción y el coeficiente de difusión se utilizan para evaluar la capacidad de la repelencia al agua, y vapor de agua para determinados tipos de revestimientos o repelentes aplicados como protección en la madera, cuando ésta es puesta en servicio.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de esta investigación es comparar en forma experimental los métodos para simular la humedad en madera revestida con productos de terminación cuando ésta es puesta en servicio, y evaluar la eficiencia de estos productos como repelentes al agua líquida y al vapor de agua.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comparar los métodos acelerados existentes para lograr la absorción de humedad tanto en forma de vapor como agua líquida.
- Comparar la calidad de dos productos comerciales como repelentes a la humedad, frente a ensayos acelerados de absorción de humedad.
- Evaluar y cuantificar experimentalmente la eficacia de estos dos productos como repelentes a la humedad.



ANTECEDENTES

ANTECEDENTES GENERALES

La repelencia a la humedad es una propiedad que se le proporciona a la madera tratándola con productos especiales. Esta condición de repelencia se debe evaluar para conocer la eficacia de los productos, para ello se han desarrollado ensayos de simulación normados y se han estudiado los efectos que producen en la madera una vez tratada.

Avilés y García (2000), determinaron el coeficiente de absorción de agua en madera tratada con productos de protección (barnices) de diferentes costos, para evaluar además la repelencia a la humedad de éstos, realizando pruebas de exposición a la intemperie, concluyendo que el producto de mayor valor presentó una menor resistencia a absorber humedad, y el barniz que presentó mayor repelencia al agua y mayor resistencia a los rayos ultravioleta del sol fue el de valor intermedio.

Mouchot et al (2006), caracterizaron en maderas de haya (*Fagus sylvatica*) y abeto (*Abies alba Mill*) la transferencia de agua en forma de vapor en las tres direcciones ortotrópicas de la madera y el flujo del vapor en cada uno de estas direcciones.

Morales (2002), evaluó el comportamiento, mediante ensayos de permeabilidad al vapor de agua, aspersion e inmersión, de tres pinturas comerciales, formadoras de películas, utilizadas en madera sin tratamiento, comprobándose la no eficacia de la protección contra la humedad de la madera en la mayoría de éstos.

Sepúlveda (1994), estudió el grado de hidrorrepelencia de seis productos existentes en el mercado nacional con esta rotulación, concluyendo que dos repelentes al agua de los seis evaluados, resultaron efectivos al ser sometidos a test acelerados y además, llegó a la conclusión que la simulación de una lluvia contrastado con la inmersión, perjudica a los productos en mayor grado.

Fuentes (1993), analizó la absorción de agua de recubrimientos de uso exterior sobre tres maderas nativas y *Pino insigne* utilizando la copa de permeabilidad.



Ekstedt (1995), estudió la transferencia de agua a través de madera tratada con diferentes revestimientos con el método, según normas EN (Europeas), que consiste en la flotación de probetas para determinar cada cierto tiempo cuánto absorben de agua en forma acelerada y cómo liberan el agua las maderas según el tratamiento, pesando las probetas una vez que llegan al punto máximo de absorción y se dejan al medio ambiente.



CAPITULO I: GENERALIDADES Y CONCEPTOS

1.1 HIGROSCOPICIDAD DE LA MADERA

La madera es un material higroscópico, lo que le permite absorber o captar agua de la atmósfera y mantener un equilibrio de la humedad con el vapor de agua en el aire (Skaar, 1972), esta característica se origina de la composición química de la madera: la celulosa, hemicelulosa, pectinas, lignina y ciertos extractivos, que son sustancias higroscópicas (Tsoumis, 1991). Esta cualidad se debe a los grupos hidroxilos o grupos OH que existen en su estructura, particularmente en la celulosa y hemicelulosa, estos grupos hidroxilos atraen y sostienen las moléculas de agua por medio del mecanismo o vinculo químico conocido como puente hidrógeno, este potencial de vinculación no es fuerte comparado con otros vínculos químicos primarios sino que es muy importante en materiales que contienen agua (Skaar, 1972).

1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA HIGROSCOPICIDAD DE LA MADERA

Cuando la madera es expuesta a condiciones ambientales en el transcurso del tiempo ésta absorbe o pierde humedad, la humedad que es retenida por la madera es denominada contenido de humedad de equilibrio. El contenido de humedad de equilibrio es una medida de la higroscopiedad de la madera, y puede ser afectado por los esfuerzos mecánicos, el secado de la madera, la especie, densidad, el contenido de extractivos, la temperatura y la humedad relativa, pero el factor más importante que afecta el contenido de humedad de equilibrio es la humedad relativa del ambiente (Skaar, 1972, citado por Siau, 1984; Tsoumis, 1991).

1.2.1 EXTRACTIVOS

El contenido de extractivos que se encuentra en la pared celular afecta el contenido de humedad de equilibrio debido a que un incremento de éstos ocasiona una disminución en

el contenido de humedad de equilibrio (Wangaard y Granados, 1967; citado por Siau, 1984). Por otro lado una disminución de la densidad resulta generalmente en un aumento del contenido de humedad de equilibrio.

1.2.2 TEMPERATURA

Otro factor que también tiene su efecto en el contenido de humedad de equilibrio es la temperatura; la curva que relaciona el contenido de humedad de equilibrio y la humedad relativa a una temperatura dada es la isoterma de sorción, que se muestra en la figura 1, donde se presentan las isotermas de sorción para tres temperaturas.

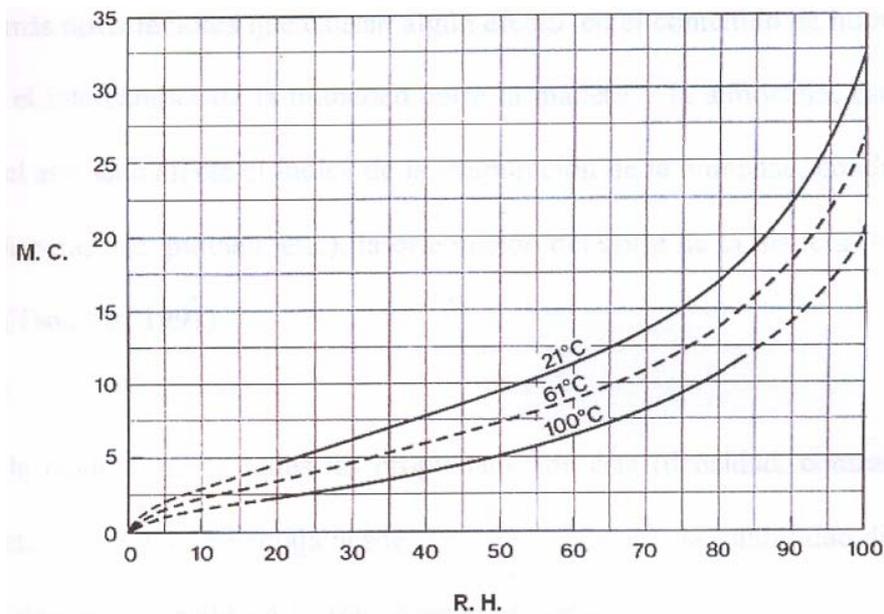


Figura Nº 1: Isotermas de sorción de la madera para tres temperaturas
 Donde: M.C.= Contenido de humedad (%) y R.H.= Humedad relativa (%).

Fuente: Siau (1984).

La elevación de la temperatura tiene dos efectos en la isoterma de sorción, uno inmediato y otro permanente. El efecto inmediato es la reducción del contenido de humedad de equilibrio de la madera a una humedad relativa dada, es un efecto temporal y reversible; el segundo efecto es la reducción de la higroscopicidad de la madera, asociado con la



descomposición de su estructura, especialmente de la hemicelulosa, esta descomposición está en función del tiempo de exposición a las altas temperaturas (Skaar, 1988).

1.2.3 OTROS FACTORES

Existen además otros factores que causan algún efecto en el contenido de humedad de equilibrio, influyen en el intercambio de la humedad entre la madera y la atmósfera, estos factores son: la velocidad del aire, que afecta el índice de evaporación de la humedad, condición superficial de la madera (áspera, lisa, pintada, etc.), la orientación del corte de la madera (transversal, radial, tangencial) (Tsoumis, 1991).

El agua en la madera afecta todas las propiedades de ésta (densidad, contracción, propiedades mecánicas, etc.) y es una desventaja desde el punto de vista de la estabilidad dimensional. Este es un factor crítico por ejemplo en la transformación industrial, manufacturación, secado y otros procesos, por consiguiente es importante saber el contenido de humedad del medio ambiente en el cual se usará la madera (Skaar, 1988; Tsoumis, 1991; Hygreen, 1996), por otro lado se deben buscar maneras o procesos que permitan disminuir la higroscopicidad de ésta (Jaque, 2005).

1.3 HINCHAMIENTO Y CONTRACCION DE LA MADERA

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0,8 por ciento; de 1 a 7,8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11,5 por ciento, en la tangencial (NCh. 176.3).

