



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Construcción Civil

# Evaluación de la adherencia y rendimiento por la incorporación de mucílago de Nopal en el barniz de poliestireno expandido

Por

Silvia Paola Narbona Gómez

Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y al Título de  
Ingeniero Constructor

Prof. Guía: Gianella Adofacci Cárdenas

MAYO, 2018

*"Siembra un acto y cosecharás un hábito, siembra un hábito y cosecharás un carácter, siembra un carácter y cosecharás un destino"*

*Charles Reade.*

## Agradecimientos

*“Principalmente agradecer a Dios quien guía mi camino y brinda fortaleza para avanzar cada paso que doy. A mis padres Juan Narbona y Maritza Gómez, quienes me han brindado su vida en su labor de padres, su apoyo incondicional y sus valores que hicieron lograr la persona que soy hoy en día, me faltará vida para agradecer todo lo que han hecho por mí, solo decir gracias por todo. A mi pareja Ricardo Rocco, quien ha brindado su apoyo incondicional y superado obstáculos junto a mí frente a lo que sea, a mi familia que aportaron para mi bien estar en mi vida y en mis estudios, y los momentos felices que hemos vivido, eso llena mí alma de alegría.*

*Otra parte importante en mi familia es la que se forma en el trayecto de la vida, a los amigos, quienes los llevo profundamente en mi corazón, amigos que se fueron amigos que están y amigos que me seguirán, agradecer a Miguel Navarrete, Liset Zamora y Paulina Sotomayor, personitas que el último tiempo luchamos con todo para obtener buenas calificaciones y personas a las cuales son mis hermanos y quienes pasábamos el día entero estudiando durante meses, mis otros amigos con los cuales juntamos nuestro camino en Ingeniería en Construcción a Marcel Ramírez, Belén Ojeda, Susan Vega, Mauricio Delgado, Ignacio Pinto, Diego Olguín, gracias por su apoyo, tardes de estudios y momentos lindos que compartimos, a Fran Vázquez mi amiga fitness y motivación al deporte, Víctor Pinto mi amigo seco en la materia, Javiera Parraguéz una persona llena de risa y buena vibra, Vanessa Muñoz una hermosa persona y digna de confiar, Cindy Aranda mi compañera de hogar con quien vivimos lindos y divertidos momentos, Diego Ahumada compañero de hogar a quien aprecio por su linda persona, mi amigo Fabricio Manríquez su simpatía me encanta y su linda amistad que entrega, Sergio Torres por su ayuda y buena vibra y a todos los que considero mis amigos, porque de alguna u otra forma fuimos una familia cada día que pasamos juntos.*

*A mi profesora Gianella Adofacci por sus consejos y ayuda en mi tesis, a la escuela de construcción civil por aceptarme y darme la mano cada vez que lo necesite, a mi querida Emperatriz que me vio crecer desde que llegue a estudiar a Valparaíso y ha estado cada vez que lo he necesitado, a Fabiola por su buena voluntad y ayuda que nos brinda en todo momento, a mi profesor Jorge Rivera por su buena empatía y enseñanzas con nosotros, y a todos mis profesores que hicieron conocimiento en mí, muchas gracias a toda la escuela.*

*¡Gracias a cada uno que aportó con su grano de arena para lograr esta carrera, a mi formación personal y ahora profesional, muchas gracias gente!”*

## Índice

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>2</b>
<b>Lista de abreviaturas y siglas .....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>11</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>13</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Antecedentes Generales .....</b>	<b>15</b>
1.1    Introducción .....	16
1.2    Planteamiento del problema.....	17
1.3    Objetivos .....	20
1.3.1    Objetivo General.....	20
1.3.2    Objetivo Específico .....	20
1.4    Hipótesis .....	20
1.5    Alcances .....	20
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>21</b>
2.1    La madera .....	22
2.1.1    Propiedades de la madera .....	22
2.1.2    Ventajas como material en la construcción .....	23
2.1.3    Productos que protegen a la madera .....	24
2.1.4    Fibra de madera prensada .....	24
2.2    El poliestireno expandido (EPS).....	26
2.2.1    El Limoneno .....	26
2.2.2    Barniz de poliestireno expandido .....	27
2.2.3    Reciclaje del poliestireno expandido (EPS) .....	28
2.2.4    Aplicaciones del barniz de poliestireno expandido .....	28
2.3    Nopal o penca tuna .....	30
2.3.1    Mucílago de Nopal .....	30
2.3.2    Pintura hecha con mucílago de Nopal .....	31
2.4    Índice radiación ultravioleta, UV.....	31

<b>3. Metodología de la Investigación .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagrama de flujo de investigación .....	34
3.2 Variables .....	35
3.1.1 Independiente.....	35
3.1.2 Dependiente .....	35
3.3 Determinación de dosis de mucílago de Nopal al barniz de EPS .....	35
3.4 Factorial de ensayos.....	35
3.5 Extracción de mucílago de Nopal .....	38
3.6 Envejecimiento acelerado .....	39
3.7 Determinación del tiempo de envejecimiento.....	40
3.8 Ensayos .....	43
3.8.1 Propiedades del barniz propuesto.....	43
3.8.2 Evaluación del barniz envejecido.....	48
<b>4. Trabajo Experimental.....</b>	<b>55</b>
4.1 Elaboración de muestras del barniz propuesto.....	56
4.1.1 Poliestireno expandido .....	56
4.1.2 Limoneno.....	56
4.1.3 Incorporación de EPS al Limoneno.....	57
4.1.4 Incorporación de mucílago de Nopal.....	57
4.1.5 Dosis de mucílago de Nopal.....	58
4.1.6 Surfactantes .....	59
4.2 Elaboración de probetas de madera y metal .....	60
4.2.1 Probetas de machihembrado.....	60
4.2.2 Probetas de OSB.....	61
4.2.3 Probetas de contrachapado .....	61
4.2.4 Probetas de metal.....	62
4.3 Ejecución de ensayos: Propiedades barniz propuesto.....	62
4.3.1 Determinación de la densidad.....	62
4.3.2 Determinación de la viscosidad.....	63
4.3.3 Determinación del tiempo de secado.....	63

4.3.4	Determinación del rendimiento .....	64
4.3.5	Determinación de la estabilidad .....	64
4.4	Ejecución de ensayos: Evaluación del barniz envejecido.....	65
4.4.1	Envejecimiento con radiación UV-A .....	65
4.4.2	Determinación del espesor de película seca .....	65
4.4.3	Determinación de la resistencia a la abrasión seca.....	66
4.4.4	Determinación de la adherencia .....	66
4.4.5	Determinación del retardo al fuego .....	67
4.4.6	Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento .....	67
<b>5.</b>	<b>Presentación y análisis de resultados .....</b>	<b>68</b>
5.1	Presentación de resultados .....	69
5.1.1	Determinación de la densidad.....	69
5.1.2	Determinación de la viscosidad.....	70
5.1.3	Determinación del tiempo de secado.....	71
5.1.4	Determinación del rendimiento .....	72
5.1.5	Determinación de la estabilidad .....	73
5.1.6	Determinación del espesor de película seca .....	73
5.1.7	Determinación a la resistencia a la abrasión seca.....	74
5.1.8	Determinación de la adherencia .....	74
5.1.9	Determinación del retardo al fuego .....	75
5.1.10	Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento .....	77
5.2	Análisis de resultados .....	79
5.2.1	Determinación de la densidad.....	79
5.2.2	Determinación de la viscosidad.....	80
5.2.3	Determinación del tiempo de secado.....	81
5.2.4	Determinación del rendimiento .....	81
5.2.5	Determinación de la estabilidad .....	82
5.2.6	Determinación del espesor de película seca .....	83
5.2.7	Determinación a la resistencia a la abrasión seca.....	84
5.2.8	Determinación de la adherencia .....	85

5.2.9	Determinación del retardo al fuego .....	85
5.2.10	Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento .....	87
<b>6.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>89</b>
6.1	Generalidades.....	90
6.2	Propiedades físicas (comportamiento y características) .....	90
6.3	Recomendaciones para futuras investigaciones.....	92
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>93</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>96</b>
Anexo 1	.....	97
1.1	¿Qué es una sustancia anfífila?.....	97
1.2	Tensioactivos y surfactantes.....	97
1.3	Clasificación de los Surfactantes .....	97
Anexo 2	.....	99
2.1	Viscosidad .....	99
Anexo 3	.....	111
3.1	Tiempo de secado .....	111
Anexo 4	.....	114
4.1	Espesor de película seca (2 manos) .....	114
Anexo 5	.....	116
5.1	Resistencia a la abrasión seca.....	116
Anexo 6	.....	117
6.1	Adherencia (1 mano: barniz patrón; 2 manos: dosis A y B) .....	117
Anexo 7	.....	120
7.1	Retardo al fuego.....	120
Anexo 8	.....	126
8.1	Absorción de agua e hinchamiento.....	126

## Lista de abreviaturas y siglas

m = metros

cm = centímetros

mm = milímetros

" = pulgada

lt = litros

ml = mililitros

gal = galón

kg = kilos

gr = gramos

°C = grados celsius

° = grados sexagesimales

% = porcentaje

Cp = centipoise

μm = micrómetro

hr = horas

min = minutos

seg = segundos

mW = miliwatt

nm = nanómetros

## Lista de figuras

**Figura 2.1** Molécula de limoneno.

**Figura 2.2** EPS disolviéndose en solvente.

**Figura 2.3** Probeta n°10.

**Figura 2.4** Probeta n°17.

**Figura 3.1** Diagrama de metodología de la investigación.

**Figura 3.2** Se pesan.

**Figura 3.3** Se pican en trozos.

**Figura 3.4** Se vierte agua.

**Figura 3.5** Comportamiento de la radiación acumulada en 4, 8 y 12 meses móviles.

**Figura 3.6** Viscosímetro análogo Brookfield RVT.

**Figura 4.1** Poliestireno expandido a utilizar.

**Figura 4.2** Limoneno medido en ml.

**Figura 4.3** Peso del EPS en gr para disolverlos en Limoneno.

**Figura 4.4** Frasco con mucílago.

**Figura 4.5** Placa de Petri con mucílago.

**Figura 4.6** Tubo de ensayo con mucílago en gr.

**Figura 4.7** Porcentajes de mezclas de mucílago y EPS.

**Figura 4.8** Placa de Petri con Limoneno y mucílago revuelto.

**Figura 4.9** Placa de Petri con Barniz de EPS y una gota de yema de huevo.

**Figura 4.10** Unión de fases por medio de la yema de huevo.

**Figura 4.11** Unión de fases por medio de jabón neutro de bebe.

**Figura 4.12** Machihembrado de 15x7,5cm a utilizar.

**Figura 4.13** Tira de OSB cortada cada 7,5cm.

**Figura 4.14** Probetas de contrachapado de 15x7,5cm.

**Figura 4.15** Zincaalum en láminas cortadas en probetas de 15x7,5cm.

**Figura 4.16** Picnómetro y balanza analítica.

**Figura 4.17** Viscosímetro utilizado para la realización del ensayo.

**Figura 4.18** Probetas metálicas y de madera machihembrado.

**Figura 4.19** Probetas de madera para analizar el rendimiento.

**Figura 4.20** Recipientes con las muestras a analizar.

**Figura 4.21** Radiómetro en mW/cm<sup>2</sup> y cámara de envejecimiento.

**Figura 4.22** Pie de metro con sensibilidad de 0,01mm.

**Figura 4.23** Probetas y aparato de ensayo a la abrasión.

**Figura 4.24** Puntos a ensayar y enrejado resultante de adherencia.

**Figura 4.25** Cámara de ensayo retardo al fuego.

**Figura 4.26** Bandas de pH, baño termostático.

**Figura 5.1** Ensayo de viscosidad.

**Figura 5.2** Ensayo de adherencia.

**Figura 5.3** Ensayo de densidad.

**Figura 5.4** Tiempo de secado en madera y metal.

**Figura 5.5** Ensayo de rendimiento.

**Figura 5.6** Ensayo de película seca.

**Figura 5.7** Ensayo de resistencia a la abrasión.

**Figura 5.8** Ensayo pérdida de masa en contrachapado.

**Figura 5.9** Ensayo pérdida de masa en OSB.

**Figura 5.10** Ensayo pérdida de masa en machihembrado.

**Figura 5.11** Ensayo carbonización en contrachapado.

**Figura 5.12** Ensayo carbonización en OSB.

**Figura 5.13** Ensayo carbonización en machihembrado.

**Figura 5.14** Ensayo de absorción en contrachapado.

**Figura 5.15** Ensayo de absorción en OSB.

**Figura 5.16** Ensayo de absorción en machihembrado.

**Figura 5.17** Ensayo de hinchamiento en contrachapado.

**Figura 5.18** Ensayo de hinchamiento en OSB.

**Figura 5.19** Ensayo de hinchamiento en machihembrado.

**Figura A.1** Unión de dos fases polar y apolar.

**Figura A.2.1** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-2.

- Figura A.2.2** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-3.
- Figura A.2.3** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-4.
- Figura A.2.4** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-5.
- Figura A.2.5** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-2.
- Figura A.2.6** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-3.
- Figura A.2.7** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-4.
- Figura A.2.8** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-5.
- Figura A.2.9** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-2.
- Figura A.2.10** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-3.
- Figura A.2.11** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-4.
- Figura A.2.12** Gráfico de viscosidad mucílago de Nopal RV-2.
- Figura A.6.1** Tabla de clasificación de los resultados de los ensayos.

**Lista de tablas**

**Tabla 2.1** Composición porcentual de los niveles.

**Tabla 3.1** Factorial de ensayos.

**Tabla 3.2** Radiación Ultravioleta tipo A en la ciudad de Concón.

**Tabla 3.3** Radiación ultravioleta UV-A acumulada en períodos de meses móviles en Concón.

**Tabla 3.4** Equivalencia entre el envejecimiento acelerado y natural.

**Tabla 4.1** Resumen de pruebas hechas con surfactantes.

**Tabla 5.1** Densidad en días 1, 2 y 3.

**Tabla 5.2** Resumen de viscosidades.

**Tabla 5.3** Resumen tiempo secado (al tacto, seco y total).

**Tabla 5.4** Rendimiento barniz Patrón.

**Tabla 5.5** Rendimiento barniz con dosis A (10% de mucílago).

**Tabla 5.6** Rendimiento barniz con dosis B (30% de mucílago).

**Tabla 5.7** Resumen de disminución de película seca.

**Tabla 5.8** Resumen de resistencia a la abrasión (lt/ $\mu$ m).

**Tabla 5.9** Resumen de ensayo a la adherencia.

**Tabla 5.10** Resumen de pérdida de masa en contrachapado.

**Tabla 5.11** Resumen de pérdida de masa en OSB.

**Tabla 5.12** Resumen de pérdida de masa en machihembrado.

**Tabla 5.13** Resumen de carbonización en contrachapado.

**Tabla 5.14** Resumen de carbonización en OSB.

**Tabla 5.15** Resumen de carbonización en machihembrado.

**Tabla 5.16** Resumen absorción en contrachapado.

**Tabla 5.17** Resumen absorción en OSB.

**Tabla 5.18** Resumen absorción en machihembrado.

**Tabla 5.19** Resumen hinchamiento en contrachapado.

**Tabla 5.20** Resumen hinchamiento en OSB.

**Tabla 5.21** Resumen hinchamiento en machihembrado.

**Tabla 5.22** Resumen de densidad día 1,2 y 3.

**Tabla A.2.1** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-2.

**Tabla A.2.2** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-3.

**Tabla A.2.3** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-4.

**Tabla A.2.4** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-5.

**Tabla A.2.5** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-2.

**Tabla A.2.6** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-3.

**Tabla A.2.7** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-4.

**Tabla A.2.8** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-5.

**Tabla A.2.9** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-2.

**Tabla A.2.10** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-3.

**Tabla A.2.11** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-4.

**Tabla A.2.12** Viscosidad mucílago de Nopal según spindle RV-2.

**Tabla A.3.1** Tiempo de secado (seco al tacto).

**Tabla A.3.2** Tiempo de secado (seco duro).

**Tabla A.3.3** Tiempo de secado (seco total).

**Tabla A.4.1** Espesor de película seca.

**Tabla A.5.1** Resistencia a la abrasión seca.

**Tabla A.6.1** Adherencia.

**Tabla A.7.1** Ensayo retardo al fuego en contrachapado.

**Tabla A.7.2** Ensayo retardo al fuego en OSB.

**Tabla A.7.3** Ensayo retardo al fuego en machihembrado.

**Tabla A.8.1** Absorción e hinchamiento en contrachapado.

**Tabla A.8.2** Absorción e hinchamiento en OSB.

**Tabla A.8.3** Absorción e hinchamiento en machihembrado.

## Resumen

En la antigüedad el mucílago de Nopal se utilizó como impermeabilizante en muros de adobe, también como fijador de pigmentos y como pintura, estos usos han sido de gran relevancia por sus buenos resultados pero, con la llegada de la industria existen un sin fin de materiales que se vienen utilizando en las últimas décadas para revestimiento y protección de exteriores, esto provocó que el mucílago de Nopal sea un material en desuso pero, hoy en día, nuevamente está tomando fuerza el buscar alternativas que tenga menos impacto ambiental y por supuesto que también sean materiales renovables contribuyendo a dejar atrás materiales tóxicos.