La contracción es mayor en la albura que en el durámen, originando por este hecho tensiones por desecación que agrietan y alabean la madera que no es protegida frente a al agua (líquida o en forma de vapor).



La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el PSF, y a partir de éste punto no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua.

1.4 REVESTIMIENTOS

El revestimiento es todo material que forma película, ya sea pintura, barniz, laca u otro producto relacionado, que se aplica sobre un sustrato con el objeto de conferir a éste propiedades decorativas, protectoras y funcionales (Sánchez y Cifuentes, 2007)

1.4.1 IMPRIMANTES

Llamados también “primer”, y son Pinturas de fondo empleadas como primera capa para obtener mejor adherencia y evitar una excesiva absorción de las manos posteriores del tratamiento. (NCh 331)

1.4.2 LAS PINTURAS DE TERMINACIÓN

Reciben el nombre de “top coat”, Pinturas que se utilizan para dar capas finales o de terminación que tienen como objetivo principal dar una mejor estética.

1.4.2.1 LATEX

Pintura basada en una emulsión estable de resinas acrílicas y / o vinílicas en agua, es decir, que contiene agua como vehículo que se volatiliza al ambiente. (NCh 331)



1.4.2.2 OLEO

Pintura en la cual el vehículo no volátil es un aceite secante modificado con una resina sintética. (NCh 331, 1997)

1.4.3 HIDROFUGOS O REPELENTES A LA HUMEDAD.

Corresponden a diversos productos para madera, parte de ellos quedan en la superficie y otra parte son absorbidos por ella. Se utilizan para preparar la madera, para que no sufra cambios dimensionales por humedad y generalmente son transparentes. Estos productos no se conocen comercialmente debido a que tienen un uso industrial (Morales, 2002).

1.5 MATERIAS PRIMAS DE LOS REVESTIMIENTOS

Hay una gran variedad de productos para proteger la madera, las materias primas de estos productos se dividen en cuatro grandes grupos: pigmentos, vehículo, solvente y aditivos, éstos se combinan para dar origen a los diferentes tipos de revestimientos.

1.5.1 PIGMENTOS

Son polvos que no se disuelven en solventes orgánicos ni en agua. Son indispensables en pinturas y stains a los que dan opacidad, color, resistencia al deterioro. Suelen estar acompañados por “cargas” o “rellenos”, que son compuestos más baratos que no contribuyen al color sino sólo a la consistencia de la pintura líquida y facilita el lijado.

Otra forma de definir los pigmentos es, sólidos finamente divididos de diversos colores utilizados para proporcionar el color, poder cubriente, consistencia, cuerpo, duración y otras propiedades a los recubrimientos de superficie. Se distinguen opacos, transparentes y para propósitos especiales (Morales, 2002).



Las principales propiedades de los pigmentos son las siguientes: color básico, efecto sobre la viscosidad del vehículo, color secundario, brillo, intensidad, índice volumétrico o factor de abultamiento, poder cubriente, fluidez y homogeneidad, forma de la partícula, estabilidad al calor, a la luz, a la humedad, a los agentes químicos y atmosféricos y dispersabilidad.

El tamaño medio usado para recubrimientos y medidos en micrones (μm), es de aproximadamente 25 (μm), lográndose una película áspera y rugosa, por lo tanto, para lograr una mejor terminación en cuanto a brillo, el rango del tamaño del grano debe estar entre 3 y 5 (μm).

La textura es producto de la combinación del tamaño de las partículas, de la aglomeración y de la dispersabilidad.

Para entender el termino dispersabilidad, se debe saber que los pigmentos se aglomeran o bien se juntan como racimos de uva, lo anterior producto de las fuerzas de cohesión. Luego, la facilidad con que los aglomerados de pigmentos se pueden separar mediante la dispersión en los vehículos del recubrimiento se llama dispersabilidad.

El índice volumétrico o de abultamiento se debe al volumen de aire que los pigmentos secos tienen entre sus partículas y se expresa en l/l o l/k , tomando como base el peso específico (peso en g. de 1 cm^3) (Morales, 2002).

1.5.2 VEHICULO

Es aquel que contiene el formador de película o filmógeno, en donde este último son aceites y resinas (polímeros orgánicos) que producen la formación de películas estables de pinturas, stain o barniz sobre la superficie tratada. Los aceites de uso frecuente en Chile son el de linaza y el de pescado. Especialmente para barnices de mueblería llamados a la piroxilina se emplea nitrocelulosa. Resinas sintéticas fenólicas, poliéster especialmente alquídicas-vinílicas, acrílicas, epóxicas y poliuretánicas, constituyen las



más empleadas en las pinturas de hoy. Cada una de ellas otorga a la película de pintura seca características propias de adherencia, resistencia mecánica y química, dureza, elasticidad, durabilidad, etc. (Morales, 2002)

1.5.3 SOLVENTE

Es esencial para aplicar la pintura con facilidad y son líquidos que se añaden a la mayoría de los recubrimientos de superficies para hacerlos suficientemente fluidos para una aplicación apropiada. Los solventes se evaporan dejando un residuo de pigmentos. Los más usados son el agua y el aguarrás mineral (derivado del petróleo). En pinturas de calidad y mas amistosa ambientalmente, este aguarrás suele reemplazarse por otros de los muchos solventes orgánicos disponibles (alcoholes y ésteres) (Morales, 2002).

1.5.4 ADITIVOS

Son sustancias que con frecuencia se incluyen en pequeñas porciones en la composición para que las pinturas adquieran propiedades específicas. Los aditivos son numerosos y para variados fines, para acelerar o retardar el tiempo de secado, aumentar o reducir el brillo de la película seca, evitar el crecimiento de hongos, bacterias y algas, etc., (Morales, 2002).

1.6 CONTROL DE CALIDAD DE LOS REVESTIMIENTOS EN EL ENVASE.

El control que se realiza corresponde a la NCh. 2152 of.89 y consiste en evaporar los materiales volátiles presentes en la muestra mediante calentamiento en una estufa durante un tiempo y a una temperatura determinada.



1.7 TIPOS DE ENSAYOS ACELERADOS DE EXPOSICION A LA HUMEDAD

Los ensayos aplicados a los revestimientos para simular la madera en servicio son según si se quiere probar mayor riesgo en servicio o adaptar al uso final de la madera y entre otros son los siguientes: aspersión, flotación, permeabilidad al vapor de agua e inmersión. Correspondiendo los dos primeros a ensayos con agua líquida y el último a ensayos con vapor de agua.

1.7.1 ABSORCION DE AGUA POR ASPERSION

Este ensayo se realiza de acuerdo a una modificación de la norma ASTM D 870 la cual consiste en exponer las probetas a una simulación de lluvia (método acelerado), y posteriormente hacer control de masa de éstas cada 24 horas. Es un método utilizado para estimar el grado de absorción de agua de una probeta protegida por un revestimiento.

1.7.2 ABSORCION DE AGUA POR FLOTACIÓN

Este test al igual que el anterior es una modificación de la norma ASTM D 870 y aquí las probetas revestidas se dejan flotando en agua para posteriormente y cada 24 horas hacerles un control de masa. Es un método acelerado que es utilizado para evaluar la absorción de agua que presenta una probeta revestida con un producto dado.

1.7.3 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

Este ensayo se realiza en base a la NCh. 2457 Of. 2001 y consiste en evaluar la permeabilidad al vapor de agua que brinda un revestimiento aplicado sobre una chapa de madera que es puesta en una cámara de ensayo con atmósfera controlada.



1.7.4 ABSORCION DE AGUA POR INMERSION

Según NCh. 793 of. 73, generalmente se adapta para ensayos que tienen como sustrato madera, una vez revestidas las probetas se someten a inmersión en agua a una temperatura de 21° C, por un período de 192 horas, haciendo controles de masa y espesores cada 24 horas.

1.8 EVALUACION DE LA REPELENCIA A LA HUMEDAD

Para evaluar la calidad de los revestimientos como repelentes a la humedad en los ensayos de absorción de agua por aspersión, absorción de agua por flotación y permeabilidad al vapor de agua, se calculan los siguientes indicadores. Estos valores calculados representan la cantidad de agua absorbida.

1.8.1 COEFICIENTE DE CAPTACIÓN DE AGUA

Representa al porcentaje (%) de masa de agua que absorbe una probeta de madera en un tiempo determinado, para esta fórmula se utiliza el tiempo bajo raíz cuadrada para linealizar el efecto de las curvas en los gráficos, ya que el efecto es muy acelerado al principio y posteriormente lento.

$$w = \frac{W}{\sqrt{t}} \quad \dots\dots (1)$$

Donde:

w : Coeficiente de captación de agua (%).

W : Diferencia de peso (peso ganado entre 0 y t) (g).

\sqrt{t} : Raíz cuadrada de tiempo de medición, t (min.).



1.8.2 ABSORCIÓN DE AGUA

Es el porcentaje (%) de agua que absorbe una probeta tratada o no, expuesta al agua líquida en relación a la misma probeta antes de la exposición.

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

A : Absorción de agua por la probeta (%).

m_1 : Masa de la probeta antes de la exposición (g).

m_2 : Masa de la probeta después de la exposición (g).

1.8.3 EFECTIVIDAD DE EXCLUSIÓN DE HUMEDAD

La eficacia de exclusión de humedad (EEH), representa la cantidad de humedad que pasa a través de las capas de recubrimiento y que es absorbida por la madera en comparación con el peso de humedad absorbida por las probetas no revestidas.

$$EEH = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

EEH: Eficacia de exclusión de humedad (%).

P_1 : Peso de la humedad absorbida por la madera no revestida (g).

P_2 : Peso de la humedad absorbida por la madera tratada (g).



1.8.4 GRADO DE TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA

Flujo constante de vapor de agua que atraviesa un cuerpo en un periodo determinado, bajo condiciones específicas de temperatura y humedad entre ambas caras (NCh. 2457).

$$TVA = \frac{\Delta m}{t \times A} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- TVA. : Grado de transmisión de vapor de agua (g/h x m²).
- Δm : Cambio de masa, (g) ocurrido en el tiempo t.
- t : Tiempo entre lecturas, en horas.
- A : Área de ensayo de la muestra (m²).

1.8.5 PERMEANCIA AL VAPOR DE AGUA

Flujo constante de vapor de agua que atraviesa un cuerpo en un periodo de tiempo determinado, inducido por la diferencia de presión entre ambas caras (NCh. 2457).

$$PR \equiv \frac{TVA}{\Delta P} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- PR : Permeancia del recubrimiento (g/ m² x h x mmHg).
- TVA : Grado de transmisión de vapor de agua (g/h x m²).
- ΔP : S (H_{R1} - H_{R2}).
- S : Presión de saturación del vapor de agua a la temperatura del ensayo, en mmHg. Según valores de tabla N° 3 de Nch. 2457.



H_{R1} : % humedad relativa, del lado con mayor presión de vapor.

H_{R2} : % humedad relativa, del lado con menor presión de vapor.

1.8.6 PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA (P)

Es obtenida mediante la multiplicación de la permeancia de vapor de agua por el espesor de la muestra (NCh. 2457).

$$P = PR \times e \text{ (g/m x h x mmHg)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

P : Permeabilidad al vapor de agua (g/m x h x mmHg).

PR : Permeancia del recubrimiento (g/ m^2 x h x mmHg).

e : Espesor de la probeta (m).



CAPITULO II: METOLOGIA DE TRABAJO

2.1 MATERIALES Y METODOS

El diseño del experimento se realizó considerando dos recubrimientos (Stein y Esmalte) y tres métodos (aspersión, flotación y permeabilidad al vapor de agua) para determinar la repelencia a la humedad. Cabe señalar que el número de muestras para cada experiencia, se determinó utilizando un software de diseño de experimentos: Desing-Expert, en donde el número de repeticiones fueron cinco y las réplicas tres. El software arrojó un total de treinta probetas por experiencia y quince con cada producto. Además se introdujeron dos probetas patrón para los test de aspersión y flotación, mientras que para el test de permeabilidad al vapor de agua se adicionaron tres copas patrón.

Los dos recubrimientos seleccionados son productos comerciales que brindan protección a la madera, siendo uno de ellos es denominado “barniz que no forman película” o también llamado lasure, stain o impregnante superficial, que contiene entre sus componentes un repelente a la humedad, y el otro es un productos que se utiliza para baños y cocinas (anexo 3), ambos productos pertenecen al mismo fabricante.

2.2 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIAS NO VOLATILES

La NCh. 2152 contempla dos métodos, de los cuales se eligió el método A el que consiste en dejar las muestras de pintura en una estufa durante un periodo de tres horas a una temperatura de $105 \pm 2^\circ \text{C}$.

La preparación de las muestras debe seguir el siguiente procedimiento, en primer lugar extraer del envase bien agitado una muestra con una jeringa sin aguja y desde ésta y por diferencia de masa, obtener una muestra de masa de $1,2 \pm 0,1 \text{ g}$ en un recipiente de vidrio de base plana, seco y tarado previamente. Estas muestras se introducen en la estufa con las condiciones de temperatura y tiempo expuestas anteriormente, para luego extraerlas del horno y llevarlas a desecadores para enfriar a temperatura ambiente. Finalmente se pesan y se efectúa la determinación en triplicado para cada producto, no excediendo el 1% la diferencia entre los valores individuales de los tres resultados.



2.3 OBTENCION Y PREPARACION DE LAS PROBETAS

Las probetas se obtienen de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), las que se cantearon, cepillaron y lijaron para llegar finalmente a las dimensiones: 9x50x120 mm. Las lijas que se utilizan son para madera con granos de 60 y 150 usándolas de manera consecutiva.

El contenido de humedad de la madera utilizada para obtener las probetas fue de un 13%, el que se obtuvo por el método gravimétrico bajo NCh 176 y cumple con lo solicitado por el fabricante quien estipula debe ser menor a 18%.

En el caso del test de permeabilidad al vapor de agua, se utilizaron chapas de madera de pino radiata, las que se dimensionaron exactamente a un diámetro de 41mm. y un espesor de $0,55 \pm 0,05$ mm.

2.4 APLICACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS

Los revestimientos fueron aplicados con brocha en dos manos para las tres experiencias. En el test de aspersión y en el de flotación fueron recubiertas todas las caras de las probetas, por su parte en el test de permeabilidad al vapor de agua, las chapas fueron recubiertas por una sola cara y en dos manos igualmente. Para todas las experiencias se siguieron las recomendaciones del fabricante del recubrimiento, en lo que se refiere a preparación, requerimientos del sustrato, y preparación, aplicación, tiempo de secado y acondicionamiento de las pinturas.

Tabla Nº 1: Distribución de las probetas y aplicación de revestimientos.

	Ensayo					
	Aspersión		Flotación		Permeabilidad	
	Stain	Esmalte	Stain	Esmalte	Stain	Esmalte
Nº de probetas	15	15	15	15	15	15
Nº de capas	2	2	2	2	2	2
Nº probetas patrón	2		2		3	

2.5 INSTALACION DE LA EXPERIENCIA.

2.5.1 TEST DE ABSORCION DE HUMEDAD POR ASPERSION DE AGUA

Para éste test se requiere de unas cámaras de aspersión, las que consisten en unos recipientes de P.V.C. con un sistema de recirculación del agua para producir la simulación de lluvia (fig. 2).

Las probetas fueron perforadas en uno de sus extremos y se les puso un gancho de alambre de cobre para posteriormente revestirse, este alambre sirve de gancho para sujetarlas al borde del recipiente en donde reciben el agua en forma de "lluvia" (fig. 2). Las probetas se extraen de éstas cámaras para registrar su masa en una balanza (fig. 4) cada 24 horas.



Figura Nº 2: Cámaras de aspersión.

2.5.2 TEST DE ABSORCION DE HUMEDAD POR FLOTACION EN AGUA

Esta experiencia es la que presenta el montaje más sencillo, esto debido principalmente a que sólo se requería de dos recipientes de P.V.C. conteniendo agua para depositar las probetas en su interior (fig. 3). Aquí también fue necesario contar con una balanza (fig. 4), para registrar las ganancias de masa de las probetas cada 24 horas, en el transcurso de la experiencia.



Figura Nº 3: Cámaras de flotación.



Figura Nº 4: balanza utilizada para medir Masas en experiencias de flotación y lixiviación.

2.5.3 TEST DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

En este ensayo se hizo una adaptación de la NCh. 2457, el área que se usó fue de $13,2 \text{ cm}^2$ (41mm. de diámetro) y la especie *Pinus radiata* D. don. Lo primero se debió a que se contaba con una copa de permeabilidad de ese diámetro libre, y la especie *pinus radiata* que se utiliza habitualmente en nuestro país en las construcciones.

Este método fue el que requiere de una mayor preparación, ya que es más complejo debiéndose adaptar frascos y asegurar su buen sellado para evitar las fugas de vapor de agua. Lo que se hizo aquí fue adaptar unos frascos plásticos (fig. 5) a los requerimientos de la experiencia los que se sellaron con PARAFILM en el borde con el fin de impedir la filtración de humedad por otra parte que no sea la película de revestimiento. Fue necesario contar con una balanza de 0,0001 (g) (fig. 6) para registrar la disminución de masa de la copa, un horno (fig. 6) el que llevaría la temperatura a los 25° C y un termómetro para resguardar la temperatura en el interior de éste. El registro de las masas se realizó cada 24 horas.



Figura Nº 5: Copas de permeabilidad con probetas revestidas.



Figura Nº 6 a: Balanza de precisión y **b:** estufa Memmert.



CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS REVESTIMIENTOS EN EL ENVASE

Los resultados aquí obtenidos son importantes a la hora de analizar el comportamiento de los productos frente a los diferentes test, esto debido a que valores observados en la tabla, representan la cantidad efectiva de producto que permanece en la madera.

Tabla Nº 2: Contenido de materias no volátiles de los productos

	Producto A	Producto B
Contenido de materias no volátiles (%)	17,93	54,26

De acuerdo a los valores de contenido de materias no volátiles en los productos, se puede afirmar que el producto B debería tener cierta ventaja sobre el producto A en cuanto a calidad, ya que éste presenta una mayor cantidad de producto que permanece actuando en la madera.