Estos antecedentes son la motivación de esta investigación, lo que se propone es modificar un barniz de poliestireno expandido incorporando mucílago de Nopal, la idea surge porque cada barniz por si solo tienen buenos resultados y se quiere probar si se potencian juntos, por esta razón es que se probó incorporando 10% y 30% de mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido, esta propuesta como barniz se evaluó mediante 8 ensayos de acuerdo a la norma chilena y, 2 ensayos no normalizados, aplicados sobre probetas de madera y metal. Los resultados fueron los esperados en su mayoría, concluyendo que la incorporación de mucílago de Nopal si aporta beneficios al barniz de poliestireno expandido.

Palabras-claves: mucílago de Nopal, Limoneno, mucílago de Nopal en la construcción, EPS reciclado.

**Abstract**

In the antiquity the mucilage of Nopal was used as waterproofing in adobe, also as fixative of pigments and painting walls, these applications have been of great importance for their good results but, with the arrival of the industry there are a myriad of materials that have been used in recent decades for lining and exterior protection, this caused that mucilage of Nopal is a material disused but, today, again taking strength alternatives that have less environmental impact and of course that also are renewable materials contributing to leave behind toxic materials.

This background are the motivation of this research, what is proposed is to modify a varnish of expanded polystyrene incorporating mucilage of Nopal, the idea arises because each varnish if only have good results and we want to test whether they promote together, for this reason it is that you try incorporating 10% and 30% mucilage of Nopal to the varnish of polystyrene expanded, this proposal as varnish was assessed using 8 trials according to the Chilean norm and, 2 trials non-standardized, applied to specimens of wood and metal. The results were expected in their majority, concluding that the incorporation of mucilage of Cactus if it brings benefits to the varnish of expanded polystyrene.

Keywords: mucilage of Nopal, limonene, mucilage of Nopal in construction, recycled EPS.

*Capítulo 1*  
*Antecedentes Generales*

## 1.1 Introducción

La presente investigación busca crear un barniz orgánico, donde la función principal es la protección de la madera cuando está expuesta a factores tales como humedad, rayos ultravioleta, agentes químicos, insectos etc. y también a factores propios de la madera como su humedad, la especie a la cual pertenece, la posición de sus fibras, entre otros; así es como los protectores para madera (barnices, pinturas, lacas, etc.) se ven influenciados por los factores antes mencionados en cuanto a su durabilidad y acabado, esto implica que la estructura de un protector para madera debe ser una composición efectiva para suplir estos fenómenos y perdurar en el tiempo.

El barniz orgánico propuesto en esta investigación consta en disolver poliestireno expandido en un solvente llamado Limoneno, mezcla denominada “barniz de poliestireno expandido” la cual actúa como un buen protector quedando un acabado plastificador en la madera, a este barniz se le incorporará mucílago de Nopal en dos dosificaciones, estas dosis se determinan mediante pequeñas pruebas en variados porcentajes de incorporación de mucílago para calcular las dosis a ensayar, de esto se resolvió usar solo dos dosificaciones para esta propuesta como barniz, esta idea surge en probar si se potencia el barniz al juntar dichas mezclas o no, ya que, por sí solas tienen buenos resultados. La mezcla se aplicará sobre probetas de madera y metal de 15 x 7,5 cm en donde se someterá a ensayos de pintura y probando así también cómo reacciona frente a envejecimiento artificial en una cámara que simulará en horas lo equivalente a meses (4, 8 y 12 meses); por otro lado, se analizará la adherencia y rendimiento mediante ensayos establecidos por la Norma Chilena para pinturas y barnices, ya que, es lo que se quiere mejorar al incorporar mucílago de Nopal.

Mediante el desarrollo de los ensayos y los valores que se obtendrán, es que se verificará cual es la combinación entre el mucílago de Nopal y barniz de poliestireno expandido para que cumpla con el objetivo de esta investigación y obtener resultados satisfactorios que ayuden a mejorar las propiedades de rendimiento y adherencia, ya que, el “barniz de poliestireno expandido” por sí solo no tubo buenos resultados en dichas propiedades.

## 1.2 Planteamiento del problema

La madera es el material más común para la construcción, elaboración de muebles y productos derivados en prácticamente todas las latitudes. Sin embargo, tiene una gran desventaja para su utilización: su durabilidad, puesto que es sabido que la madera se deteriora con el paso del tiempo (Encinas, 2004). Todas las medidas que se adoptan para garantizar una larga vida de la madera son tratamientos para la preservación de ésta. Aparte de las medidas estructurales de la madera, hay una serie de diferentes conservantes químicos y procesos, que pueden extender la vida de ésta y hacer que su uso sea más factible en la ingeniería de estructuras de madera (Barreiro & Hirsch, 2011).

Las ventajas de construir en madera (material ligero) radican en que tiene un menor costo que construir en hormigón u albañilería (material sólido) al ser una materia prima, también, la velocidad de ejecución es mayor a otros materiales. La industria que genera Chile, se concentra en tableros y molduras (Salazar, 2008).

Los tratamientos y protectores de la madera son una mezcla de productos químicos que constituyen una función específica que es proteger la madera contra los agentes bióticos y abióticos. Los protectores compuestos por materias activas, productos fijadores y solventes que tienen las propiedades insecticidas o fungidas se fijan en la madera, y se introducen en el interior de ésta a través del solvente que actúa como vehículo (Barreiro & Hirsch, 2011). Los insecticidas inorgánicos son productos de carácter tóxico en general, incluso para el hombre, por lo que sus efectos en el ambiente están muy limitados en su uso. Por su carácter fungicida se utilizan los productos basados en Arsénico, el Zinc, el Cobre, el Cadmio, y el Cromo (Vignote, 2014). Por otro lado el barniz es un protector de superficies, que consiste en un líquido que se aplica sobre una superficie sólida, secándose y formando una película transparente, con diversos grados de brillo, dureza, flexibilidad y protección, según sea su composición. Entre las propiedades más importantes tendríamos, la viscosidad, la densidad y la tensión superficial del barniz líquido (Calderón, 2009).

En los últimos años, se pretende encontrar nuevos materiales para la construcción, como es buscar protectores para madera que no contengan componentes dañinos para la salud, por esta razón es que se quiere evitar los materiales potencialmente peligrosos para las personas o el medio ambiente y que generan residuos tóxicos o contaminantes como pinturas y barnices (Hess, 2005).

En la búsqueda de nuevos productos no contaminantes para la protección de la madera, es que se propone usar poliestireno expandido para ayudar en un pequeño porcentaje en su reciclaje, también utilizar un solvente llamado Limoneno que es de carácter orgánico y el uso de mucílago de Nopal como una opción de impermeabilizante como material ecológico. Con esta propuesta se pretende solucionar que la incorporación de mucílago de Nopal mejorará la

adherencia y rendimiento, explorando una nueva alternativa ecológica y diferente a las que se usan habitualmente para la protección de la madera de exterior.

Un estudio experimental en el aprovechamiento del poliestireno expandido fue implementado en busca de nuevas aplicaciones que puedan otorgarle un valor agregado a este material. La utilización del poliestireno expandido como resina en base a Limoneno, aplicado en madera, mediante ensayos es que se considera factible debido a la buena afinidad y acabado logrado con dicha superficie (Canché et al, 2014).

Actualmente la industria de la construcción está realmente interesada en la búsqueda de nuevos materiales que ayuden a la optimización de procesos constructivos como es el uso de mucílago de Nopal donde ha reflejado buenos resultados al utilizarlo como aditivo en morteros (Hernández et al, 2008). También, el mucílago de Nopal ha sido aplicada en adobe mediante un tratamiento para la resistencia a la erosión para la restauración de patrimonios como la misión Nuestra Señora del Pilar ubicada en Sonora, México, dando buenos resultados (Martinez et al, 2008); el Nopal como un producto renovable y de fácil cultivo en lugares áridos, presenta un gran potencial en la industria de la construcción y de la restauración. Otro uso de este material fue la elaboración de pintura ecológica donde restauradores, arqueólogos y arquitectos la aplican de manera reciente el mucílago de Nopal como impermeabilizante de muros y techumbres en zonas arqueológicas y monumentos históricos, como en el convento de Natividad de María, Tepoztlán o en monumentos históricos del Centro Histórico de Villahermosa, Tabasco, ambos ubicados en México. La Secretaría del Medio Ambiente mexicana recomienda el mucílago de Nopal como impermeabilizante natural de muros y techumbres de monumentos históricos (Soria et al., 2015).

Si bien, el barniz de poliestireno expandido ha tenido buenos resultados como protector de superficies, es que se propone su uso en esta investigación como barniz patrón, al cual, se pretende mejorar dos aspectos: la adherencia y rendimiento ( $\text{lt/m}^2$ ) mediante la incorporación de mucílago de Nopal; este material baboso tiene buenas referencias como impermeabilizante y mantención de superficies, por esta razón es que se pretende adicionarlo al barniz de poliestireno expandido. El interés de esta investigación también recae en otros aspectos, como es el aportar en el reciclaje del poliestireno expandido, y otro aspecto es la elaboración de un producto orgánico que no sea tóxico como son los industriales que usamos hoy en día, esperando también que esta propuesta de protector de madera sea tan efectiva como los barnices y pinturas industriales. Este barniz orgánico (barniz de poliestireno expandido con la incorporación de mucílago de Nopal) será utilizada en superficies de madera que estén en el exterior de una vivienda o un recinto, como recubrimiento y a la vez como impermeabilizante, para saber si esta mezcla como propuesta es efectiva y cumpla con los resultados esperados es que se analizará por medio de ensayos donde se evaluará las propiedades de esta disolución como protector de madera, detallando su comportamiento frente a diversos ensayos como lo son el rendimiento, la estabilidad, espesor, resistencia, entre otros. El propósito principal para

cumplir con el objetivo de esta investigación es encontrar la cantidad de mucílago de Nopal y barniz de poliestireno expandido a mezclar para lograr la mayor eficacia en lo que pueda aportar esta mezcla, encontrando esta respuesta por medio de los ensayos y datos entregados.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Evaluar el barniz de poliestireno expandido frente a la incorporación de mucílago de Nopal en el comportamiento de la adherencia del recubrimiento con la superficie y su rendimiento.

#### 1.3.2 Objetivo Específico

Evaluar el comportamiento de adherencia y rendimiento del barniz de poliestireno expandido por la incorporación de mucílago de Nopal.

Evaluar características de este barniz orgánico.

### 1.4 Hipótesis

Adicionar mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido mejorará la adherencia y el rendimiento (lt/m<sup>2</sup>), además de brindar protección a la madera.

### 1.5 Alcances

Se utilizarán equipos presentes en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso para la realización de los ensayos.

Se considera la aplicación del barniz para maderas de exteriores de una vivienda o recinto.

Se considera esta investigación para agentes ambientales como rayos ultravioleta que afectan la película de barniz de exterior.

*Capítulo 2*  
*Marco Teórico*

## 2.1 La madera

Es un material heterogéneo debido a su estructura fibrosa y a la presencia de irregularidades en su estructura; la más evidente es la presencia de nudos que son consecuencia de la existencia de ramas en el árbol (Iñiguez, 2007). Se entiende por madera las partes de un árbol que económicamente pueden aprovecharse, siendo éstas por lo general los troncos y, en un mayor alcance, también las ramas y las raíces. La madera se puede utilizar de varias maneras: como lámina, como chapa fina y como macizo para obras de carpintería. Además, se beneficia de ella la química para la obtención sobre todo de celulosa, nitro celulosa, aceites y ácidos (Nutsch, 1996).

### 2.1.1 Propiedades de la madera

Durante miles de años, la madera se ha utilizado como combustible y como material de construcción, ya que se obtiene de árboles y arbustos que presentan una estructura fibrilar, por ello se utiliza para grandes áreas como la construcción (Castro, 2012). Sus propiedades son:

- ✓ **Anisotropía:** No se comporta igual en todas las direcciones de las fibras, es más fácil cepillar longitudinalmente (sentido de la fibra) que transversalmente (perpendicular a la fibra), y ocurre lo mismo al aserrar.
- ✓ **Resistencia:** Es uno de los materiales más idóneos para su trabajo a tracción, por su especial estructura direccional, su resistencia será máxima cuando la sollicitación sea paralela a la fibra y cuando sea perpendicular su resistencia disminuirá.
- ✓ **Flexibilidad:** La madera puede ser curvada o doblada por medio de calor, humedad o presión.
- ✓ **Dureza:** Está directamente relacionada con la densidad, a mayor densidad mayor fuerza.
- ✓ **Peso específico o densidad:** Depende de su contenido de agua, su valor oscila alrededor de 1550 kg/m<sup>3</sup>, varía muy poco de una madera a otra.
- ✓ **Conductividad térmica:** La madera seca contiene células diminutas de burbujas de aire, por lo que se comporta como aislante calorífico.

### 2.1.2 Ventajas como material en la construcción

Según Vassallo (2017) en el siglo XXI encuentra a la madera como el material del presente y futuro. La necesidad de utilizar elementos cada vez más sostenibles en obra y contribuir desde la arquitectura para utilizar menos recursos del medio ambiente, han posicionado a este tradicional e histórico material de construcción, en el podio de los elegidos por los profesionales. Es común escuchar hoy día términos como Bioconstrucción, Viviendas Bioclimáticas o Casas Pasivas: aquí todos los caminos parecen conducir a la madera, el material elegido por la gran mayoría de los constructores involucrados con estas temáticas. Es un material renovable, reutilizable, recuperable y reciclable, procedente de fuentes de suministro sostenible, atractivo y técnicamente avanzado. Algunas ventajas funcionales y ambientales de la madera en obra son:

- ✓ Debido a su estructura celular la madera es un excelente aislante térmico evitando cambios bruscos de temperatura, reduciendo así las necesidades de calentar o enfriar el ambiente.
- ✓ Mantiene un equilibrio higroscópico con el medio, debido a su estructura porosa.
- ✓ Buen aislante acústico, debido a su composición en lignina y celulosa absorbe una parte importante de la energía de las ondas que recibe, con la consiguiente reducción de la contaminación acústica y fenómenos como por ejemplo, la reverberación.
- ✓ El uso de la madera está ligado a la eficiencia energética.
- ✓ Los productos de madera son muy competentes respecto a niveles de pérdida de energía, principalmente calorífica, ya que la madera resulta el material aislante por naturaleza, cuya estructura interna porosa y llena de aire supone el mejor aislante térmico y acústico.
- ✓ Al ahorro energético que supone el uso de la madera, hay que añadir el ahorro que supone el reciclado de todos sus componentes una vez acabado su ciclo de vida útil.
- ✓ Breve tiempo de montaje.
- ✓ Estabilidad estructural.
- ✓ Recurso histórico más natural y estético.

### 2.1.3 Productos que protegen a la madera

Según (CORMA, 2013) existen diversos productos industriales para proteger a la madera en el exterior, donde éstos deben ser capaces de resistir a los agentes que deterioran dicho material, como la humedad, la radiación, los hongos o insectos. Cada vez encontramos más productos en el mercado que prolongan la durabilidad y estética, entre ellos hay:

**2.1.3.1 Barniz sintético:** Material que más se utiliza para el cuidado de la madera por su facilidad de aplicación y su adecuada protección. Los distintos fabricantes formulan variedades de barnices con distintas características, como filtros UV, resisten a la humedad.

**2.1.3.2 Lasures:** Protector especial para madera, el cuál, posee menos cantidad de partículas sólidas que un barniz, por lo que penetra profundamente en la fibra; permite que la madera respire y su acabado puede ser satinado y brillante.