3.2 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS

El contenido de humedad es un parámetro significativo, ya que para ser aplicados, los revestimientos requieren que la madera posea un bajo contenido de humedad (menor a 18%).

Tabla Nº 3: Determinacion del contenido de humedad de la madera.

C.H. Promedio	13,05
----------------------	--------------

Ver datos en anexo Nº 3

Este valor del contenido de humedad (13,05) se ajusta a los requerimientos del fabricante del producto, por lo tanto el sustrato está en condiciones adecuadas de humedad para ser revestido.



3.3 COEFICIENTE DE CAPTACIÓN DE HUMEDAD

Con estos resultados se puede apreciar claramente que las probetas revestidas con el producto A captan una mayor humedad que las revestidas con el producto B, esto en ambos tipos de ensayo (aspersión (A) y flotación(F)), es importante destacar que todas las probetas independientemente del tipo de recubrimiento utilizado y el tipo de ensayo al que fueron sometidas, captan una cantidad considerable de humedad sólo en las primeras horas del ensayo y luego esta comienza a disminuir conforme transcurre el tiempo hasta llegar a una mínima captación de humedad al finalizar los ensayos. Un ejemplo claro de esto ocurre en el ensayo de flotación, en donde a las 24 horas el coeficiente de captación de humedad para el producto A es un 205,6 % más alto que el del producto B y al finalizar el ensayo (hora 168), esta diferencia se reduce a sólo un 24,2%.

Por otra parte es necesario mencionar que el coeficiente de captación de humedad no siempre fue mayor en el ensayo de flotación que en el de aspersión ya que hubieron algunos periodos en donde predominó el coeficiente de captación de humedad en el ensayo de aspersión y esto fue así para ambos productos, incluso para las probetas patrón de estos ensayos.

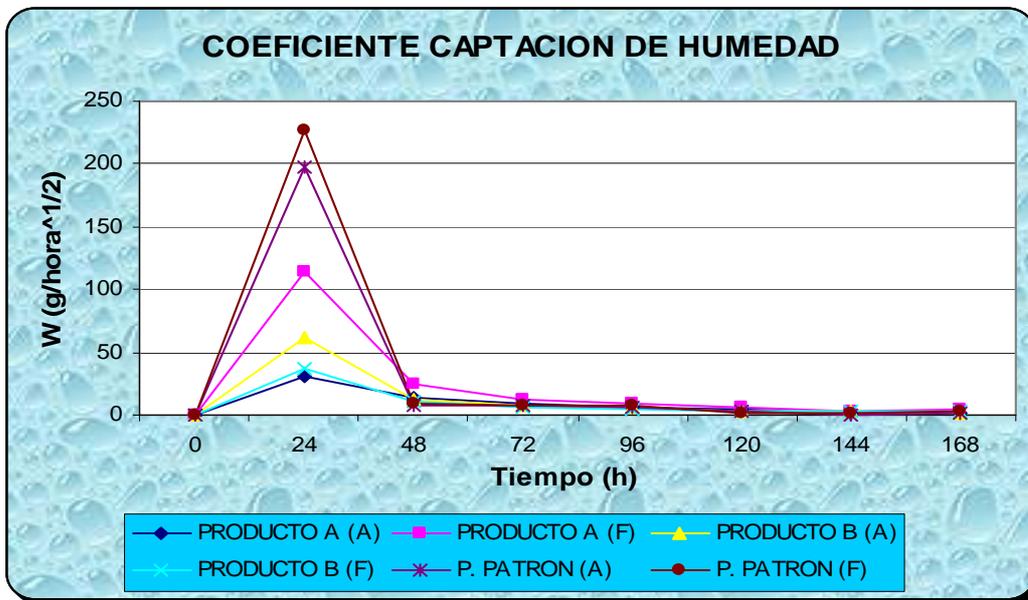


Gráfico N° 1: Coeficiente de captación de humedad.

3.4 ABSORCION DE AGUA

En este gráfico se puede observar que independientemente del tipo de ensayo al cual fueron sometidas las probetas, la absorción de agua es mayor en las probetas revestidas con producto A que aquellas revestidas con el producto B, claro que las diferencias fueron menores que en el ensayo anterior como es el caso de flotación en agua, en donde a las 24 horas el producto A absorbe un 239,2% más de agua que el producto B y al finalizar el ensayo (hora 168) la diferencia se reduce a un 151%.

En el caso de las probetas revestidas con el producto A, sólo a partir de la hora 120 la absorción de agua es mayor en ensayo de flotación en un 0,8% que el de aspersión, mientras que para el producto B la absorción de agua siempre es mayor en ensayo de aspersión que en el de flotación. Finalmente en el caso de las probetas patrón las probetas sometidas a ensayo de flotación absorben en todo momento más agua (entre el 16 y 18 %) que las expuestas al ensayo de aspersión.

A la hora de liberar el agua absorbida por ellas, las probetas manifiestan un comportamiento particular ya que las protegidas con el producto A (que partían con una mayor cantidad de humedad acumulada) liberaron agua a una tasa mucho más rápida que las protegidas con el producto B.

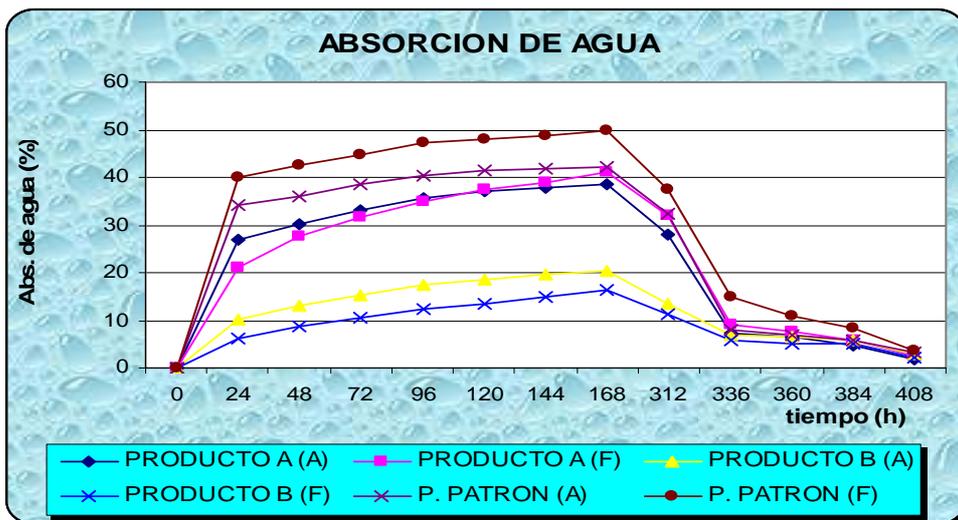


Gráfico N° 2: Absorción de agua.



3.5 EFICACIA DE EXCLUSION DE HUMEDAD

En esta representación gráfica se puede apreciar claramente que las probetas revestidas con el producto B presentaron una mejor eficacia de exclusión de humedad que aquellas revestidas con el producto A, sobre todo en el comienzo de los ensayos, en donde por ejemplo, en el ensayo de aspersión a las 24 horas esta diferencia llega a un 659,68%, dicha diferencia comienza a menguar conforme transcurre el tiempo, llegando incluso a revertirse la situación a partir de la hora 144, en donde la EEH es mayor para el producto A que para el producto B, aunque solo en un 14,9% para terminar en un 68,36% a las 168 horas.

En cuanto a los ensayos, la EEH para el producto A en flotación a las 24 horas es mayor en un 237,57% que para el mismo producto en el ensayo de aspersión, esta diferencia comienza a decaer hasta llegar a la hora 168 con sólo un 12,97%. Para el producto B la EEH es mayor en el ensayo de flotación durante toda la duración de este, salvo en la hora 120, manteniendo diferencias mas o menos constantes.

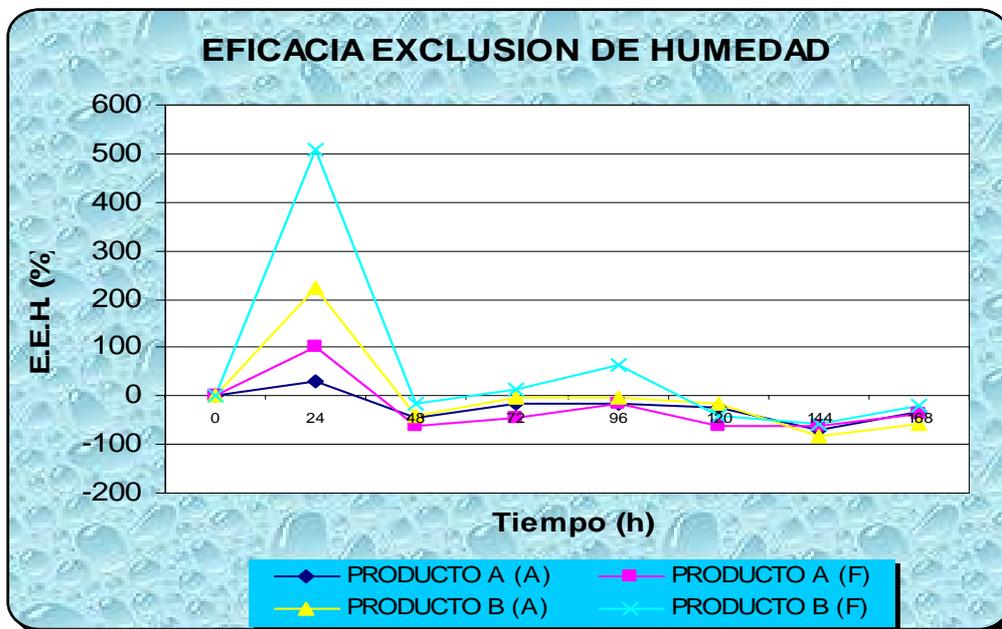


Gráfico N° 3: Eficacia exclusión de humedad.



3.6 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

En este test, la permeabilidad al vapor de agua aumenta rápidamente en las primeras horas alcanzando altos valores de permeabilidad, posteriormente estos valores comienzan a menguar, a medida que transcurre la experiencia.

Se observa que efectivamente las probetas patrón son las más permeables al vapor de agua, seguidas de las protegidas con el recubrimiento A y las menos permeables resultaron ser las revestidas con el producto B. La diferencia entre la permeabilidad de las probetas protegidas con el producto B y las probetas protegidas con el producto A es bastante grande llegando a ser un 229,43% en la hora 144. Como se mencionó anteriormente la permeabilidad comienza a disminuir en el tiempo, sin embargo las diferencias de permeabilidad para ambos productos se mantiene prácticamente constante, entorno al 200% a favor del producto B.

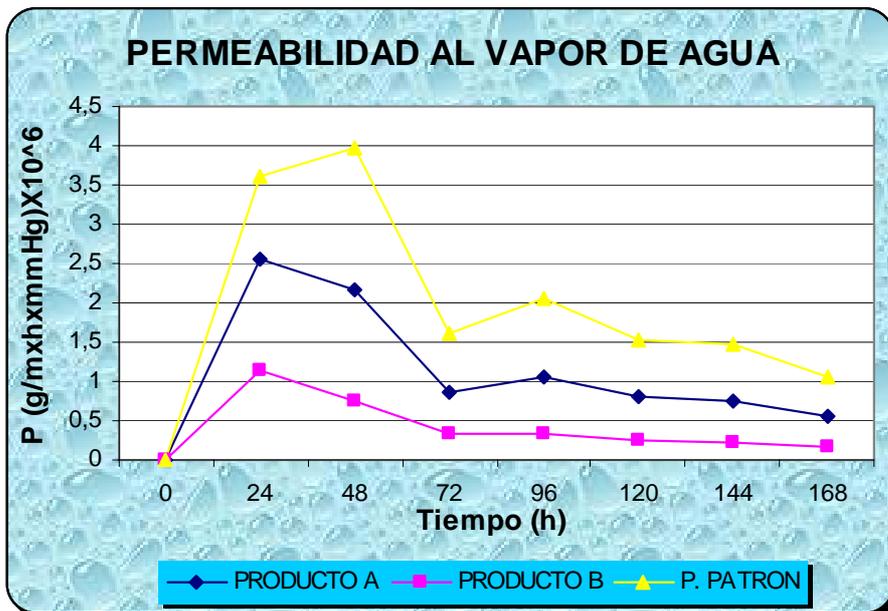


Gráfico N° 4: Permeabilidad al vapor de agua.



CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

A partir de los análisis efectuados y resultados obtenidos se concluye que:

No existe una diferencia clara entre los dos métodos (aspersión y flotación) para evaluar la absorción de humedad, esto de acuerdo con los valores obtenidos de estos ensayos, es decir, no hay un ensayo que sea claramente más exigente para evaluar la calidad de los revestimientos, debido a que los valores no tuvieron una tendencia definida o marcada; entonces el ensayo más exigente a la hora de evaluar la calidad de los ensayo revestimientos será según los requerimientos del usuario y las solicitudes de la madera protegida en servicio.

De los dos productos evaluados en este estudio, el que protege de mejor forma la madera frente al agua, ya sea ésta líquida como en forma de vapor, es el Esmalte (producto B); evaluado desde la perspectiva de los índices de absorción de humedad.

Los mayores niveles de absorción de agua sea ésta líquida como en forma de vapor se obtienen dentro de las primeras 24 horas, independiente del tipo de revestimiento usado.

El Esmalte presenta buenos resultados a la hora de repeler humedad en cualquiera de sus formas, ofrece resistencia a la entrada de humedad, pero también en la salida o en liberación de ésta, por lo cual este hecho debería ser considerado en la decisión del producto en servicio.



4.2 RECOMENDACIONES

Con la información obtenida en esta investigación, se podrían hacer las siguientes recomendaciones:

En primer lugar, si lo que se requiere es que la madera no absorba agua, se recomienda protegerla con pinturas que además de contar con aditivos hidrorrepelentes formen películas, de modo que también haya una barrera física que impida el flujo de humedad a través de ella, y que limite el cambio o juego dimensional de la madera. Es importante señalar que la protección se de preferentemente y mínimo en dos manos, para obtener óptimos resultados.

Ahora, si por el contrario lo que se pretende es proteger a la madera y que ésta absorba y libere el agua libremente, se recomienda revestirla con algún producto que no forme película (tinte), el cual le otorgará esta libertad a la madera y a la vez le permitirá un juego dimensional a ésta.

Para futuras investigaciones se aconseja elegir intervalos de tiempo cortos para el control de peso al comienzo de las experiencias de flotación y aspersion (primeras horas) con el fin de tener información más precisa y detallada del comportamiento de los revestimientos en los primeros instantes de interacción de éstos con el agua.



BIBLIOGRAFÍA

- Fernández, A. Información. Martes 7 mayo 2007 <afernand@ubiobio.cl> [Consulta: 10 mayo 2007].
- Jaque, E., M. A. 2005. Análisis de la variación del contenido de humedad en el tiempo de la madera de pino radiata secada por diferentes tecnologías. Memoria de Ingeniería Civil en Industrias Forestales. Concepción, Universidad del Bio-Bio, facultad de Ingeniería. 187h.
- Morales, J., M .A. 2002. Estudio comparativo de la calidad de pinturas tradicionales sobre madera de Pinus radiata D. Don sin tratamiento preservador. Memoria de Construcción Civil. Concepción, Universidad del Bio-Bio, facultad de Arquitectura, construcción y Diseño. 128h.
- Sánchez, C. y Cifuentes, H., M. A. 2007. Evaluación de la compatibilidad de revestimientos de terminación aplicados sobre madera de pino (Pinus radiata D. Don) impregnada con LOSP y CCA. Memoria de Ingeniería de Ejecución en Maderas. Concepción, Universidad del Bio-Bio, facultad de Ingeniería. DC.
- Sepúlveda, P., M. A. 1994. Evaluación del comportamiento de repelentes al agua sobre madera de Pinus radiata D. Don. Memoria de Ingeniería de Ejecución en Maderas. Concepción, Universidad del Bio-Bio, facultad de Ingeniería. 60h.
- Nch. 173 Of. 73 Madera-Terminología general
- Nch. 176 Of. 84 Madera – parte 1: Determinación de humedad.
- Nch. 176 Of. 84 Madera – parte 3: Determinación de la contracción radial y tangencial.



- Nch. 793 Of. 73 Madera – Planchas y tableros lignocelulósicos – Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento después de la inmersión en agua.
- Nch. 1898 Of. 81 Pinturas y barnices y sus materias primas – Atmósferas normales de acondicionamiento y ensayo.
- Nch. 2152 Of. 89 Pinturas- Determinación del contenido de materias no volátiles en masa.
- NCh. 2457 Of. 2001 Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (Humedad)
- ASTM D 870 Water immersion test of organic Coatings on Steel.