**2.1.3.3 Lacas:** Antiguamente este producto se componía por resinas como la goma laca y se caracterizaba por su secado rápido porque el solvente que contenía se evaporaba y su acabado al tacto era suave. Hoy en día, existen lacas al agua y pueden aplicarse con brocha.

**2.1.3.4 Esmalte sintético:** Pintura que otorga color a la madera y cubre sus vetas originales. Es elaborado a base de resinas disueltas en solvente de origen mineral, siendo de gran resistencia y protegen a la madera eficientemente, pero tiene olores muy fuertes por la evaporación del solvente y componentes tóxicos que emana.

**2.1.3.5 Aceite de lino:** El uso de aceites naturales es una de las formas más antiguas de proteger la madera. Este aceite se usa para tratar madera rústicas que se encuentran a la intemperie penetrando la fibra protegiéndola de la humedad e insectos.

### 2.1.4 Fibra de madera prensada

Se fabrica por medio de la combinación de fibras delgadas de madera con resinas. La mezcla se compacta en una prensa caliente y el producto final presenta una textura lisa y uniforme. La fibra de madera prensada se puede cortar, cepillar y moldear con facilidad, y la superficie acepta tintes, pinturas o barnices (Barreiro & Hirsch, 2011).

Las normas que rigen la madera en esta investigación son:

- ✓ NCh 1974 Of.1986 Determinación del retardo al fuego.
- ✓ NCh 0793 Of 1973 Determinación de la absorción de agua e hinchamiento.

2.1.4.1 **OSB:** Material formado por virutas grandes, su materia prima son trozos de la más diversa calidad, diámetro y especies, lo que constituye una gran fortaleza para la estructura de costos y flexibilidad en eventuales escenarios de menor disponibilidad de madera. Éstos tableros de OSB son ampliamente utilizados en techumbres, muros, pisos, cierres perimetrales, pallets, entre otros, tanto en construcciones habitacionales como comerciales de hasta 4 pisos. Las notables características de este material lo han hecho además el más escogido en ampliaciones y remodelaciones de viviendas (Mellado, 2010).

2.1.4.2 **Contrachapado:** Son trozos de pino radiata de diámetro normalmente sobre 24cms, promedio 30 a 31cms. Características: poca curvatura y defectos de forma. Alta proporción de los trozos que compran las plantas proviene de bosques podados para las caras. Estos trozos provienen de la parte más baja del fuste (altura que existe entre el suelo y las ramas de las copas del árbol). Durante el debobinado y otras etapas del proceso, la chapa excedente es astillada y vendida como astillas a la industria de la celulosa, fábricas de papel o fábricas de tableros (partículas, MDF u otros). Se pueden utilizar como revestimientos chapas de madera decorativa, plásticos, papel impregnado en resinas sintéticas, pintura, tintes, chapas metálicas, etc. (Mellado, 2010).

2.1.4.3 **Machihembrada:** Pieza de madera cuyos bordes poseen unas ranuras o lengüetas para formar una unión de ambas piezas. El machihembrado para techo es uno de los productos de madera más utilizados en construcción. Se han utilizado muchas especies maderables para este fin, cedro, pino, caoba, samán, entre otras. La demanda continúa exigiendo madera machihembrada y frecuentemente aparecen en el mercado especies maderables poco conocidas provenientes del bosque natural. La utilización de madera machihembrada en techos de viviendas y otras edificaciones se ha incrementado notablemente en los últimos años. La mayoría de estos revestimientos requieren pinturas o barnices protectores de agentes bióticos y abióticos (Molina, 2007).

Por otra parte, para esta investigación, se utilizará probetas metálicas de zincaluminio de espesor 0,35mm para los ensayos de espesor de película seca, resistencia a la abrasión y adherencia, esto está exigido por las normas que rigen estos ensayos, estos son:

- ✓ NCh 1007 Of.1989 Pinturas – Determinación del espesor de película seca.
- ✓ NCh 1008 Of 1989 Pinturas – Determinación de la Resistencia a la abrasión.
- ✓ NCh 2220 Of 1992 Pinturas y barnices – Adherencia.

## 2.2 El poliestireno expandido (EPS)

Entre los materiales presentes en diversos campos de la industria, como el área alimentaria y la construcción, se encuentra el poliestireno (PS), este residuo es conocido desde 1930, es una de las más antiguas resinas termoplásticas de síntesis, el cual, es un derivado del benceno que proviene de la destilación de la hulla o del petróleo. A partir de este, se creó el poliestireno expandido (EPS) que nació en Alemania en 1951; materia expansible que se presenta bajo la forma de gránulos esferoidales (Rougeron, 1977). El poliestireno expandido es un material que se usa comúnmente en el sector de envase y en la construcción; una de sus propiedades características es la higiene de este residuo, ya que, es inmune al ataque de microorganismos por lo que no se pudre ni descompone, lo convierte en un material idóneo para el envase de productos frescos (Quezada, 2010).

El poliestireno expandido o EPS es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas. Este residuo se define técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir del modelo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire (Anape, 2004). Este material tiene cualidades como:

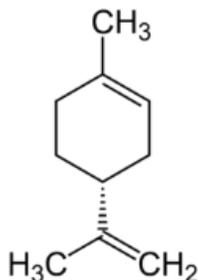
- ✓ Aislamiento térmico
- ✓ Ligereza
- ✓ Resistencia mecánica
- ✓ Resistencia a la humedad
- ✓ Higiénico
- ✓ 100% reutilizable

### 2.2.1 El Limoneno

Otro material a utilizar en esta investigación es el Limoneno, el cuál, es un compuesto líquido, biodegradable y es una sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos (naranjas y limones) y que da el olor característico a los mismos. Pertenece al grupo de los terpenos, en concreto a los limonoides, el cual, no afecta al medio ambiente al momento de ser usado (Cazares & Santana, 2014). En los últimos años el Limoneno ha tomado una singular importancia por su demanda como solvente biodegradable, aparte de ser un solvente industrial que tiene aplicaciones como componente aromático, puesto que es un derivado de los cítricos, también es que se utiliza en la industria farmacéutica y

alimentaria, es un solvente de resinas, pigmentos, tintas, sirve para la fabricación de adhesivos, etc.(Fernández, 2012).

El Limoneno en menor proporción poseen una gran cantidad de terpenos  $C_{10}H_{16}$  aceite principal en cáscaras de naranjas, limones y toronjas (Ahmad, 2006).



**Figura 2.2** Molécula de limoneno.

**Fuente:** Ahmad (2006).

### 2.2.2 Barniz de poliestireno expandido

Esta solución de propiedades orgánicas es una mezcla en que se utiliza el poliestireno expandido y se disuelve en un solvente natural llamado Limoneno; a esto se le denomina barniz de poliestireno expandido y es una alternativa ecológica que trata de estar por sobre el uso de barnices con solventes sintéticos y componentes tóxicos donde son utilizados en acabados de superficies de madera y su protección. Por otra parte, se ha identificado las ventajas y desventajas del solvente Limoneno en comparación a otros solventes que afectan al poliestireno expandido y este da mejores resultados. Sin embargo, este barniz de poliestireno expandido tiene propiedades de impermeabilización pero su adherencia a la superficie de madera no es tan efectiva según los resultados arrojados por los ensayos realizados lo que en esta investigación se pretende mejorar esta propiedad (Cárcamo, 2013).

La dosificación usada en el barniz de poliestireno expandido que arrojó mejores resultados según los ensayos es de 500 gramos para 1 litro de solvente Limoneno. Este barniz es aplicable a tableros de madera y con la dosificación antes mencionada se ha podido comprobar que presenta un comportamiento mayor a la resistencia a la abrasión con respecto al barniz marino industrial (Cárcamo, 2013).



**Figura 2.1** EPS disolviéndose en solvente.

**Fuente:** Cárcamo (2013).

### 2.2.3 Reciclaje del poliestireno expandido (EPS)

El EPS es reciclable y reutilizable al 100% para formar bloques del mismo material y para fabricar materias primas para otra clase de productos. El principal método para reciclar el EPS se ha usado desde hace décadas y consiste en despedazar mecánicamente el material para posteriormente mezclarlo con material nuevo y así formar bloques de EPS que pueden contener hasta un 50% de material reciclado. Existen actualmente otras tecnologías para reciclaje como la densificación mecánica que consiste en aplicar energía mecánica y térmica a los espumados para convertirlos en partículas compactas que pueden transportarse más fácilmente. Los residuos de EPS que están contaminados también pueden ser valorizados energéticamente (Anape, 2004). Se puede reciclar como:

- ✓ El EPS triturado se usa como una adición para conseguir hormigón ligero y revestimientos aislantes.
- ✓ Mediante un proceso de extrusión los residuos de EPS se funden y se convierten en grana de poliestireno donde esta se usa para la fabricación de nuevos productos como suelas de zapatos y similares.
- ✓ Durante la síntesis (proceso de reciclado químico) el poliestireno se separa en sus componentes petroquímicos básicos, los cuales podrán usarse para fabricar nuevos plásticos o para otras aplicaciones.

### 2.2.4 Aplicaciones del barniz de poliestireno expandido

Un estudio realizado en la Universidad de Cartagena por (Benítez & Vélez, 2013) en busca de un anticorrosivo más ecológico, este estudio se basó en el uso de poliestireno expandido disuelto en solvente Limoneno en conjunto con otros componentes. Un recubrimiento anticorrosivo se utiliza para proteger de la corrosión a las superficies metálicas, generalmente son recubrimientos orgánicos, los cuales se mezclan con otras sustancias o compuestos, tales como los diferentes aditivos y/o pigmentos utilizados en la industria de las pinturas, para mejorar sus propiedades anticorrosivas. Este proyecto de investigación comprobó que el recubrimiento anticorrosivo obtenido a partir de poliestireno expandido y Limoneno, es una alternativa para controlar la corrosión y conservar el medio ambiente de elementos tóxicos. Para determinar las cantidades exactas de cada componente del recubrimiento anticorrosivo desarrollado, realizaron la revisión de diversos artículos de investigación basados en la preparación y análisis de recubrimientos en donde se muestran las cantidades de cada componente, obteniéndose la mezcla óptima que al finalizar el ensayo en una cámara de niebla salina (se usa para acelerar el proceso de corrosión y causar una falla temprana de la pintura), la probeta n°10 (figura 2.3) a la que se aplicó este anticorrosivo más ecológico, presentó una buena apariencia física y un porcentaje bajo de

superficie corroída a diferencia de la probeta n°17 (figura 2.4) que está recubierta por un anticorrosivo comercial (Benítez & Vélez, 2013).



**Figura 2.3** Probeta n°10.

**Fuente:** Contreras & Díaz (2013).



**Figura 2.4** Probeta n°17.

**Fuente:** Contreras & Díaz (2013).

Factor	Nombre Del Factor	Niveles
A	Cantidad de Poliestireno Expandido Reciclado	24 g
		19.2 g
B	Cantidad de Limoneno	53.3 ml
		47.6 ml
C	Cantidad de Dióxido De Titanio	13.7 g
		2.3 g
D	Cantidad de Oxido De Zinc	13.7 g
		2.3 g

Base de Cálculo (g)		80	Densidad del Limoneno (g/mL)		0.84
Nivel 1			Nivel 2		
Factor	Porcentaje	Cantidad	Factor	Porcentaje	Cantidad
A	24%	19.2g	A	30%	24g
B	56%	53.3mL	B	50%	47.6mL
C+D	20%	16g	C+D	20%	16g
C	17.1%	13.7g	C	2.9%	2.3g
D	2.9%	2.3g	D	17.1%	13.7g

**Tabla 2.1** Composición porcentual de los niveles.

**Fuente:** Contreras & Díaz (2013).

### 2.3 Nopal o penca tuna

El Nopal es una planta perteneciente a la familia de las cactáceas (cactus), la cual constituye un alimento de alto consumo en México. Esta planta carnosa con espinas, cuyo fruto es la tuna, contiene en su composición fibra dietética, goma, pectina, calcio, mucílago, vitaminas, beta-caroteno y proteínas. Uno de sus mayores atractivos es su anatomía y morfología adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, por lo que son una alternativa de cultivo para regiones donde difícilmente crecen otras especies. En el sector de la construcción la parte de esta planta que se utiliza con mayor frecuencia son los ligantes de los cladodios o pencas (Sáenz & Berger, 2006).

En Chile existe la especie *Opuntia Ficus Indica* la cual, es utilizada en esta investigación, la descripción de esta es:

- ✓ **Especie:** *Opuntia ficus-indica*.
- ✓ **Familia:** Cactácea, identificación casi segura. Certeza 99 %.
- ✓ **Orden:** Caryophyllales.
- ✓ **Nombre chileno:** Tuna.
- ✓ **Hábitat según la elevación:** Elevación baja, valles del interior.
- ✓ **Cordillera de la costa:** 500 - 2000 m.
- ✓ **Costa:** 0 - 500 m.
- ✓ **Condiciones de agua:** Áreas de secano, donde el período seco sin precipitaciones dura 6 - 10 meses. Las precipitaciones alcanzan 100 - 300 mm anuales, concentrándose en invierno.
- ✓ **Condiciones de luz:** Expuesto. Pleno sol sin ninguna protección. Partes planas o laderas de exposición norte.
- ✓ **Esta especie tiene la siguiente resistencia al frío:** Planta no resiste nieve, pero resiste heladas ocasionales no prolongadas hasta aprox. -5° C.

#### 2.3.1 Mucílago de Nopal

Los usos tradicionales que tiene el Nopal y sus derivados, además del valor agregado que tiene como alimento en forma directa y para la medicina, se suma su aplicación en rubros como la construcción por las propiedades aglutinantes y que ha sido usado en adobes, pinturas, anticorrosivos, morteros, entre otros. En México hay una larga historia del uso del mucílago de Nopal en combinación con cal: aumenta sus propiedades adhesivas y mejora su repelencia al agua. Tradicionalmente, se ha empleado de modo similar al yeso en paredes de adobe y de ladrillo; y también como una barrera al agua en el estuco. A partir del jugo de Nopal, se puede fabricar pintura que actúa como impermeabilizante, el cual puede ser aplicado a cualquier construcción para protegerla. En caso de aplicarse a una

vivienda, este impermeabilizante hecho a base de Nopal, protege la construcción de los cambios de temperaturas, la humedad, el agua y los insectos (Cárdenas et al, 2002).

### 2.3.2 Pintura hecha con mucílago de Nopal

El mucílago de Nopal, nombre coloquial de los cactus de hojas planas espinosas, tiene un lugar importante en México, puede también observarse en el escudo nacional y la bandera. Es un vegetal originario de México, su cultivo se realiza en tierras de poca calidad y con escasez de agua. El mucílago del Nopal, puede obtenerse por métodos diferentes: sin acción de temperatura, remojándolo en agua a temperatura ambiente e hirviéndolo, el mucílago ha sido empleado con éxito en morteros y estucos de cal, en estabilización de arcillas, en recubrimientos y otras aplicaciones. El mortero en base a cal, donde a este se le adiciona mucílago de Nopal se ha utilizado también para restaurar y proteger edificios históricos debido a su funcionamiento mejorado contra la penetración del agua y agrietamientos. El uso del cemento en la restauración de edificios históricos tiene efectos perjudiciales porque es demasiado duro e incompatible con el adobe. Por tanto, los morteros para el uso en edificios históricos o los monumentos se derivan de la masilla de la cal y revestimiento de sal que incorporan generalmente materiales puzolánicos. Estos morteros tienen una alta resistencia mecánica, una protección impermeable creciente, y características antihongos, el mucílago del Nopal se agrega como adherente orgánico para que evite que el mortero se seque demasiado rápido, y ayude a retener la humedad que la mezcla necesita para fijarse correctamente (Cárdenas et al., 2002). En los últimos años se está estudiando la acción anticorrosiva del mucílago, y también se continúan con la utilidad que prestan las pencas como adherentes de pinturas y clarificantes de agua.

### 2.4 Índice radiación ultravioleta, UV

El sol es sin duda es el peor enemigo de la madera situada en exteriores y, en general, de la madera en construcción, ya que la mayoría de los trabajos realizados con este material como ventanas, pérgolas, puertas de entrada, mobiliario urbano, etc., están expuestos a su acción directa de las radiaciones emitidas por el sol. La radiación ultravioleta que llega a la Tierra depende de varios elementos:

- ✓ Hora del día y la época del año: Altura del Sol y duración del día.
- ✓ Latitud: Más intensa entre Ecuador y trópicos.
- ✓ Altura: A más altura mayor incremento.
- ✓ Espesor de la capa de ozono: A mayor concentración de O<sub>3</sub> menor radiación UV-B.
- ✓ Clima: En un día nublado se recibe en general menos radiación que en un día soleado.
- ✓ Contaminación atmosférica: Mayor contaminación, menor radiación.

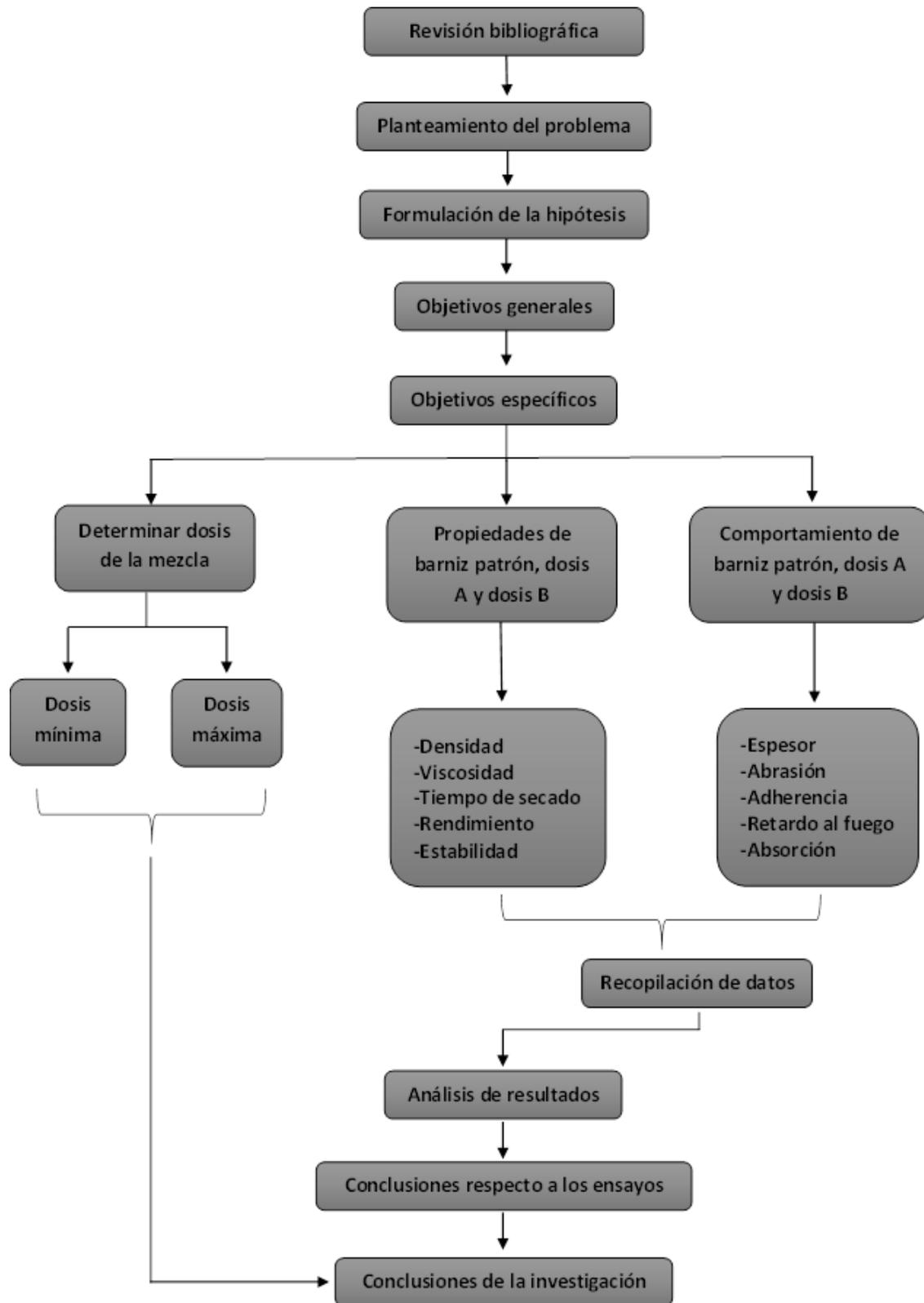
- ✓ Horizonte: A más amplios horizontes corresponde mayor radiación.
- ✓ Albedo: Capacidad reflectiva de la superficie.

La radiación ultravioleta quema las células de la superficie de la madera, pero sin calentar la misma. El efecto que produce es un agrietamiento y descamado de la madera, esto es más acentuado en las maderas rojas como la teca, el iroko, elondo, etc. La radiación ultravioleta es reflejada en los tonos marrones y oscuros del espectro, propiedad que se utiliza para proteger la madera mediante la aplicación de una pigmentación superficial (Guatibonza, 2011).

La radiación solar constituye un factor de riesgo a considerar en la duración de la madera expuesta al exterior, especialmente en sus aspectos decorativos. La velocidad de degradación oscila los 0,5 mm/año. La radiación Ultravioleta (UV) es superficial, degradando las resinas de los productos de acabado y produciendo modificaciones químicas en la lignina, atacando la madera más blanda de la albura y produciendo el desfibramiento superficial con la consiguiente aparición de crestas y que se traducen en un agrisamiento superficial de la madera. La protección consiste en aplicar un pigmento (generalmente un óxido mineral) que refleja dicha radiación.

*Capítulo 3*  
*Metodología de la Investigación*

## 3.1 Diagrama de flujo de investigación



**Figura 3.1** Diagrama de metodología de la investigación.

## 3.2 Variables

### 3.1.1 Independiente

Se considera 3 variables; la incorporación de mucílago de Nopal en dos porcentajes, otra variable es el tipo de material (OSB, contrachapado, madera machihembrado y metal) y el tiempo de envejecimiento el cual se considera para 4, 8 y 12 meses.

### 3.1.2 Dependiente

Se considera al barniz de poliestireno expandido. Se realizará la investigación con la dosificación de 500gr/lit de dicho barniz, donde las variables dependientes serán los ensayos de espesor de película seca, resistencia a la abrasión, adherencia, retardo al fuego y absorción.

## 3.3 Determinación de dosis de mucílago de Nopal al barniz de EPS

Se considera dos tipos de dosificaciones de mucílago de Nopal en porcentaje respecto a la mezcla, esto para evitar tener datos muy irregulares. La base será el barniz de EPS por esta razón es que se considera la incorporación de mucílago de Nopal en 10% y 30%.

## 3.4 Factorial de ensayos

Para obtener la cantidad necesarias de probetas de madera y de metal, se analiza los ensayos que amerita esta investigación, se considera probetas de madera para los ensayos de rendimiento, tiempo de secado, absorción y retardo al fuego (los dos primeros ensayos se puede reutilizar las probetas para los dos últimos ensayos). El uso de probetas metálicas se utilizará para los ensayos de adherencia, resistencia a la abrasión y espesor de película seca. Las dimensiones de las probetas metálicas y madera están definidas por la Norma Chilena para su correcta ejecución. Cada ensayo se realizará mediante la combinación de cada tipo de material (metal, machihembrado, contrachapado y OSB), por los 4 tipos de envejecimiento artificial (0, 4, 8 y 12 meses) y los tipos de barniz (patrón, dosis A y dosis B), arrojando la cantidad de probetas totales que se necesitarán para estos ensayos de envejecimiento.

La modalidad de factorial de ensayo se presenta en las siguientes tablas:

MATERIAL	x1	x3
Contrachapado	24	72
OSB	24	72
Madera natural	24	72
Metal	36	108
TOTAL	108	324
Probetas	15 x 7,5 cm	

Se realizan 4 tablas con cada material a ensayar, obteniendo el total de probetas.

TIPO DE BARNIZ	MATERIAL
1: Patrón	1: Metal
2: Dosis A	2: Contrachapado
3: Dosis B	3: OSB
	4: Madera natural

TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	
h:m:s = 0:00:00	1: 0 meses
h:m:s = 2:00:11	2: 4 meses
h:m:s = 3:12:32	3: 8 meses
h:m:s = 3:52:16	4: 12 meses

En esta investigación se ensayará 3 tipos de barniz, el patrón y el propuesto en dos dosis, donde cada ensayo tiene asignada una letra y cada barniz, material y tipo de envejecimiento tienen número, para poder realizar el factorial combinando todos estos factores y aplicaciones que se efectuarán a dichos barnices. Se realizará envejecimiento artificial el equivalente a tiempo real a 0, 4, 8 y 12 meses, esto definido mediante la radiación que emiten los tubos en una cámara de envejecimiento.

ENSAYOS	
En madera	X: Absorción/hinchamiento Y: Retardo al fuego
En metal	Z: Espesor de película seca J: Resistencia a la abrasión K: Adherencia

Se realizará 5 tipos de ensayos (X, Y, Z, J y K) donde estos se mezclarán con los 4 tipos de envejecimiento y los 3 tipos de barniz, obteniendo la totalidad de probetas necesarias para esta investigación.

La combinación se denotara de la siguiente manera:

Ensayo<sub>(material, barniz, envejecimiento)</sub>

M A T E R I A L			Metal		
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL/TIPO BARNIZ			Patrón	Dosis A	Dosis B
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	0:00:00	0 meses	Z <sub>111</sub> , J <sub>111</sub> , K <sub>111</sub>	Z <sub>121</sub> , J <sub>121</sub> , K <sub>121</sub>	Z <sub>131</sub> , J <sub>131</sub> , K <sub>131</sub>
	2:00:11	4 meses	Z <sub>112</sub> , J <sub>112</sub> , K <sub>112</sub>	Z <sub>122</sub> , J <sub>122</sub> , K <sub>122</sub>	Z <sub>132</sub> , J <sub>132</sub> , K <sub>132</sub>
	3:12:32	8 meses	Z <sub>113</sub> , J <sub>113</sub> , K <sub>113</sub>	Z <sub>123</sub> , J <sub>123</sub> , K <sub>123</sub>	Z <sub>133</sub> , J <sub>133</sub> , K <sub>133</sub>
	3:52:16	12 meses	Z <sub>114</sub> , J <sub>114</sub> , K <sub>114</sub>	Z <sub>124</sub> , J <sub>124</sub> , K <sub>124</sub>	Z <sub>134</sub> , J <sub>134</sub> , K <sub>134</sub>
N° de ensayos			12	12	12

M A T E R I A L			Contrachapado		
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL/TIPO BARNIZ			Patrón	Dosis A	Dosis B
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	0:00:00	0 meses	X <sub>211</sub> , Y <sub>211</sub>	X <sub>221</sub> , Y <sub>221</sub>	X <sub>231</sub> , Y <sub>231</sub>
	2:00:11	4 meses	X <sub>212</sub> , Y <sub>212</sub>	X <sub>222</sub> , Y <sub>222</sub>	X <sub>232</sub> , Y <sub>232</sub>
	3:12:32	8 meses	X <sub>213</sub> , Y <sub>213</sub>	X <sub>223</sub> , Y <sub>223</sub>	X <sub>233</sub> , Y <sub>233</sub>
	3:52:16	12 meses	X <sub>214</sub> , Y <sub>214</sub>	X <sub>224</sub> , Y <sub>224</sub>	X <sub>234</sub> , Y <sub>234</sub>
N° de ensayos			8	8	8

M A T E R I A L			OSB		
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL/TIPO BARNIZ			Patrón	Dosis A	Dosis B
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	0:00:00	0 meses	X <sub>311</sub> , Y <sub>311</sub>	X <sub>321</sub> , Y <sub>321</sub>	X <sub>331</sub> , Y <sub>331</sub>
	2:00:11	4 meses	X <sub>312</sub> , Y <sub>312</sub>	X <sub>322</sub> , Y <sub>322</sub>	X <sub>332</sub> , Y <sub>332</sub>
	3:12:32	8 meses	X <sub>313</sub> , Y <sub>313</sub>	X <sub>323</sub> , Y <sub>323</sub>	X <sub>333</sub> , Y <sub>333</sub>
	3:52:16	12 meses	X <sub>314</sub> , Y <sub>314</sub>	X <sub>324</sub> , Y <sub>324</sub>	X <sub>334</sub> , Y <sub>334</sub>
N° de ensayos			8	8	8

M A T E R I A L			Machihembrado		
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL/TIPO BARNIZ			Patrón	Dosis A	Dosis B
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	0:00:00	0 meses	X <sub>411</sub> , Y <sub>411</sub>	X <sub>421</sub> , Y <sub>421</sub>	X <sub>431</sub> , Y <sub>431</sub>
	2:00:11	4 meses	X <sub>412</sub> , Y <sub>412</sub>	X <sub>422</sub> , Y <sub>422</sub>	X <sub>432</sub> , Y <sub>432</sub>
	3:12:32	8 meses	X <sub>413</sub> , Y <sub>413</sub>	X <sub>423</sub> , Y <sub>423</sub>	X <sub>433</sub> , Y <sub>433</sub>
	3:52:16	12 meses	X <sub>414</sub> , Y <sub>414</sub>	X <sub>424</sub> , Y <sub>424</sub>	X <sub>434</sub> , Y <sub>434</sub>
N° de ensayos			8	8	8

**Tabla 3.1** Factorial de ensayos.

### 3.5 Extracción de mucílago de Nopal

Este procedimiento se llevó a cabo con los siguientes pasos:

- ✓ Se elige unas pencas jóvenes y gruesas para obtener una extracción de mucílago abundante.
- ✓ Se lavan y se raspan para extraer las espinas y así tener un trabajo sin daños a quien haga el procedimiento.
- ✓ Se pesan las pencas, ya que, será la masa de Nopal la que estará sometida a extracción de mucílago.
- ✓ Se debe picar las pencas y se depositan en un balde o recipiente limpio.
- ✓ Se mide la cantidad de agua en litros que se verterá al recipiente con las pencas picadas (este debe cubrir las pencas).
- ✓ Una vez mezclada las pencas picadas con el agua, se deja de 7 a 15 días en reposo en el recipiente, revolviéndolo cada 2 días la mezcla hasta que se obtenga un líquido más denso (baboso).

Para la extracción realizada se obtuvieron los siguientes datos:

- ✓ Peso de 4 pencas limpias: 6,970 kg
- ✓ Cantidad de agua: 6 lt
- ✓ Tiempo del proceso (limpiar y picar la penca): 1 hora aproximadamente.



**Figura 3.2** Se pesan.



**Figura 3.3** Se pica en trozos.



**Figura 3.4** Se vierte agua.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 3.6 Envejecimiento acelerado

El envejecimiento acelerado mediante rayos ultravioleta es un buen método para evaluar la propagación de grietas de debobinado y el agrietamiento superficial en muestras de tableros contrachapados, cuando son sometidos a condiciones emulando la intemperie (Acevedo et al, 2013).

Por otra parte, Altamirano (2009) consideró una forma de envejecer artificialmente mediante el uso de tubos de rayos UV-A de la Facultad de Química de la Universidad de Valparaíso, donde estos tubos emiten 3 mW/cm<sup>2</sup> en un segundo y las probetas se sitúan a 7cm de los tubos, con esto se calculó los tiempos necesarios de exposición considerando los datos determinados por la Universidad Técnico Federico Santa María sobre la radiación ultravioleta tipo A mensual captados en la ciudad de Concón.

<b>RADIACIÓN ULTRAVIOLETA TIPO A EN LA CIUDAD DE CONCÓN mW/cm<sup>2</sup></b>					
<b>MES/AÑOS</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<b>Enero</b>	7043	6711	6659	6665	6699
<b>Febrero</b>	5268	4977	4282	4234	4627
<b>Marzo</b>	3782	4090	4463	5150	3877
<b>Abril</b>	2582	3199	3033	2704	2988
<b>Mayo</b>	1851	1842	1881	1395	2001
<b>Junio</b>	1308	1634	1312	1451	1445
<b>Julio</b>	1993	1856	1672	1625	1855
<b>Agosto</b>	2520	2630	2243	2192	2851
<b>Septiembre</b>	3504	3771	3915	3743	3543
<b>Octubre</b>	5226	5388	5104	5269	5436
<b>Noviembre</b>	5986	5466	6085	5987	6240
<b>Diciembre</b>	3264	7098	6205	7355	6412

**Tabla 3.2** Radiación Ultravioleta tipo A en la ciudad de Concón.

**Fuente:** Altamirano (2009).

Las relaciones aproximadas que se obtuvieron según la radiación máxima acumulada en distintos períodos de meses móviles son:

- ✓ 3,5 horas equivale a la radiación de 6 meses.
- ✓ 4,5 horas equivale a la radiación de 12 meses.
- ✓ 7,5 horas equivale a la radiación de 18 meses.
- ✓ 8,0 horas equivale a la radiación de 24 meses.