ANEXO I TABLAS DE DATOS Y GRAFICOS
TABLA DE RESULTADOS Nº 1
COEFICIENTE DE CAPTACION DE HUMEDAD
(Ensayo de aspersion)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(Prob. revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	7,487	1,528
48	6,928	0,931	0,134
72	8,485	0,825	0,097
96	9,798	0,665	0,068
120	10,954	0,445	0,041
144	12,000	0,190	0,016
168	12,961	0,165	0,013

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(Prob. revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	2,992	0,611
48	6,928	0,888	0,128
72	8,485	0,705	0,083
96	9,798	0,587	0,060
120	10,954	0,393	0,036
144	12,000	0,300	0,025
168	12,961	0,252	0,019

P. PATRON			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(P. no revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	9,695	1,979
48	6,928	0,530	0,076
72	8,485	0,680	0,080
96	9,798	0,565	0,058
120	10,954	0,330	0,030
144	12,000	0,055	0,005



168	12,961	0,110	0,008
-----	--------	-------	-------

TABLA DE RESULTADOS N° 2
 COEFICIENTE DE CAPTACION DE HUMEDAD
 (Ensayo de flotación)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(Prob. revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	5,583	1,140
48	6,928	1,702	0,246
72	8,485	1,063	0,125
96	9,798	0,857	0,088
120	10,954	0,645	0,059
144	12,000	0,437	0,036
168	12,961	0,531	0,041

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(Prob. revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	1,827	0,373
48	6,928	0,770	0,111
72	8,485	0,529	0,062
96	9,798	0,441	0,045
120	10,954	0,399	0,036
144	12,000	0,398	0,033
168	12,961	0,422	0,033

P. PATRON			
Tiempo (h)	T ^{1/2}	Diferencia de peso prom.	W
		P. Revestida (g)	(P. no revestida)
0	0,000	0	0
24	4,899	11,140	2,274
48	6,928	0,635	0,092
72	8,485	0,605	0,071
96	9,798	0,725	0,074
120	10,954	0,235	0,021
144	12,000	0,165	0,014
168	12,961	0,330	0,025



TABLA DE RESULTADOS N° 3
ABSORCION DE AGUA
 (Ensayo de aspersion)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. de agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	27,9	27,90	0
24	27,9	35,39	26,84
48	27,9	36,32	30,17
72	27,9	37,14	33,13
96	27,9	37,81	35,51
120	27,9	38,25	37,11
144	27,9	38,44	37,79
168	27,9	38,61	38,38
312	27,9	35,74	28,09
336	27,9	29,91	7,20
360	27,9	29,68	6,40
384	27,9	29,18	4,59
408	27,9	28,43	1,89

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. de agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	29,79	29,79	0
24	29,79	32,78	10,04
48	29,79	33,67	13,03
72	29,79	34,37	15,39
96	29,79	34,96	17,36
120	29,79	35,35	18,68
144	29,79	35,65	19,69
168	29,79	35,91	20,54
312	29,79	33,82	13,53
336	29,79	31,90	7,08
360	29,79	31,71	6,46
384	29,79	31,55	5,92
408	29,79	30,70	3,07



P. PATRON			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. de agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	28,39	28,39	0
24	28,39	38,09	34,15
48	28,39	38,62	36,02
72	28,39	39,30	38,41
96	28,39	39,86	40,40
120	28,39	40,19	41,56
144	28,39	40,25	41,76
168	28,39	40,36	42,15
312	28,39	37,57	32,35
336	28,39	30,62	7,85
360	28,39	30,37	6,97
384	28,39	30,07	5,90
408	28,39	29,28	3,13



TABLA DE RESULTADOS Nº 4
 ABSORCION DE AGUA
 (Ensayo de flotación)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. De agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	26,33	26,33	0
24	26,33	31,91	21,20
48	26,33	33,61	27,67
72	26,33	34,68	31,71
96	26,33	35,54	34,96
120	26,33	36,18	37,41
144	26,33	36,62	39,07
168	26,33	37,15	41,09
312	26,33	34,76	32,02
336	26,33	28,75	9,20
360	26,33	28,29	7,46
384	26,33	27,91	5,98
408	26,33	26,95	2,37

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. De agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	29,23	29,23	0
24	29,23	31,06	6,25
48	29,23	31,83	8,88
72	29,23	32,36	10,69
96	29,23	32,80	12,20
120	29,23	33,19	13,56
144	29,23	33,59	14,93
168	29,23	34,01	16,37
312	29,23	32,48	11,13
336	29,23	30,90	5,72
360	29,23	30,77	5,26
384	29,23	30,69	4,99
408	29,23	29,90	2,29



P. PATRON			
Tiempo (h)	MASA PROMEDIO (g)		Abs. De agua (%)
	A. inmersión (g)	D. inmersión (g)	
0	27,76	27,76	0
24	27,76	38,90	40,11
48	27,76	39,53	42,40
72	27,76	40,14	44,58
96	27,76	40,86	47,19
120	27,76	41,10	48,04
144	27,76	41,26	48,63
168	27,76	41,59	49,82
312	27,76	38,20	37,60
336	27,76	31,90	14,90
360	27,76	30,83	11,06
384	27,76	30,11	8,47
408	27,76	28,79	3,69



TABLA DE RESULTADOS Nº 5
EFFECTIVIDAD DE EXCLUSIÓN DE HUMEDAD (EEH)
(Ensayo de aspersion)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	MASA GANADA PROMEDIO (g)		EEH (%)
	P. Patrón	P. Revestida	
24	9,695	7,487	29,49
48	0,530	0,931	-43,05
72	0,680	0,825	-17,61
96	0,565	0,665	-14,99
120	0,330	0,445	-25,79
144	0,055	0,190	-71,05
168	0,110	0,165	-33,47

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	MASA GANADA PROMEDIO (g)		EEH (%)
	P. Patrón	P. Revestida	
24	9,695	2,992	224,03
48	0,530	0,888	-40,32
72	0,680	0,705	-3,59
96	0,565	0,587	-3,80
120	0,330	0,393	-16,10
144	0,055	0,300	-81,67
168	0,110	0,252	-56,35



TABLA DE RESULTADOS Nº 6
EFFECTIVIDAD DE EXCLUSIÓN DE HUMEDAD (EEH)
(Ensayo de flotación)

PRODUCTO A			
Tiempo (h)	MASA GANADA PROMEDIO (g)		EEH (%)
	P. Patrón	P. Revestida	
24	11,140	5,583	99,55
48	0,635	1,702	-62,69
72	0,605	1,063	-43,10
96	0,725	0,857	-15,44
120	0,235	0,645	-63,58
144	0,165	0,437	-62,21
168	0,330	0,531	-37,81

PRODUCTO B			
Tiempo (h)	MASA GANADA PROMEDIO (g)		EEH (%)
	P. Patrón	P. Revestida	
24	11,140	1,827	509,85
48	0,635	0,770	-17,53
72	0,605	0,529	14,29
96	0,725	0,441	64,52
120	0,235	0,399	-41,05
144	0,165	0,398	-58,54
168	0,330	0,422	-21,80



TABLA DE RESULTADOS N° 7
GRADO DE TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA (TVA)

PRODUCTO A		
Tiempo (h)	Cambio de masa promedio (g)	T.V.A
0	0	0
24	0,3020	4,766
48	0,5075	4,005
72	0,3003	1,580
96	0,4920	1,941
120	0,4734	1,494
144	0,5376	1,414
168	0,4626	1,043

PRODUCTO B		
Tiempo (h)	Cambio de masa promedio (g)	T.V.A
0	0	0
24	0,1335	2,107
48	0,1749	1,381
72	0,1135	0,597
96	0,1550	0,612
120	0,1496	0,472
144	0,1634	0,430
168	0,1428	0,322

P. PATRON		
Tiempo (h)	Cambio de masa promedio (g)	T.V.A
0	0	0
24	0,4237	6,687
48	0,9383	7,405
72	0,5683	2,990
96	0,9616	3,794
120	0,9043	2,854
144	1,0367	2,727
168	0,8686	1,958

Área flujo de vapor (m ²)
0,00264



TABLA DE RESULTADOS Nº 8
PERMEANCIA DEL RECUBRIMIENTO (PR) Y
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (P)

PRODUCTO A			
T.V.A	Tiempo (h.)	P.R	P
0	0	0	0
4,766	24	0,004664	2,565E-06
4,005	48	0,003919	2,155E-06
1,580	72	0,001546	8,502E-07
1,941	96	0,001899	1,045E-06
1,494	120	0,001462	8,042E-07
1,414	144	0,001384	7,610E-07
1,043	168	0,001021	5,613E-07

PRODUCTO B			
T.V.A	Tiempo (h)	P.R	P
0	0	0	0
2,107	24	0,002061	1,134E-06
1,381	48	0,001351	7,430E-07
0,597	72	0,000584	3,214E-07
0,612	96	0,000598	3,292E-07
0,472	120	0,000462	2,541E-07
0,430	144	0,000420	2,313E-07
0,322	168	0,000315	1,733E-07

P. PATRON			
T.V.A	Tiempo (h)	P.R	P
0	0	0	0
6,687	24	0,006543	3,599E-06
7,405	48	0,007245	3,985E-06
2,990	72	0,002925	1,609E-06
3,794	96	0,003712	2,042E-06
2,854	120	0,002793	1,536E-06
2,727	144	0,002668	1,468E-06
1,958	168	0,001916	1,054E-06





TABLA DE RESULTADOS Nº 9

Registro del aumento de peso (g) para el ensayo de aspersión.