Esta forma de envejecimiento acelerado es la que se utilizará en esta investigación y así simular periodos largos necesarios.

### 3.7 Determinación del tiempo de envejecimiento

El barniz propuesto en esta investigación, se evaluará para 1 año en exposición UV-A para verificar como es el comportamiento y las características que tendrá. Para determinar el tiempo de envejecimiento acelerado equivalente al envejecimiento natural, se utilizó como base los siguientes períodos de meses móviles en la ciudad de Concón:

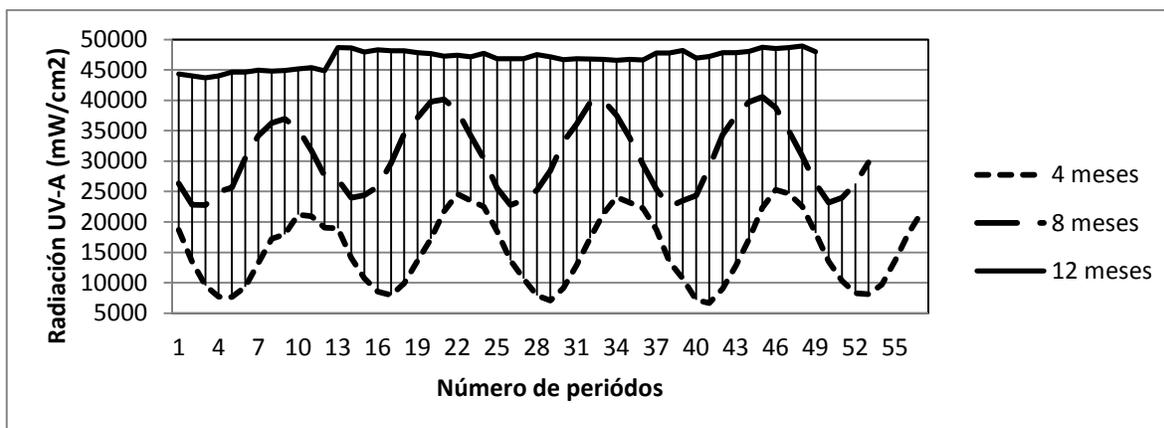
Período	$\Sigma$ 4 Meses (mW/cm <sup>2</sup> )	Período	$\Sigma$ 8 Meses (mW/cm <sup>2</sup> )	Período	$\Sigma$ 12 Meses (mW/cm <sup>2</sup> )
1	18675	1	26347	1	44327
2	13483	2	22808	2	43995
3	9523	3	22766	3	43704
4	7734	4	24970	4	44012
5	7672	5	25652	5	44629
6	9325	6	30512	6	44620
7	13243	7	34181	7	44946
8	17236	8	36278	8	44809
9	17980	9	36957	9	44919
10	21187	10	35295	10	45186
11	20938	11	31703	11	45348
12	19042	12	27573	12	44828
13	18977	13	26939	13	48662
14	14108	14	23999	14	48610
15	10765	15	24410	15	47915
16	8531	16	25786	16	48288
17	7962	17	29685	17	48122
18	9891	18	34502	18	48161
19	13645	19	37150	19	47839
20	17255	20	39757	20	47655
21	21723	21	40160	21	47268
22	24611	22	38270	22	47412
23	23505	23	34194	23	47128
24	22502	24	30400	24	47747
25	18437	25	25545	25	46854
26	13659	26	22801	26	46860
27	10689	27	23623	27	46812
28	7898	28	25245	28	47499
29	7108	29	28417	29	47170
30	9142	30	33201	30	46684

31	12934	31	36123	31	46823
32	17347	32	39601	32	46776
33	21309	33	40062	33	46725
34	24059	34	37542	34	46553
35	23189	35	33889	35	46718
36	22254	36	29429	36	46620
37	18753	37	25416	37	47770
38	13483	38	22494	38	47804
39	10700	39	23529	39	48197
40	7175	40	24366	40	46924
41	6663	41	29017	41	47208
42	9011	42	34321	42	47814
43	12829	43	37497	43	47808
44	17191	44	39749	44	48038
45	22354	45	40545	45	48697
46	25310	46	38803	46	48497
47	24668	47	34979	47	48664
48	22558	48	30847	48	48917
49	18191	49	26343	49	47974
50	13493	50	23187	<b>Máximo</b>	<b>48917</b>
51	10311	51	23996		
52	8289	52	26359		
53	8152	53	29783		
54	9694	<b>Máximo</b>	<b>40545</b>		
55	13685				
56	18070				
57	21631				
<b>Máximo</b>	<b>25310</b>				

**Tabla 3.3** Radiación ultravioleta UV-A acumulada en períodos de meses móviles en Concón.

**Fuente:** Información entregada por Altamirano (2009).

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de la radiación acumulada en los períodos de meses móviles de la ciudad de Concón establecidos en la tabla 3.2.



**Figura 3.5** Comportamiento de la radiación acumulada en 4, 8 y 12 meses móviles.

**Fuente:** Información entregada por Altamirano (2009).

Los tubos UV-A que se utilizarán en esta investigación para el envejecimiento acelerado, emiten 3,51 mW/cm<sup>2</sup> en 1 segundo a 5cm de las muestras, con este dato se calcula los tiempos de exposición para lo estipulado en este estudio, que son 4, 8 y 12 meses.

✓ 4 meses

Máximo acumulado en 4 meses: 25310 mW/cm<sup>2</sup>

Segundos de exposición:  $25310[\text{mW}/\text{cm}^2] / 3,51[\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}] = 7210,83[\text{seg}]$

Horas de exposición:  $7210,83[\text{seg}] / 3600[\text{seg}/\text{hr}] = 2,0030[\text{hr}] = 2:00:11[\text{hr}:\text{min}:\text{seg}]$

✓ 8 meses

Máximo acumulado en 4 meses: 40545 mW/cm<sup>2</sup>

Segundos de exposición:  $40545[\text{mW}/\text{cm}^2] / 3,51[\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}] = 11551,28[\text{seg}]$

Horas de exposición:  $11551,28[\text{seg}] / 3600[\text{seg}/\text{hr}] = 3,2087[\text{hr}] = 3:12:31[\text{hr}:\text{min}:\text{seg}]$

✓ 12 meses

Máximo acumulado en 4 meses: 48917 mW/cm<sup>2</sup>

Segundos de exposición:  $48917[\text{mW}/\text{cm}^2] / 3,51[\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}] = 13936,48[\text{seg}]$

Horas de exposición:  $13936,48[\text{seg}] / 3600[\text{seg}/\text{hr}] = 3,8712[\text{hr}] = 3:52:16[\text{hr}:\text{min}:\text{seg}]$

Equivalencia en meses	Máximo acumulado (mW/cm <sup>2</sup> )	Tiempo de radiación tubos UV/A (hr-min)
4	25310	2:00:11
8	40545	3:12:32
12	48917	3:52:16

**Tabla 3.4** Equivalencia entre el envejecimiento acelerado y natural.

**Fuente:** Información entregada por Cárcamo (2013).

### 3.8 Ensayos

#### 3.8.1 Propiedades del barniz propuesto

##### 3.8.1.1 Determinación de la densidad

Conforme a la NCh 1001 Of.89 – Determinación de la densidad.

a) Resumen del método:

El método se basa en calibrar el volumen de un recipiente con agua destilada a 25°C, o a una temperatura previamente convenida, y pesar el contenido de pintura líquida o barniz contenido en el recipiente a la misma temperatura de calibración. La densidad en gramos por mililitro a la temperatura especificada.

b) Materiales utilizados:

- Picnómetro, de cualquier tipo, con una capacidad de 20 a 100 ml.
- Termómetro, graduado con una sensibilidad de 0,1°C.
- Balanza con sensibilidad de 0,1°gr.

c) Procedimiento:

Se determina el volumen del recipiente:

- Se limpia y se seca el recipiente y se saca su masa constante, registrando la masa M en gramos.
- Se llena el recipiente con agua destilada y se mide su temperatura.
- Se tapa el recipiente retirando el exceso de agua con papel absorbente y evitando que queden burbujas de aire ocluidas dentro del recipiente.
- Se pesa el recipiente lleno y se registra la masa N en gramos.
- Se calcula el volumen del recipiente mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{N - M}{\rho}$$

En donde:

V: volumen del recipiente en ml.

N: masa del recipiente y el agua en gr.

M: masa del recipiente seco en gr.

$\rho$ : densidad absoluta del agua a la temperatura de ensayo en gr/ml.

Se determina la densidad de la muestra:

- Se repiten los pasos anteriores sustituyendo el agua destilada por la muestra, registrando la masa del recipiente lleno ( $m_1$ ) y del recipiente vacío ( $m$ ) en gramos.
- Se calcula la densidad de la muestra en gr/ml mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m_1 - m}{V}$$

En donde:

D: densidad de la muestra en gr/ml.

$m_1$ : masa del recipiente lleno en gr.

$m$ : masa del recipiente vacío en gr.

V: volumen del recipiente calculado previamente.

La diferencia entre los resultados obtenidos por el mismo operador en diferentes días, no debe ser superior a 0,6% del valor relativo.

### 3.8.1.2 Determinación de la viscosidad

Ensayo se realizará según el instructivo del viscosímetro análogo Brookfield RVT.

a) Resumen del método:

Se mide la viscosidad mediante un viscosímetro rotatorio, según sea el torque medido y la conversión a centipoise correspondiente al spin utilizado.

b) Materiales utilizados:

- Viscosímetro análogo Brookfield RVT.
- Vasos de precipitado de 600 ml.
- Baño termostático.

c) Procedimiento:

- Se vierte la solución en un vaso precipitado de 600 ml.
- Se coloca el vaso en un baño termostático a 25°C durante 1 hora para estabilizar la temperatura del fluido.
- Se selecciona el spin que se desee utilizar, se atornilla girando en sentido contrario a las manecillas del reloj y se sumerge en la solución. El spin debe quedar sumergido hasta mediados de la muesca del eje para que sea válida la suposición de que los efectos de borde son despreciables. Con los spin en forma de disco se debe cuidar que no queden burbujas de aire atrapadas en la superficie de los mismos.

- Se verifica la temperatura de la solución después de transcurrir 1 hora.
- Se verifica mediante la burbuja de nivel que el equipo esté nivelado y que el spin esté centrado en el vaso.
- Se enciende el motor y se selecciona una velocidad angular.
- Se deja funcionar libremente hasta que la lectura se estabilice (el tiempo requerido para la estabilización dependerá de la velocidad a la que opera el viscosímetro y de las características de la muestra). Una vez estabilizada la aguja, se baja una palanca llamada “Clutch” de manera que suba el Dial, se lee el valor obtenido y se registra.
- Para obtener el valor de la viscosidad se debe multiplicar el valor leído, % de torque, por un factor F, que depende del tamaño y forma del spin t de la velocidad angular.
- Se debe tratar de obtener una lectura entre 10 y 100 (cuanto más cercana a 100 será menor el error de la medida, ya que, la precisión es de  $\pm 1\%$  del valor a plena escala para cada combinación velocidad/rotor, que coincide con el valor F expresado en Cp. Como este error es absoluto, el error relativo será menor si la lectura es cercana a 100).
- Si la lectura sobrepasa el valor de 100, se selecciona una velocidad menor o un rotor más chico, y se procede de modo inverso si la lectura es muy pequeña.
- Cuando se realizan medidas con un mismo rotor a distintas velocidades, es aconsejable cambiar de velocidad con el rotor encendido.
- Cálculo:

*Conversión % torque experimental a Cp = Lectura equipo x F*



**Figura 3.6** Viscosímetro análogo Brookfield RVT.

**Fuente:** Brookfield.

### 3.8.1.3 Determinación del tiempo de secado

Conforme a la NCh 2143 Of.89 Pinturas – Determinación del tiempo de secado.

a) Resumen del método:

El método se basa en aplicar una película seca del producto a ensayar sobre una lámina o soporte rígido y determinar el tiempo que transcurre hasta alcanzar los siguientes estados de secamiento de la película que se evaluarán:

- ✓ Seco al tacto
- ✓ Seco duro
- ✓ Seco total

b) Equipos y materiales:

- Micrómetro.
- Aplicador de película húmeda.
- Láminas de ensayo metálicas. Se ensayan de forma paralela probetas de madera, aunque no se exigen en esta norma.
- Trozo de vidrio.

c) Condiciones generales para el ensayo:

- El ensayo debe ser realizado en un recinto bien ventilado, libre de corrientes directas de aire, polvo o gases.
- Se efectúan todas las mediciones a una temperatura y humedad relativa estables, manteniendo la lámina recubierta en posición horizontal mientras se seca.
- Todos los ensayos deben efectuarse dentro de un área en la cual ningún punto esté a menos de 15mm del borde de la película.
- La aplicación y secado no debe hacerse exponiendo las muestras a la luz directa al sol.
- Se recomienda que los intervalos de ensayo se fijen en períodos de aproximadamente un 10% del tiempo total de ensayo.

d) Procedimiento:

- Se aplica la muestra sobre láminas limpias, las cuales al ser recubiertas deben ser protegidas de la acumulación excesiva de polvo durante su secado.
- **Seco al tacto:** Se toca suavemente la película de la muestra con la punta de un dedo limpio e inmediatamente se coloca ésta sobre un trozo de vidrio claro y limpio, observando si existe transferencia del material al vidrio. La presión ejercida por la punta del dedo sobre la película no debe ser mayor a la requerida para transferir una gota de recubrimiento de 3 a 5mm de sección transversal. Se considera que la película está seca al tacto, cuando aún muestra una condición pegajosa, pero ninguna parte de ella se adhiere al dedo.

- **Seco duro:** Se toma la lámina con los dedos pulgar e índice de manera de que el pulgar toque la película. Se aplica una máxima presión con el dedo pulgar sin ejercer torsión y se pule ligeramente el área de contacto con un paño suave. Se considera que la película está seca dura cuando cualquier merca dejada por el pulgar es eliminada completamente con el pulido.
- **Seco total:** Se coloca la lámina de ensayo en posición horizontal a una altura tal que cuando el pulgar del operador se coloque sobre la película, su brazo quede en posición vertical desde la muñeca hasta el hombro. Se presiona la película con el dedo pulgar ejerciendo una presión máxima del brazo girando al mismo tiempo el dedo en un ángulo de 90° sobre el plano de la película. Se considera que la película está seca total cuando no se produce desprendimiento, arrugas o cualquier otra evidencia de deterioro en la misma. Se registra el espesor de las probetas ensayadas.

#### 3.8.1.4 Determinación del rendimiento

Ensayo no normalizado.

a) Resumen del ensayo:

El objetivo del ensayo es evaluar cuanta superficie es capaz de cubrir 50ml del barniz propuesto en un sustrato determinado, calculando así el rendimiento en lt/m<sup>2</sup>.

b) Materiales:

- Brochas de 1”.
- Recipiente graduado con 50 ml.
- Huincha de medir.
- Contrachapado.
- OSB.
- Madera natural (machihembrado).

c) Procedimiento:

- Se utiliza un volumen de muestra fijo para todas las aplicaciones requeridas.
- Se aplica con brocha el volumen conocido de muestra en el sustrato de madera.
- Se mide el área que alcanzó a cubrir el volumen de la muestra.
- Se calcula el cociente entre el área recubierta y el volumen utilizado, obteniendo el rendimiento de la muestra.

### 3.8.1.5 Determinación de la estabilidad

Ensayo no normalizado.

En envases abiertos y parcialmente llenos, no deben formarse pieles al cabo de 48 horas, observando si existe separación física entre el barniz de poliestireno expandido y el mucílago de Nopal, al momento de realizar la mezcla y al aplicarlo a una superficie (Cárcamo, 2013).

### 3.8.2 Evaluación del barniz envejecido

#### 3.8.2.1 Determinación del espesor de película seca

Conforme a la NCh 1007 Of.89 Pinturas – Determinación del espesor de película seca.

a) Resumen del método:

El método se basa en la medición del espesor de la película seca de revestimientos mediante un micrómetro.

b) Equipos y materiales:

- Micrómetro mecánico.
- Regla.
- Probetas metálicas.

c) Procedimiento:

- Lavar y quitar aceites e impurezas presentes en la superficie.
- Se mide previamente el espesor de la probeta metálica sin recubrimiento.
- Una vez aplicado el recubrimiento y transcurrido el tiempo de secado se marca sobre el reverso de la probeta, el cual está sin recubrimiento, los puntos que serán medidos con el micrómetro, cuidando que queden a no menos de 2,5cm del borde de la misma.
- El mínimo recomendable son tres determinaciones por cada lámina de 75x150mm. En esta investigación se realizan seis mediciones por probeta.
- Se mide el espesor de la película seca en cada uno de los puntos marcados previamente.
- Se calcula el promedio aritmético de los puntos medidos.