Probeta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	23,45	30,03	31,05	31,94	32,66	33,17	33,51	33,84
2	31,69	38,61	39,62	40,25	40,76	41,08	41,22	41,26
3	22,73	28,25	29,29	30,37	31,30	31,91	32,29	32,71
4	25,95	33,68	34,63	35,56	36,18	36,57	36,64	36,76
5	32,40	39,13	40,12	40,94	41,61	42,02	42,21	42,33
6	27,86	34,73	35,59	36,57	37,45	37,87	38,13	38,28
7	24,00	31,48	32,77	33,56	34,03	34,60	34,69	34,76
8	31,26	38,10	39,19	39,98	40,60	41,06	41,21	41,41
9	33,26	43,22	44,21	45,07	45,83	46,24	46,45	46,70
10	28,76	37,72	38,40	39,25	39,97	40,44	40,58	40,80
11	24,94	35,48	36,13	36,79	37,35	37,67	37,82	37,92
12	28,86	36,97	37,70	38,46	39,13	39,57	39,71	39,86
13	24,41	29,78	30,87	31,78	32,41	32,96	33,30	33,41
14	31,56	38,06	38,88	39,56	40,12	40,48	40,63	40,70
15	27,35	35,55	36,30	37,05	37,70	38,13	38,23	38,36
16	34,76	37,49	38,23	38,77	39,28	39,66	40,00	40,31
17	29,98	33,05	34,37	35,43	36,02	36,51	36,83	37,03
18	28,68	31,56	32,27	32,88	33,22	33,57	33,81	33,99
19	25,66	28,58	29,46	30,11	30,53	31,01	31,29	31,62
20	38,47	41,40	42,16	43,11	43,95	44,46	44,93	45,28
21	27,74	30,49	31,30	32,01	32,97	33,14	33,52	33,82
22	26,26	29,35	30,37	31,07	31,61	32,02	32,23	32,40
23	28,56	32,16	33,20	34,07	34,82	35,32	35,63	35,96
24	29,41	32,64	33,56	34,30	34,92	35,29	35,60	35,68
25	28,88	31,68	32,42	32,94	33,37	33,78	34,09	34,31
26	31,00	33,21	34,02	34,66	35,22	35,59	35,80	36,16
27	29,48	32,94	33,84	34,46	35,04	35,42	35,75	35,91
28	30,98	33,77	34,50	35,14	35,79	36,10	36,30	36,63
29	27,11	30,38	31,46	32,20	32,71	33,20	33,54	33,79
30	29,86	33,01	33,87	34,46	34,97	35,25	35,50	35,71
P1	30,71	40,47	41,02	41,69	42,26	42,65	42,76	42,91
P2	26,07	35,70	36,21	36,90	37,46	37,73	37,73	37,80

Nota. Las probetas numero 1 a la 15 representan a las tratadas con el producto A, mientras que de la 16 a la 30 representan a las tratadas con el producto B.



TABLA DE RESULTADOS N° 10

Registro del aumento de peso (g) para el ensayo de flotación.

Probeta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	29,17	34,46	37,27	38,77	39,91	40,72	41,33	41,79
2	26,13	31,69	33,28	34,20	34,97	35,50	35,75	36,00
3	20,97	25,42	26,96	28,12	29,11	30,16	30,97	32,10
4	26,53	34,30	35,58	36,50	37,35	37,83	38,21	38,63
5	33,35	39,86	41,79	43,00	43,94	44,59	44,99	45,50
6	25,27	30,16	31,81	32,95	33,81	34,56	35,17	35,89
7	24,12	30,77	32,71	33,73	34,44	34,93	35,20	35,67
8	28,89	35,28	37,20	38,46	39,48	40,30	40,93	41,59
9	20,85	26,40	28,27	29,44	30,35	30,99	31,40	31,96
10	27,84	33,09	34,36	35,14	35,76	36,16	36,32	36,48
11	27,01	30,92	32,45	33,36	34,04	34,58	34,94	35,44
12	24,57	30,87	32,90	34,25	35,36	36,20	36,82	37,55
13	26,76	30,71	31,88	32,59	33,28	33,80	34,15	34,64
14	28,88	34,74	36,38	37,44	38,22	38,83	39,22	39,63
15	24,61	30,02	31,38	32,22	33,01	33,56	33,86	34,35
16	27,31	30,95	32,24	33,12	33,65	34,14	34,60	35,10
17	25,42	27,29	27,89	28,31	28,65	28,97	29,27	29,49
18	35,92	37,54	38,25	38,72	39,19	39,59	40,09	40,63
19	22,79	24,35	24,80	25,06	25,29	25,48	25,72	26,04
20	32,87	34,76	35,56	36,20	36,78	37,36	37,92	38,52
21	31,84	32,80	33,67	34,05	34,36	34,67	34,94	35,25
22	29,25	31,00	31,64	32,18	32,54	32,90	33,12	33,29
23	26,96	28,73	29,38	29,82	30,16	30,56	31,01	31,45
24	28,18	30,40	31,22	31,77	32,27	32,64	33,09	33,49
25	28,89	30,39	30,95	31,34	31,67	31,94	32,20	32,50
26	29,17	30,77	31,40	31,81	32,21	32,56	32,90	33,25
27	27,42	28,08	28,76	29,20	29,58	29,90	30,30	30,75
28	30,87	32,78	33,62	34,26	34,76	35,23	35,74	36,32
29	32,04	34,27	35,30	36,06	36,72	37,35	37,90	38,48
30	29,51	31,73	32,71	33,43	34,11	34,63	35,09	35,66
P1	26,41	37,78	38,28	38,86	39,57	39,84	39,94	40,36
P2	29,10	40,01	40,78	41,41	42,15	42,35	42,58	42,82

Nota. Las probetas numero 1 a la 15 representan a las tratadas con el producto A, mientras que de la 16 a la 30 representan a las tratadas con el producto B.



TABLA DE RESULTADOS N° 11

Registro de la disminución de peso (g) para el ensayo de flotación

Probeta	Día 8	Día 9	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17
1	41,79	39,66	33,10	32,07	31,37	29,96
2	36,00	33,78	28,45	28,29	28,05	27,17
3	32,10	29,69	22,20	21,85	21,58	20,80
4	38,63	36,10	28,42	28,01	27,73	26,91
5	45,50	43,08	35,98	35,70	35,36	34,28
6	35,89	33,41	27,18	26,80	26,41	25,56
7	35,67	33,17	25,29	25,20	25,04	24,38
8	41,59	39,17	32,32	31,69	31,13	29,74
9	31,96	29,29	24,24	23,14	22,35	21,24
10	36,48	34,31	29,66	29,54	29,44	28,72
11	35,44	33,02	29,45	29,06	28,76	27,93
12	37,55	35,13	25,95	25,50	25,27	24,53
13	34,64	32,17	28,70	28,63	28,44	27,76
14	39,63	37,10	33,68	32,56	31,54	29,94
15	34,35	32,33	26,68	26,36	26,11	25,38
16	35,10	32,69	29,76	29,50	29,26	28,20
17	29,49	28,10	26,83	26,71	26,60	25,96
18	40,63	39,11	37,98	37,84	37,70	36,90
19	26,04	24,47	23,02	22,97	22,91	22,41
20	38,52	36,81	34,94	34,85	34,73	34,00
21	35,25	34,24	33,30	33,23	33,15	32,55
22	33,29	31,99	31,02	30,90	30,78	30,06
23	31,45	29,94	28,65	28,49	28,37	27,63
24	33,49	31,96	30,25	30,03	29,86	29,00
25	32,50	31,23	30,13	30,05	29,98	29,47
26	33,25	31,87	30,79	30,70	30,63	30,04
27	30,75	29,41	28,08	27,94	27,81	27,09
28	36,32	34,75	33,03	32,92	32,79	31,99
29	38,48	36,70	34,22	34,02	33,85	32,89
30	35,66	33,94	31,53	31,36	31,20	30,30
P1	40,36	36,65	30,55	29,40	28,80	27,52
P2	42,82	39,75	33,24	32,26	31,42	30,05

Nota. Las probetas numero 1 a la 15 representan a las tratadas con el producto A, mientras que de la 16 a la 30 representan a las tratadas con el producto B.



TABLA DE RESULTADOS N° 12

Registro de la disminución de peso (g) para el ensayo de aspersión.

Probeta	Día 8	Día 9	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17
1	33,84	29,36	24,46	24,41	24,25	23,73
2	41,26	38,64	33,93	33,68	33,39	32,43
3	32,71	30,03	23,48	23,30	23,13	22,43
4	36,76	38,01	27,49	27,14	26,89	25,16
5	42,33	39,45	34,63	34,37	34,10	33,31
6	38,28	35,45	29,70	29,53	29,32	25,60
7	34,76	31,63	25,59	25,38	25,16	24,53
8	41,41	37,75	33,02	32,99	32,87	32,19
9	46,70	43,59	36,11	35,57	35,11	33,99
10	40,80	37,06	30,55	30,38	30,16	29,42
11	37,92	34,74	29,58	29,51	29,35	28,71
12	39,86	36,81	31,21	30,76	30,42	29,44
13	33,41	30,51	25,58	25,57	25,44	24,93
14	40,70	37,89	33,78	33,52	33,31	32,52
15	38,36	35,11	29,51	29,16	28,90	28,02
16	40,31	38,75	37,35	37,21	37,10	36,36
17	37,03	34,76	32,27	32,08	31,92	31,04
18	33,99	31,61	29,72	29,55	29,42	28,77
19	31,62	29,59	27,64	27,44	27,26	26,36
20	45,28	43,34	41,59	41,41	41,25	40,24
21	33,82	31,67	29,53	29,38	29,23	28,41
22	32,40	30,31	28,17	27,98	27,85	27,10
23	35,96	33,63	31,34	30,97	30,66	29,41
24	35,68	33,44	31,66	31,45	31,27	30,32
25	34,31	32,19	30,80	30,66	30,53	29,81
26	36,16	34,29	32,53	32,41	32,32	31,71
27	35,91	33,88	31,84	31,66	31,48	30,55
28	36,63	34,88	33,04	32,89	32,74	31,93
29	33,79	31,56	29,41	29,15	28,93	27,91
30	35,71	33,39	31,58	31,44	31,33	30,63
P1	42,91	40,09	32,86	32,52	32,24	31,50
P2	37,80	35,06	28,38	28,22	27,89	27,06

Nota. Las probetas numero 1 a la 15 representan a las tratadas con el producto A, mientras que de la 16 a la 30 representan a las tratadas con el producto B.