### 3.8.2.2 Determinación de la resistencia a la abrasión seca

Conforme a la NCh 1008 Of.89 Pinturas – Determinación de la resistencia a la abrasión seca- método de la caída de arena.

a) Resumen del método:

El método se basa en determinar la resistencia a la abrasión seca mediante la medición de la cantidad de material abrasivo (arena) necesario para desgastar una unidad de espesor de película del recubrimiento, al dejar caer la arena desde una altura especificada a través de un tubo guía.

b) Equipos y materiales:

- Medidor de la abrasión.
- Recipiente para la arena.
- Soporte para la muestra en 45°.
- Arena de Ottawa o similar.
- Micrómetro.
- Probetas metálicas.

c) Procedimiento:

- Lavar y quitar aceites e impurezas presentes en la superficie.
- Medir el espesor de la película seca de las probetas con recubrimiento y se registra E en  $\mu\text{m}$ .
- La arena estándar se considera cuando se tamiza 100gr por 5 minutos se retienen como máximo 15gr en el tamiz de 850 $\mu\text{m}$  y pasan como máximo 5gr por el tamiz de 600 $\mu\text{m}$ .
- Se alinea el aparato hasta que el flujo de corriente de arena sea de 90° observado de dos puntos de vista. La velocidad del flujo debe ser 2lt de arena en 21 a 23,5seg.
- Se introduce la arena hasta que la superficie se desgaste hasta la base en una zona de 4mm de diámetro.
- Se reemplaza la arena después de 50 pasadas por el tubo o cambio de muestra.
- Se calcula la resistencia a la abrasión mediante la siguiente fórmula:

$$RA = \frac{V}{E}$$

En donde:

RA: resistencia a la abrasión en  $\text{lt}/\mu\text{m}$ , del área desgastada.

V: volumen de la arena usada, en lt.

E: espesor de la película, en  $\mu\text{m}$ .

### 3.8.2.3 Determinación de la adherencia

Conforme a la NCh 2220 Of.92 Pinturas y barnices - Adherencia – Ensayo de corte transversal.

a) Resumen método:

Esta norma establece un procedimiento para evaluar la resistencia de un revestimiento de pintura, barniz o productos similares a separarse.

- ✓ De un sustrato, cuando se corta un diseño de enrejado en un revestimiento de una caja.
- ✓ De una capa respecto de otra o con respecto al sustrato, cuando se corta un diseño de enrejado en un revestimiento de capas múltiples.

b) Equipos y materiales:

- Herramienta de corte sencilla, con filo de 30°.
- Cinta de enmascarar para hacer las guías de los cortes.
- Escobilla suave.
- Regla metálica.
- Micrómetro.
- Probetas de hojalata de espesor mayor a 0,25mm.

c) Procedimiento:

- Lavar y quitar aceites e impurezas presentes en la superficie.
- Antes de que se aplique la película del revestimiento se mide el espesor de la probeta metálica a utilizar.
- Una vez que se aplica el revestimiento y transcurre el tiempo de secado, se efectúan tres mediciones de espesor de la película seca antes del ensayo con una precisión de  $\pm 5\mu\text{m}$ , en tres posiciones distintas de cada probeta.
- Registrar cada uno de los valores, a lo menos tres valores en cada posición a ensayar y obtener el promedio de estos valores en cada posición a ensayar.
- El número de cortes que se efectúa en cada dirección del enrejado, debe ser 6 u 11. En esta investigación se realizan 6 cortes teniendo la ventaja de una operación más rápida.
- La distancia entre los cortes depende del espesor de película seca medido previamente, debiendo ser:

✓ 1mm, cuando el espesor es de  $60\mu\text{m}$  o menos. El barniz propuesto dosis mínima y el barniz de poliestireno expandido se ensayan con cortes cada 1mm debido al espesor que presentan, siendo éstos menos a  $60\mu\text{m}$ .

✓ 2mm, cuando el espesor es mayor que 60 $\mu$ m, pero menor o igual a 125 $\mu$ m. El barniz propuesto dosis máxima se ensaya con cortes cada 2mm, ya que, su espesor es mayor que 60 $\mu$ m y menor que 125 $\mu$ m.

- Se fija la probeta por sus bordes con cinta de enmascarar sobre una superficie horizontal y se marcan las guías para realizar los cortes.
- La herramienta de corte utilizada se apoya en la probeta con el revestimiento a 90° $\pm$  5° respecto del plano de la superficie que se ensaya, y se ejerce una fuerza uniforme y constante.
- Después de los cortes se escobilla suave en sentido diagonal al enrejado en movimiento alternativo hacia adelante y hacia atrás, por cinco veces en cada sentido del movimiento.
- Se examina la superficie cortada del revestimiento ensayado usando visión normal y clasificando el resultado de acuerdo a la tabla de clasificación de la norma NCh 2220.

#### 3.8.2.4 Determinación del retardo al fuego

Conforme a la NCh 1974 Of.86 Prevención de incendio en edificios - Pinturas – Determinación del retardo al fuego.

##### a) Resumen del método:

Las probetas se colocan inclinadas a 45° en una cámara segura para someterlas a una llama normalizada originada por 5ml de alcohol luego, la pérdida de masa y el índice de carbonización de cada probeta ensayada.

##### b) Equipos y materiales:

- Soporte metálico para apoyar las probetas con una inclinación de 45°.
- Balanza, con una precisión de 0,1gr.
- Cámara de ensayo, construida con láminas de acero.
- Pipeta, calibrada en ml.
- Recipiente metálico para el combustible de capacidad total 6ml y de forma cilíndrica.
- Combustible, alcohol etílico absoluto (etanol) o una mezcla que tenga el mismo calor de combustión, como la mezcla compuesta por 71,4% de isopropanol y 28,6% de metanol, la cual se utiliza en esta investigación.
- Probetas de madera machihembrada, contrachapado y OSB como sustratos a ensayar, de manera de conocer el comportamiento del barniz propuesto en estos materiales.

c) Procedimiento:

Preparación de las probetas:

- Se acondicionan las probetas durante 14 días antes de barnizarlas, en una atmósfera controlada con humedad relativa de  $50\% \pm 5\%$  y temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Después del acondicionamiento las probetas se pesan y se registra su masa  $m_1$  en gr.
- Se aplica el revestimiento con brocha procurando obtener un recubrimiento lo más uniforme posible. También, se recubren los cantos de las probetas. Cuando se aplique más de una capa de recubrimiento, entre una capa y la siguiente dejar secar según el tiempo de secado del recubrimiento utilizado. Se acondicionan durante 14 días bajo las condiciones de humedad y temperatura antes mencionadas.
- Una vez acondicionadas las probetas con recubrimiento se pesan y se registra su masa  $m_2$  en gr.
- Se calcula el recubrimiento aplicado según la siguiente fórmula:

$$m = m_2 - m_1$$

En donde:

$m$ : masa del recubrimiento seco, en gr.

$m_1$ : masa de la probeta antes de barnizar, en gr.

$m_2$ : masa de la probeta barnizada, en gr.

Realización del ensayo:

- ✓ Se monta el soporte metálico con el recipiente para el combustible en la cámara de ensayo. En esta investigación el recipiente metálico se encuentra fijado al soporte.
- ✓ Se colocan las probetas en el soporte metálico, inclinadas  $45^{\circ}$ .
- ✓ Se agrega al recipiente 5,0ml de etanol o la mezcla de combustible antes mencionada y se enciende con una llama de una longitud aproximada de 13mm.
- ✓ Se cierra la puerta de la cámara de ensayo y se deja que el ensayo prosiga hasta que la llama se extinga por sí misma.

Determinación de la pérdida de masa:

- ✓ Se deja enfriar cada probeta hasta la temperatura ambiente y se pesan registrando la masa posterior a la combustión en gr.
- ✓ Se determina la pérdida de masa, en gr, de cada una de las probetas restándole de su masa inicial con recubrimiento, la masa resultante después de la combustión.

- ✓ Se determina el índice de carbonización multiplicando los valores numéricos que corresponden a los máximos de la longitud, la anchura y la profundidad de carbonización.

### 3.8.2.5 Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento

Conforme a la NCh 793 Of.73 Madera–Planchas y tableros lignocelulósicos– Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento después de la inmersión de agua.

#### a) Resumen del método:

Se determina la absorción de agua como incremento a la masa y el hinchamiento como incremento del espesor de las probetas, después de una inmersión completa en agua en condiciones especificadas de tiempo y temperatura.

#### b) Equipos y materiales:

- Pie de metro con sensibilidad de 0,05mm.
- Balanza con sensibilidad de 0,1gr.
- Recipiente controlado termostáticamente a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- Hojas de celulosa absorbente o papel toalla.
- Placa cuadrada, con una masa aproximada de 3 kg.
- Medidor de Ph.
- Agua destilada (tiene el pH requerido de  $6 \pm 1$ ).

#### c) Procedimiento:

- Las probetas mantienen una atmosfera con humedad relativa de  $65 \pm 5\%$  y con una temperatura  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta la obtención de masa constante.
- Se pesa cada probeta con una precisión de  $\pm 0,1\text{gr}$  y se registra ml.
- Se mide el espesor de cada probeta en cuatro puntos diferentes a 2,5cm del borde de la probeta.
- Se determina el espesor de la probeta calculando el promedio aritmético de las cuatro medidas, aproximando a 0,01mm y se registra el.
- Se sumergen las probetas verticalmente en agua limpia y en reposo, de  $\text{pH} = 6 \pm 1$  y temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , al comienzo de cada nuevo ensayo. Se colocan las probetas separadas entre sí, del fondo y de los costados del recipiente a lo menos 15mm. Se comprueba que los bordes superiores de las probetas queden cubiertos por 20mm de agua.
- Se retiran las probetas del agua y se colocan separadas horizontalmente entre las hojas de celulosa absorbente o de papel toalla en pilas de un máximo de cinco, para quitar el exceso de agua.

- Se carga cada pila con una placa cuadrada de 3 kg aproximadamente.
- Se mantiene la placa en esta posición por 30seg, luego se quita la placa y las hojas absorbentes.
- Se pesa cada probeta dentro de los 10 minutos siguientes y se registra m2.
- Se miden sus espesores y se registra e2.
- Se calcula el porcentaje de agua absorbida por cada probeta de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{100 * (m2 - m1)}{m1}$$

En donde:

A: absorción de agua de la probeta, expresada en %.

m1: masa de la probeta antes de la inmersión, en gr.

m2: masa de la probeta después de la inmersión, en gr.

\*Se determina la absorción de agua aproximando a 0,1%.

- Se calcula el hinchamiento del espesor de cada probeta de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{100 * (e2 - e1)}{e1}$$

En donde:

H: hinchamiento de la probeta, expresado en % del espesor.

e1: espesor de la probeta antes de la inmersión, en mm.

e2: espesor de la probeta después de la inmersión, en mm.

\*Se determina el hinchamiento aproximando a 0,1%.

*Capítulo 4*  
*Trabajo Experimental*

#### 4.1 Elaboración de muestras del barniz propuesto

Se comenzará por realizar en cantidades pequeñas la elaboración del barniz patrón (500gr de poliestireno expandido para 1lt de Limoneno), lo que significa que se usará 15ml de Limoneno para 7,5gr de poliestireno expandido equivalente al barniz patrón, luego se incorporará el mucílago de Nopal en porcentajes y así determinar cuál es la mejor mezcla y como queda el acabado en madera natural como prueba.

##### 4.1.1 Poliestireno expandido

Para la elaboración del barniz propuesto en esta investigación se utilizó poliestireno expandido desechado de cajas de embalaje usada en laboratorio de un centro médico, donde éstas tienen forma cuadrada y son de espesor de 1cm aproximadamente, siendo ideal para el uso en esta investigación.



**Figura 4.1** poliestireno expandido a utilizar.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

##### 4.1.2 Limoneno

Se utilizó Limoneno en cantidades de 15 ml para realizar pruebas y determinar la dosis proporcional, se ensayó en frascos de 50ml de capacidad.



**Figura 4.2** Limoneno medido en ml.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.1.3 Incorporación de EPS al Limoneno

Una vez incorporado los 15ml de Limoneno al frasco de prueba, se procede a incorporar los 7,5gr de EPS en trocitos picados a medida que este solvente lo va desintegrando, transformándose en una sola mezcla homogénea. Esta mezcla se medirá en gramos, ya que, se cuenta con una pesa gramera para definir las proporciones de forma más exacta.



**Figura 4.3** Peso del EPS en gr para disolverlos en Limoneno.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.1.4 Incorporación de mucílago de Nopal

El mucílago se extrae del frasco que lo contiene y se mide en gramos en un tubo de ensayo, eliminando por supuesto el peso del tubo, luego se procede a agregar al frasco de 50ml donde se realiza la mezcla de mucílago con el barniz de poliestireno expandido.



**Figura 4.4** Frasco con mucílago.



**Figura 4.5** Placa de Petri con mucílago.



**Figura 4.6** Tubo de ensayo con mucílago (gr)

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.1.5 Dosis de mucílago de Nopal

Para verificar si era conveniente incorporar mucílago de Nopal en cantidades pequeñas o grandes al barniz patrón de poliestireno expandido, es que se realizó cuatro pruebas (medidas en gramos), estas consistieron en:

- 10% de mucílago de Nopal y 90% de barniz de poliestireno expandido.
- 20% de mucílago de Nopal y 80% de barniz de poliestireno expandido.
- 50% de mucílago de Nopal y 50% de barniz de poliestireno expandido.
- 70% de mucílago de Nopal y 30% de barniz de poliestireno expandido.

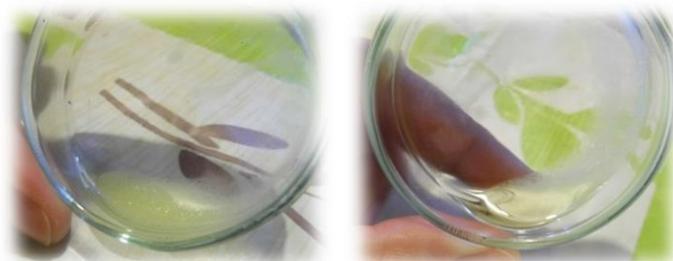
Las dosis de a) y b) se probaron en madera natural de pino, quedando un lindo acabado pero lo que se estaba aplicando en esta superficie en realidad era solo barniz de poliestireno expandido y nada de mucílago de Nopal, ya que, al hacer las mezclas c) y d) es que se verificó que el mucílago con el barniz de poliestireno expandido no se mezclaban y si los frascos se agitaban tampoco había compatibilidad, eran como “agua y aceite”, viéndose a simple vista que el barniz de poliestireno expandido queda arriba y el mucílago de Nopal queda abajo, sin homogeneidad.



**Figura 4.7** Porcentajes de mezclas de mucílago y EPS.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Luego para verificar que componente era el que se comportaba como “aceite” y cual era “agua” es que se optó por verificar en una Placa de Petri juntar el solvente Limoneno y mucílago de Nopal por si solas; se pudo analizar que el Limoneno era como aceite al revolverlo con el mucílago de Nopal, ya que, quedaban glóbulos dispersos de solvente Limoneno, siendo el mucílago de Nopal la fase continua.



**Figura 4.8** Placa de Petri con Limoneno y mucílago revuelto.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.1.6 Surfactantes

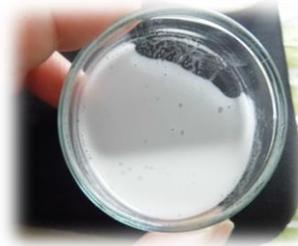
Para poder solucionar el problema de la separación de fases del barniz propuesto se hizo un arduo estudio en la web y consultas a profesionales del área química, por qué ocurría la separación de fases entre los componentes del barniz propuesto para esta investigación y se consultó que podría solucionar este inconveniente, es así como se encontró que el uso de los surfactantes ayuda a la unión de estos, ya que, son agentes químicos que cuando se disuelven en agua se concentran en interfaces como agua-aceite y ahí ejercen funciones como emulsificar. Este fenómeno se da cuando se quiere unir moléculas que son apolares con otras que son polares, acción que no va a ocurrir por la tensión superficial que ejercen entre ellas, pero el surfactante rompe dichas tensiones y las hace homogéneas permaneciendo en el tiempo. Los surfactantes probados en esta investigación son: yema de huevo, jabón de bebe neutro de glicerina, Tween 80 y Spam 20 (ver anexo 1).



**Figura 4.9** Placa de Petri con Barniz propuesto y una gota de yema de huevo.



**Figura 4.10** Unión de fases por medio de la yema de huevo.



**Figura 4.11** Unión de fases por medio de jabón neutro de bebe.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Al usar la yema de huevo en las dosis de mucílago con el barniz de EPS provocó que se unieran en unos segundos mientras se revolvía, pero al aplicarlo a la madera y dejar secar, el acabado no tuvo buen resultado, esta mezcla se tornó blanca y quebradiza. Luego, con el surfactante Tween 80 y Spam 20 no hubo unión de fases (entre el mucílago de Nopal y el barniz de poliestireno expandido), ya que, estos surfactantes son de solución aceitosa, no sirven. Sin embargo, al aplicar una gota de jabón de bebe neutro de glicerina en la Placa de Petri donde se ensaya la solución, se observó que hubo unión de las fases del barniz propuesto al igual con lo ocurrido con la yema de huevo, pero al aplicarlo en la madera y dejarlo secar tuvo un buen acabado en forma de una película transparente y un brillo suave, esto ocurre porque el jabón trae en su segundo ingrediente un compuesto que es el surfactante llamado Lauril Sulfato de Sodio (LSS), éste une las fases y forma una mezcla homogénea entre el barniz de poliestireno expandido y el mucílago de Nopal, esto es

porque el surfactante LSS es a base de agua, por lo tanto compatibiliza con dicha mezcla y une las fases.

Barniz propuesto	Yema de huevo	Jabón neutro	Tween 80	Spam 20
3ml de Barniz patrón 1 ml de Mucílago de Nopal	0,5ml	0,4ml	0,6ml	0,5ml
Resultado como solución	✓	✓	X	X
Resultado en acabo en la madera	X	✓	X	X

**Tabla 4.1** Resumen de pruebas hechas con surfactantes.

**Fuente:** Archivo de elaboración propia.

Como conclusión es que se hará la unión de las fases mediante el jabón neutro de bebé que contiene el surfactante Lauril Sulfato de Sodio (LSS) entre otros componentes, ya que, con este producto el acabado en la superficie de la madera al aplicar el barniz propuesto en esta investigación, se obtienen buenos resultados, muy similar a la aplicación y acabado del barniz de poliestireno expandido por sí solo.

## 4.2 Elaboración de probetas de madera y metal

### 4.2.1 Probetas de machihembrado

Esta madera es de pino machihembrada, la cual se vende en tiras de 320x9cm y un espesor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, a este material se le corta los bordes para obtener un ancho de 7,5cm y cada tira se corta cada 15cm, obteniendo probetas de 15x7,5cm.



**Figura 4.12** Machihembrado de 15x7,5cm a utilizar.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.2.2 Probetas de OSB

Las planchas de OSB se venden en planchas de 122x224cm las cuales se cortan en tiras de 15cm y luego se corta cada tira cada 15cm obteniéndose probetas cuadradas de 15x15cm, estas probetas se cortan a la mitad para obtener las probetas especificadas por norma de 15x7,5cm.



**Figura 4.13** Tira de OSB cortada cada 7,5cm.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.2.3 Probetas de contrachapado

Se adquiere una plancha de 122x244cm la cual se hará el mismo procedimiento que el OSB cortando tiras de 15cm y luego cortando cada tira a 15cm, obteniendo cuadrados de 15x15cm, luego se procede a cortar cada uno de ellos a la mitad para obtener probetas exigidas por la norma de 15x7,5cm.



**Figura 4.14** Probetas de contrachapado de 15x7,5cm.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.2.4 Probetas de metal

La plancha de zincalum plana tiene medidas de 250x100cm y tiene un espesor de 0,35mm, esta plancha se corta en tiras de 15cms y luego cada tira se corta cada 7,5cm obteniendo probetas de 15x7,5cm exigida por la norma.



**Figura 4.15** Zincalum en láminas cortadas en probetas de 15x7,5cm.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 4.3 Ejecución de ensayos: Propiedades barniz propuesto

#### 4.3.1 Determinación de la densidad

El instrumento a utilizar para este ensayo es un picnómetro donde el contenido es de 24,112 gr. El volumen va de acuerdo a la temperatura del agua destilada que tenga al momento de hacer el ensayo. Este ensayo se realizará en 3 días distintos donde los resultados obtenidos no deben superar el 0,6% del promedio calculado.



**Figura 4.16** Picnómetro y balanza analítica.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.3.2 Determinación de la viscosidad

Para la realización de este ensayo se utilizará un viscosímetro mecánico llamado Brookfield RVT el cual puede medir altas viscosidades. El funcionamiento de este viscosímetro se basa en el principio de la viscosimetría rotacional; mide la viscosidad captando el par de torsión (resistencia viscosa) necesario para hacer girar a velocidad constante con un husillo inmerso en la muestra de fluido a estudiar.



**Figura 4.17** Viscosímetro utilizado para la realización del ensayo.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.3.3 Determinación del tiempo de secado

Este ensayo se determina mediante el estado de la película aplicada a una superficie sólida, donde se evalúan tres estados: seco al tacto, seco duro y seco total. Para realizar este ensayo se utilizarán 3 probetas metálicas establecidas por la norma y, 3 probetas de madera natural, donde se usará machihembrado, esto para complementar los resultados del barniz propuesto en esta investigación.



**Figura 4.18** Probeta metálica y de madera machihembrado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.3.4 Determinación del rendimiento

Este ensayo consta en utilizar 50 ml de barniz (patrón, dosis A y dosis B) y aplicarlo en una superficie sólida, donde se utilizarán tres tipos de madera, las cuales son: contrachapado, OSB y machihembrado. La aplicación del barniz se hará mediante una brocha de 1", luego se debe medir el área que alcanza a cubrir 50 ml de barniz y determinar así el rendimiento.



**Figura 4.19** Probetas de madera para analizar el rendimiento.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.3.5 Determinación de la estabilidad

Se debe analizar el barniz patrón, la dosis A y dosis B (barnices propuestos) durante 48 horas donde estos recipientes deben permanecer abiertos. Se debe medir la humedad relativa y temperatura en el ambiente. Analizar características físicas que presentan.



**Figura 4.20** Recipientes con las muestras a analizar.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.4 Ejecución de ensayos: Evaluación del barniz envejecido

##### 4.4.1 Envejecimiento con radiación UV-A

Para poder envejecer las probetas, primero se debe medir la irradiación de la cámara en donde se encuentran los tubos UV-A, esto mediante un instrumento llamado Radiómetro que entrega valores en  $\text{mW}/\text{cm}^2$  una vez que se estabilice la radiación de los tubos. Determinado el tiempo de estabilización se puede envejecer las probetas en la cámara, estas deben ir de forma vertical quedando a  $90^\circ$  respecto a la radiación de los tubos y a 5cm de estos.



**Figura 4.21** Radiómetro en  $\text{mW}/\text{cm}^2$  y cámara de envejecimiento.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

##### 4.4.2 Determinación del espesor de película seca

Las probetas a ensayar una vez aplicada la película de barniz patrón y barniz propuesto, se debe medir el espesor de la película, esto mediante un instrumento llamado Micrómetro, el cual tiene una sensibilidad de 0,01mm. Para realizar las mediciones se deben elegir 6 puntos en la superficie de la probeta a 2,5cm del borde.



**Figura 4.22** Pie de metro con sensibilidad de 0,01mm.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.4.3 Determinación de la resistencia a la abrasión seca

Este ensayo se hace mediante el uso de arena tamizada, la cual se debe hacer caer hacia la probeta a ensayar mediante un tubo que debe estar a 2,5cm de la probeta. Por lo establecido en la norma NCh 1008 of 89, la cantidad de arena a caer deben ser 2 litros durante un lapso de tiempo de 21 a 23,5 segundos.



**Figura 4.23** Probetas y aparato de ensayo a la abrasión.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.4.4 Determinación de la adherencia

Este ensayo utiliza probetas metálicas, las que deben ser pintadas para posteriormente medir en 3 puntos el espesor de película donde se realizará la adherencia. Una vez hecho el paso anterior, se debe elegir una herramienta de corte que ralle la superficie con el barniz, para realizar el enrejado en estos puntos, según lo establecido en la norma NCh 2220 Of 92. Se debe fijar la probeta metálica a una superficie horizontal mediante cinta de enmascarar para fijar las guías de los cortes a realizar, luego los resultados se comparan con la tabla de clasificación de adherencia establecida por la norma y se obtiene el resultado del ensayo.



**Figura 4.24** Puntos a ensayar y enrejado resultante de adherencia.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia

#### 4.4.5 Determinación del retardo al fuego

Este ensayo requiere de probetas de madera que no tengan nudos ni imperfecciones que puedan incidir en el resultado, se requiere una superficie homogénea; las probetas a ensayar serán de OSB, machihembrado y contrachapado. El combustible a utilizar será el exigido por la norma el cual debe ser alcohol etílico absoluto (etanol). Las probetas deben acondicionarse durante 14 días sin pintar y después de pintadas 14 días más, en una atmosfera controlada con humedad relativa de  $50\% \pm 5\%$  y temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para realizar el ensayo establecido por la norma NCh 1974 Of 86.



**Figura 4.25** Cámara de ensayo retardo al fuego.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 4.4.6 Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento

El agua destilada a utilizar en este ensayo debe tener un pH de  $6 \pm 1$  y las probetas a ensayar se deben sumergir, quedando separadas del fondo y paredes del recipiente al menos 15mm y cubiertas por 20mm de agua. Las probetas deben permanecer 24 horas sumergidas.



**Figura 4.26** Bandas de pH, baño termostático.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

***Capítulo 5***  
***Presentación y análisis de resultados***

## 5.1 Presentación de resultados

### 5.1.1 Determinación de la densidad

La realización de este ensayo se establece por la norma NCh 1001 Of 89, la cual indica que se debe realizar la toma de densidad durante 3 días diferentes, obteniendo así el resultado promedio de las muestras de barniz. El procedimiento se ejecuta en un picnómetro y la masa de estos fluidos se realiza en una balanza analítica de 0,0001 gr.

<b>Día 1</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Tº Ambiente	ºC	22
Humedad Relativa	%	70
Masa (recipiente seco) (M)	gr	24,112
Masa (recipiente + agua) (N)	gr	49,077
Tº Agua destilada	ºC	20
$\rho$ agua destilada	gr/ml	0,998231
<b>Volumen del recipiente (V)</b>	<b>ml</b>	<b>25,009</b>
Masa recipiente con B. Patrón (m1)	gr	47,328
Masa recipiente con Dosis A (m1)	gr	47,791
Masa recipiente con Dosis B (m1)	gr	48,070
<b>Densidad de la muestra (D) B. Patrón</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,928</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis A</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,947</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis B</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,958</b>

<b>Día 2</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Tº Ambiente	ºC	21
Humedad Relativa	%	67
Masa (recipiente seco) (M)	gr	24,112
Masa (recipiente + agua) (N)	gr	49,077
Tº Agua destilada	ºC	18
$\rho$ agua destilada	gr/ml	0,998623
<b>Volumen del recipiente (V)</b>	<b>ml</b>	<b>24,999</b>
Masa recipiente con B. Patrón (m1)	gr	47,319
Masa recipiente con Dosis A (m1)	gr	47,728
Masa recipiente con Dosis B (m1)	gr	48,142
<b>Densidad de la muestra (D) B. Patrón</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,928</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis A</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,945</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis B</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,961</b>

<b>Día 3</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Tº Ambiente	ºC	18
Humedad Relativa	%	88
Masa (recipiente seco) (M)	gr	24,112
Masa (recipiente + agua) (N)	gr	49,077
Tº Agua destilada	ºC	17
$\rho$ agua destilada	gr/ml	0,998772
<b>Volumen del recipiente (V)</b>	<b>ml</b>	<b>24,996</b>
Masa recipiente con B. Patrón (m1)	gr	47,288
Masa recipiente con Dosis A (m1)	gr	47,751
Masa recipiente con Dosis B (m1)	gr	48,197
<b>Densidad de la muestra (D) B. Patrón</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,927</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis A</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,946</b>
<b>Densidad de la muestra (D) Dosis B</b>	<b>gr/ml</b>	<b>0,964</b>

**Tabla 5.1** Densidades en días 1, 2 y 3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.1.2 Determinación de la viscosidad

Por medio del uso de un instrumento que mide la viscosidad de fluidos, se logró determinar la viscosidad del barniz patrón, dosis A, dosis B y el mucilago de Nopal por sí solo, obteniendo los siguientes resultados:

<b>Barniz patrón</b>					
<b>Spindle</b>	<b>Punto</b>	<b>Viscosidad (Cp)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Torque (%)</b>	<b>Temperatura (ºC)</b>
<b>Promedio</b>		<b>6589,65</b>	<b>23,00</b>	<b>78,91</b>	<b>25,00</b>

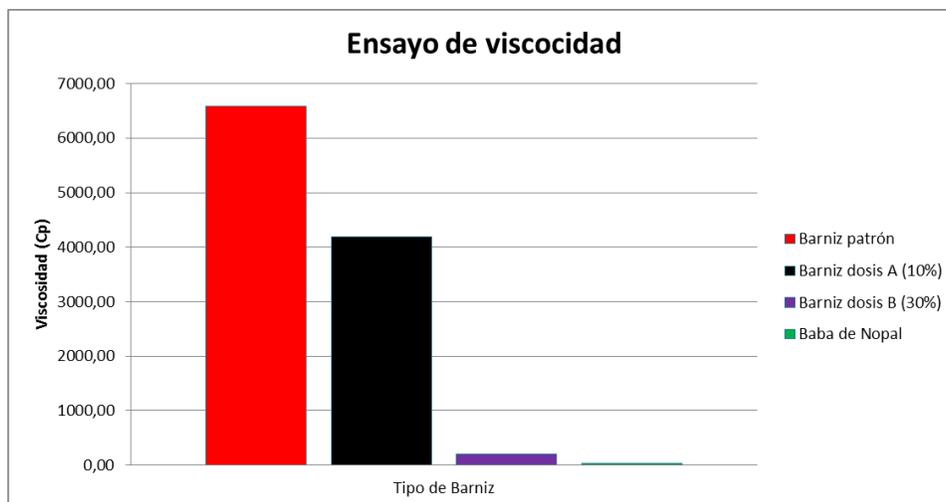
<b>Barniz dosis A (10%)</b>					
<b>Spindle</b>	<b>Punto</b>	<b>Viscosidad (Cp)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Torque (%)</b>	<b>Temperatura (ºC)</b>
<b>Promedio</b>		<b>4182,74</b>	<b>20,50</b>	<b>61,28</b>	<b>25,00</b>

<b>Barniz dosis B (30%)</b>					
<b>Spindle</b>	<b>Punto</b>	<b>Viscosidad (Cp)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Torque (%)</b>	<b>Temperatura (ºC)</b>
<b>Promedio</b>		<b>206,56</b>	<b>116,67</b>	<b>28,37</b>	<b>25,00</b>

<b>Mucílago de Nopal</b>					
<b>Spindle</b>	<b>Punto</b>	<b>Viscosidad (Cp)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Torque (%)</b>	<b>Temperatura (ºC)</b>
<b>Promedio</b>		<b>37,12</b>	<b>200,00</b>	<b>18,56</b>	<b>25,00</b>

**Tabla 5.2** Resumen de viscosidades.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura 5.1** Ensayo de viscosidad.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.1.3 Determinación del tiempo de secado

Este ensayo consta en aplicar las soluciones sobre metal y madera, al transcurrir el tiempo, se va analizando cómo se comporta la película de barniz sobre estas superficies según lo establecido en la norma NCh 2143 Of 89 analizando si corresponde a seco al tacto, seco duro y seco total. El tiempo se mide en [horas : minutos].