TABLA DE RESULTADOS N° 13

Registro diario para el ensayo de difusión, además se muestra la difusión total durante el tiempo del ensayo.

Probeta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Difusión total (g)
1	22,4699	22,1988	21,6880	21,4008	20,9223	20,4351	19,8617	19,3869	3,0830
2	22,2474	21,5558	21,4093	21,0938	20,6003	20,1252	19,5613	19,0879	3,1600
3	22,6756	22,4053	21,8681	21,5907	21,1468	20,7051	20,2062	19,7726	2,9030
4	22,4089	22,1055	21,5548	21,2110	20,6424	20,1065	19,5078	18,9858	3,4230
5	22,8712	22,6096	22,1003	21,8419	21,4228	21,0118	20,5451	20,1475	2,7240
6	22,8255	22,5481	22,0213	21,7246	21,2552	20,8091	20,2863	19,8324	2,9930
7	23,0028	22,6997	22,1362	21,8532	21,4013	20,9428	20,4212	19,9652	3,0380
8	22,6330	22,3365	21,7779	21,4437	20,9260	20,4400	19,9080	19,4444	3,1890
9	22,9424	22,6609	22,1015	21,7663	21,2150	20,6724	20,0802	19,5752	3,3670
10	22,7553	22,5048	22,0259	21,7863	21,3621	20,9900	20,5452	20,1563	2,5990
11	23,5970	23,3256	22,7949	22,4737	21,9496	21,4462	20,8518	20,3457	3,2510
12	23,1351	22,8660	22,3917	22,1992	21,7063	21,2871	20,8272	20,4320	2,7030
13	22,6908	22,4077	21,8915	21,5321	21,0206	20,5104	19,9611	19,4756	3,2150
14	22,6908	22,4796	21,9028	21,5674	21,0337	20,5126	19,9211	19,4190	3,2720
15	22,6095	22,3215	21,7488	21,4239	20,9246	20,4337	19,8798	19,3984	3,2110
16	22,8027	22,6812	22,5071	22,4038	22,2661	22,1057	21,9477	21,8100	0,9930
17	22,4380	22,3082	22,1255	22,0143	21,8568	21,7281	21,5834	21,4626	0,9750
18	22,9320	22,8071	22,6650	22,5437	22,4107	22,2664	22,1306	22,0122	0,9200
19	22,9777	22,8558	22,6937	22,5867	22,4293	22,2960	22,1456	22,0084	0,9690
20	22,9716	22,8391	22,6596	22,5437	22,3579	22,1940	22,0108	21,8545	1,1170
21	22,8411	22,6407	22,4740	22,3460	22,1726	22,0130	21,8302	21,6723	1,1690
22	23,1092	22,9811	22,8179	22,7114	22,5764	22,4399	22,2890	22,1478	0,9610
23	22,7928	22,6687	22,4993	22,3938	22,2531	22,1154	21,9673	21,8345	0,9580
24	22,8673	22,7323	22,4953	22,3857	22,2509	22,1214	21,9711	21,8346	1,0330
25	22,8779	22,7380	22,5393	22,4173	22,2302	22,0696	21,8792	21,7201	1,1580
26	22,7888	22,6515	22,4855	22,3796	22,2351	22,0909	21,9360	21,7956	0,9930
27	22,8891	22,7743	22,6262	22,5107	22,3651	22,2238	22,0546	21,9125	0,9770
28	23,0739	22,9426	22,7722	22,6537	22,5010	22,3578	22,1863	22,0325	1,0410
29	23,0498	22,9340	22,7791	22,6674	22,5142	22,3693	22,2085	22,0735	0,9760
30	23,2304	23,0856	22,8763	22,7554	22,5685	22,3525	22,1531	21,9799	1,2510
P1	22,2370	21,7991	20,8445	20,2852	19,3026	18,4034	17,3764	16,4902	5,7470
P2	22,6230	22,2105	21,3196	20,7404	19,8025	18,8897	17,8580	17,0015	5,6220
P3	23,3406	22,9199	21,9505	21,3841	20,4199	19,5190	18,4677	17,6047	5,7360

ANEXO 2

TABLA Nº 14

Promedios mensuales y anuales de humedad de equilibrio para pino insigne (Pinus radiata D.Don)

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom, Anual
Chapiña	11,6	12,8	13,7	-	-	5,9	6,0	6,6	7,4	6,4	7,4	9,9	-
Iquique	13,6	13,7	14,2	14,5	14,4	14,0	14,5	14,5	-15,0	14,3	13,9	14,0	14,2
Chuquicamata	7,40	7,80	8,20	6,8	5,9	5,2	5,4	5,4	5,8	5,2	5,5	6,6	6,3
Antofagasta	13,7	14,0	14,4	14,5	14,5	14,5	14,5	14,4	14,2	14,2	14,2	14,0	14,3
Copiapó	14,2	14,2	14,8	14,8	15,0	14,4	14,8	14,6	14,4	14,4	14,6	14,2	14,5
La Serena	16,2	16,7	16,8	17,0	17,4	17,8	17,8	17,6	17,4	17,1	17,0	16,0	17,1
Valparaiso	14,3	13,4	14,7	15,8	15,2	16,5	16,1	15,9	15,6	14,8	14,3	13,6	15,0
Stgo, Qta, Normal	11,5	11,1	11,9	14,4	15,6	18,0	18,2	17,3	16,0	14,5	12,2	12,2	14,4
Los Ciprese	11,4	11,4	10,7	13,0	13,4	15,5	15,4	14,6	13,1	12,4	11,2	13,4	13,0
Chillán	12,8	13,7	13,8	16,7	19,0	20,0	21,6	20,3	18,5	16,9	14,9	15,4	16,9
Concepción	16,8	17,2	17,5	18,8	20,0	21,4	21,8	20,8	20,2	19,0	18,1	18,7	19,2
Abanico	14,4	14,8	14,9	17,2	18,1	20,2	19,4	19,0	16,2	16,6	15,1	16,3	16,8
Temuco	14,8	15,2	15,8	17,5	18,9	19,5	19,8	19,7	17,5	16,8	15,9	16,3	17,3
Valdivia	15,9	16,6	17,0	19,6	20,8	21,9	22,2	21,8	19,5	18,2	16,6	16,8	18,9
Osorno	16,1	16,9	17,0	18,5	20,1	21,1	21,6	21,1	19,2	17,1	17,2	17,2	18,6
Pto, Montt	18,0	19,4	19,7	20,8	21,8	22,3	22,8	22,3	21,1	20,4	19,3	19,4	20,6
Pto, Aisén	18,7	18,6	19,1	20,4	20,9	23,0	23,0	22,7	20,2	19,6	18,6	18,6	20,3
Pta, Arenas	13,6	14,0	14,8	16,0	16,4	17,0	17,8	18,4	16,4	15,6	14,4	14,2	15,7



ANEXO 3

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS

Tiempo (h)	Masa (g)		
	Prob. 1	Prob. 2	Prob. 3
0	13,32	13,25	16,38
25	11,75	11,73	14,54
26	11,74	11,73	14,53
C.H	13,46	12,96	12,73
C.H. Promedio	13,05		

ANEXO 4

DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS APLICADOS

PRODUCTO A (esmalte al agua).

Es un excelente imprimante para aplicar sobre él, barnices marinos en general. Esta combinación aumenta la vida útil de los barnices al exterior, en especial si se eligen colores en ambos productos, por este motivo la madera adquiere una protección adicional a la foto-degradación producida por la luz solar. Producto hidrorrepelente de mayor duración.

La madera deberá estar lijada limpia, y libre de productos anteriores como aceites, barnices y pinturas en general, con un contenido de humedad inferior a un 18%.

PRODUCTO B (stain o impregnante superficial).

Es un esmalte al agua especial para ambientes húmedos. Es una pintura especialmente diseñada para resistir condiciones ambientales drásticas de temperatura y humedad. Provee una terminación resistente a hongos, que permanece inalterable durante mucho tiempo. Es lavable, por lo que la suciedad puede ser removida fácilmente sin necesidad de limpiadores abrasivos.

Es recomendada para lugares expuestos a la humedad y en donde los hongos sean un problema.