Seco al tacto		
Barniz / Material	Metal	Madera
Patrón	3:00	2:30
Dosis A	2:30	2:30
Dosis B	2:00	1:30

Seco duro		
Barniz / Material	Metal	Madera
Patrón	5:30	5:30
Dosis A	5:30	5:30
Dosis B	5:00	4:00

Seco total		
Barniz / Material	Metal	Madera
Patrón	10:00	10:00
Dosis A	10:00	8:30
Dosis B	8:00	7:30

**Tabla 5.3** Resumen tiempo secado (al tacto, duro y total).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

#### 5.1.4 Determinación del rendimiento

La utilización de tres tipos de maderas determino el comportamiento del rendimiento en las superficies de las probetas de machihembrado, OSB y contrachapado, obteniendo los siguientes resultados:

Barniz Patrón	Unidad	Material		
		Machihembrado	OSB	Contrachapado
Área	m2	0,202	0,136	0,161
Volumen	lt	0,05	0,05	0,05
<b>Rendimiento</b>	<b>m2/lt</b>	<b>4,04</b>	<b>2,72</b>	<b>3,22</b>

**Tabla 5.4** Rendimiento barniz Patrón.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz Dosis A (10%)	Unidad	Material		
		Machihembrado	OSB	Contrachapado
Área	m2	0,213	0,154	0,174
Volumen	lt	0,05	0,05	0,05
<b>Rendimiento</b>	<b>m2/lt</b>	<b>4,26</b>	<b>3,08</b>	<b>3,48</b>
% aumento rendimiento		105,45%	113,24%	108,07%
%		5,45%	13,24%	8,07%

**Tabla 5.5** Rendimiento barniz con dosis A (10% de mucílago).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz Dosis B (30%)	Unidad	Material		
		Machihembrado	OSB	Contrachapado
Área	m2	0,351	0,143	0,21
Volumen	lt	0,05	0,05	0,05
<b>Rendimiento</b>	<b>m2/lt</b>	<b>7,02</b>	<b>2,86</b>	<b>4,2</b>
% aumento rendimiento		173,76%	105,15%	130,43%
%		73,76%	5,15%	30,43%

**Tabla 5.6** Rendimiento barniz con dosis B (30% de mucílago).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.1.5 Determinación de la estabilidad

Este ensayo se realizó durante dos días en la ciudad de Valparaíso, con temperatura promedio de 17°C y 70% de humedad relativa; en este procedimiento tras transcurrir 48 horas se puede observar que el barniz patrón, el barniz dosis A y el barniz dosis B, no tuvieron formación de pieles en la superficie. Por otra parte, ninguno de los tres barnices tuvo separación de fases, ya sea, entre el solvente Limoneno y el poliestireno expandido ó el barniz de poliestireno expandido (patrón) con la incorporación de mucílago de Nopal en un 10% y 30%. Se puede concluir que estas soluciones tienen buena estabilidad como mezcla.

### 5.1.6 Determinación del espesor de película seca

Al envejecer artificialmente cada probeta metálica, ya sea, para 4, 8 y 12 meses, cada muestra presenta una disminución en su espesor, lo que implica que la radiación UV afecta en el tiempo a la película de barniz presentada en esta investigación.

Envejecimiento	Barniz	Espesor A/E ( $\mu\text{m}$ )	Espesor D/E ( $\mu\text{m}$ )	Disminución ( $\mu\text{m}$ )
<b>0 meses</b>	Patrón	154	154	<b>0</b>
	Dosis A	163	163	<b>0</b>
	Dosis B	81	81	<b>0</b>
<b>4 meses</b>	Patrón	156	143	<b>13</b>
	Dosis A	166	154	<b>12</b>
	Dosis B	84	72	<b>12</b>
<b>8 meses</b>	Patrón	144	126	<b>18</b>
	Dosis A	161	143	<b>17</b>
	Dosis B	79	69	<b>10</b>
<b>12 meses</b>	Patrón	118	103	<b>16</b>
	Dosis A	162	151	<b>12</b>
	Dosis B	61	54	<b>7</b>

**Tabla 5.7** Resumen de disminución de película seca.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

\*A/E= Antes del envejecimiento artificial.

\*D/E= Después del envejecimiento artificial.

### 5.1.7 Determinación a la resistencia a la abrasión seca

Para este ensayo se necesitó usar arena para erosionar la película de barniz en tres puntos en las probetas metálicas, cada uno de los barnices tuvo diferente resistencia detallados en la siguiente tabla:

Tipo de barniz / Envejecimiento artificial	Resistencia a la abrasión (lt/ $\mu\text{m}$ )			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
Patrón	0,65	0,83	0,70	0,64
Dosis A (10%)	0,34	0,36	0,68	0,53
Dosis B (30%)	0,17	0,31	0,31	0,21

**Tabla 5.8** Resumen de resistencia a la abrasión (lt/ $\mu\text{m}$ ).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

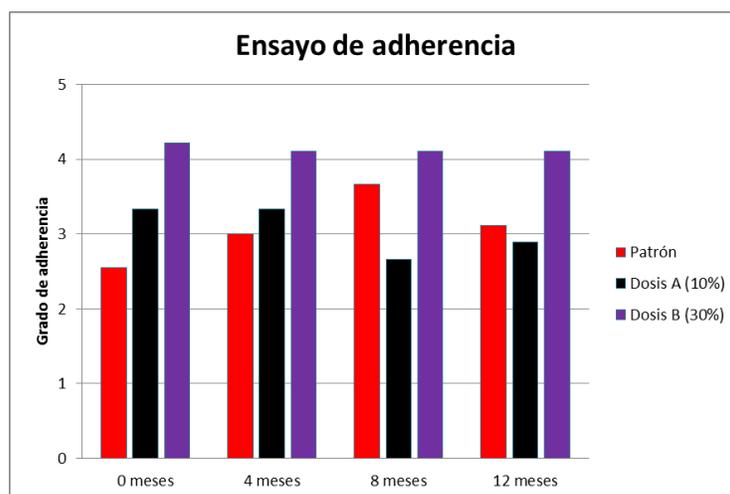
### 5.1.8 Determinación de la adherencia

Usando una herramienta de corte ejerciendo un enrejado sobre 3 puntos encada probeta metálica, se logró determinar el grado de adherencia que tiene cada barniz determinado por la cantidad de cuadritos que se desprende de la superficie.

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Grados de adherencia			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
Patrón	3	3	4	3
Dosis A (10%)	3	3	3	3
Dosis B (30%)	4	4	4	4

**Tabla 5.9** Resumen de ensayo a la adherencia.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura 5.2** Ensayo de adherencia.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.1.9 Determinación del retardo al fuego

Para determinar la pérdida de masa y carbonización de las probetas se debieron preparar mediante lo establecido en la norma chilena NCh 1974 Of 86, proceso que implicaba acondicionarlas antes de pintar durante 14 días, luego se volvían acondicionar 14 días más ya pintadas a una temperatura y humedad relativa establecida, para así poder realizar este ensayo.

#### ✓ Pérdida de masa

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Pérdida de masa en contrachapado (gr)		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	7,36	5,54	6,91
4 meses	7,62	6,73	8,32
8 meses	6,13	7,29	7,14
12 meses	6,69	7,06	7,24

**Tabla 5.10** Resumen de pérdida de masa en contrachapado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Pérdida de masa en OSB (gr)		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	7,75	9,62	7,51
4 meses	7,5	7,64	7,34
8 meses	8,15	7,41	7,53
12 meses	8,03	9,24	6,97

**Tabla 5.11** Resumen de pérdida de masa en OSB.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Pérdida de masa en machihembrado (gr)		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	8,49	6,87	7,14
4 meses	7,66	6,79	7,12
8 meses	8,02	6,73	7,49
12 meses	6,78	5,99	6,31

**Tabla 5.12** Resumen de pérdida de masa en machihembrado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## ✓ Índice de carbonización

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Índice de carbonización en contrachapado (mm <sup>3</sup> )		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	27667	28841	29461
4 meses	27292	30838	28645
8 meses	28656	27769	27058
12 meses	31874	29218	31031

Tabla 5.13 Resumen de carbonización en contrachapado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Índice de carbonización en OSB (mm <sup>3</sup> )		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	33039	43553	42848
4 meses	36345	38422	40581
8 meses	38294	37844	35631
12 meses	40584	42043	39785

Tabla 5.14 Resumen de carbonización en OSB.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Envejecimiento artificial / Tipo de barniz	Índice de carbonización en machihembrado (mm <sup>3</sup> )		
	Patrón	Dosis A (10%)	Dosis B (30%)
0 meses	32939	31853	30507
4 meses	29004	33841	32464
8 meses	32159	32538	30561
12 meses	31784	36372	30193

Tabla 5.15 Resumen de carbonización en machihembrado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

## 5.1.10 Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento

Este procedimiento se llevó a cabo pesando cada probeta de madera contrachapado, OSB y machihembrado antes de sumergirlas en agua, luego se incorporan en agua destilada y se dejan durante 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se secan las probetas de madera y se vuelven a pesar, así se logra determinar cuánta agua absorbió y se hincho, todo este ensayo se rige por la norma chilena NCh 793 Of 73.

## ✓ Absorción

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Absorción en madera de contrachapado			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
Patrón	24,6%	3,7%	16,1%	6,2%
Dosis A (10%)	8,4%	6,0%	9,6%	6,4%
Dosis B (30%)	20,1%	12,9%	8,9%	11,4%

**Tabla 5.16** Resumen absorción en contrachapado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Absorción en madera OSB			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
Patrón	6,7%	7,8%	5,7%	7,4%
Dosis A (10%)	17,2%	13,2%	6,8%	6,8%
Dosis B (30%)	20,7%	15,4%	8,0%	7,9%

**Tabla 5.17** Resumen absorción en OSB.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Absorción en madera de machihembrado			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
Patrón	9,4%	7,6%	6,3%	3,6%
Dosis A (10%)	10,9%	6,6%	7,5%	4,0%
Dosis B (30%)	11,8%	9,5%	4,0%	7,8%

**Tabla 5.18** Resumen absorción en machihembrado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

## ✓ Hinchamiento

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Hinchamiento en madera de contrachapado			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
<b>Patrón</b>	77,5%	36,5%	143,3%	125,4%
<b>Dosis A (10%)</b>	35,5%	57,3%	63,8%	68,4%
<b>Dosis B (30%)</b>	87,2%	112,1%	123,2%	142,7%

**Tabla 5.19** Resumen hinchamiento en contrachapado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Hinchamiento en madera OSB			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
<b>Patrón</b>	5,8%	6,1%	15,9%	7,7%
<b>Dosis A (10%)</b>	9,3%	8,4%	8,6%	9,4%
<b>Dosis B (30%)</b>	7,4%	14,1%	9,5%	10,3%

**Tabla 5.20** Resumen hinchamiento en OSB.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Tipo de Barniz / Envejecimiento artificial	Hinchamiento en madera de machihembrado			
	0 meses	4 meses	8 meses	12 meses
<b>Patrón</b>	4,5%	4,8%	5,6%	5,7%
<b>Dosis A (10%)</b>	3,8%	3,9%	3,7%	4,4%
<b>Dosis B (30%)</b>	4,4%	4,5%	4,7%	4,7%

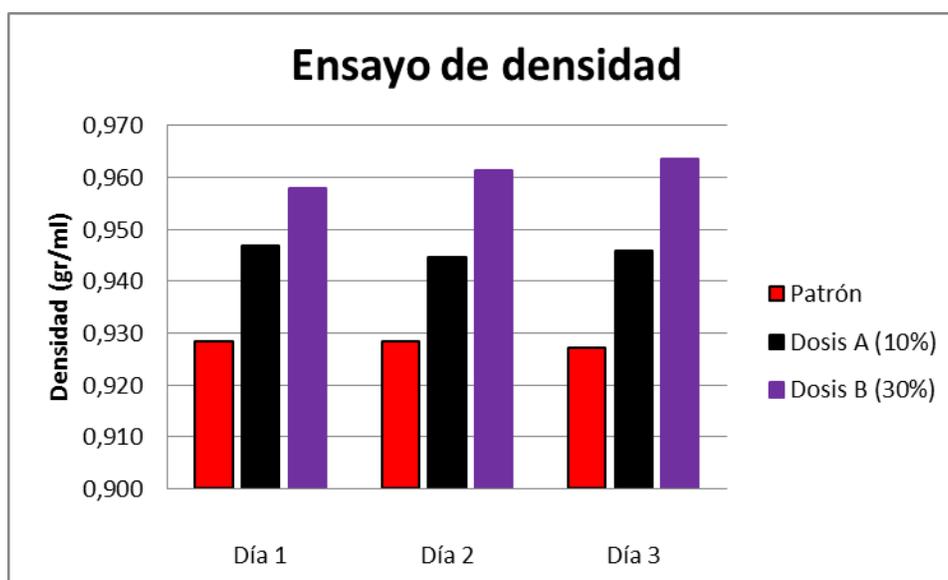
**Tabla 5.21** Resumen hinchamiento en machihembrado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## 5.2 Análisis de resultados

### 5.2.1 Determinación de la densidad

A partir de los datos obtenidos tras realizar este ensayo, se puede apreciar que el barniz patrón (500gr/lt) es el de menor densidad, respecto a las otras muestras analizadas; en donde la mezcla con un 10% de mucílago de Nopal (dosis A) aumenta la densidad respecto al barniz patrón en un 1,94% y en el caso del barniz con 30% de mucílago de Nopal (dosis B) aumenta aún más en un 3,57%. De lo anterior, resulta claro que el aumento de densidad al unir mucílago de Nopal y el barniz de poliestireno expandido, es debido a que el mucílago es más densa que el barniz de poliestireno expandido por sí solo, ya que, el mucílago por separación de fases se ubica bajo el barniz patrón (como agua y aceite), fenómeno que al mezclarlas potencia la densidad y también varía el peso (en aumento) respecto a la misma cantidad de volumen.



**Figura 5.3** Ensayo de densidad.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Tipo barniz		Resumen de densidad			
		Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
Barniz Patrón	gr/ml	0,928	0,928	0,927	<b>0,928</b>
Barniz Dosis A (10%)	gr/ml	0,947	0,945	0,946	<b>0,946</b>
Barniz Dosis B (30%)	gr/ml	0,958	0,961	0,964	<b>0,961</b>

**Tabla 5.22** Resumen de densidad día 1,2 y 3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.2.2 Determinación de la viscosidad

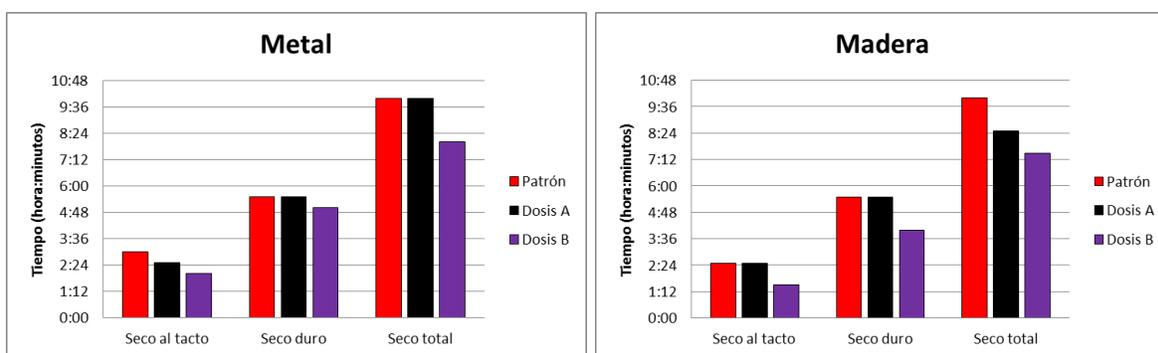
Los resultados arrojados por el viscosímetro demuestran que la incorporación de mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido (barniz patrón), va disminuyendo su viscosidad; la primera incorporación de mucílago en un 10% (dosis A), físicamente se puede apreciar que es un poco más líquida que el barniz patrón por sí solo disminuyendo su viscosidad en un 36,53%, así también, al incorporar un 30% de mucílago (dosis B) por consecuencia se hace aún más líquida la solución disminuyendo su viscosidad en un 96,86% y caracterizando el mucílago por si solo es la que tiene menor viscosidad, la cual respecto al barniz patrón disminuyo su viscosidad en un 99,44%, casi en su totalidad.

Las características que se aprecia al aplicar estas mezclas a la madera y metal, es que cuando no tiene mucílago de Nopal incorporado, escurrir este barniz tiene más oposición que el barniz con 10% de mucílago, y con el 30% de mucílago, estos dos últimos no cuesta aplicarlo en la superficie, pero la diferencia está en el acabado de la película, donde el barniz patrón y el barniz dosis A (10%) tienen aspecto plastificador y son muy similares, no así el barniz dosis B (30%) tiene un acabado más opaco, una película más fina y no tiene aspecto plastificador (ver anexo 2).

Cabe destacar que el ensayo de densidad con el ensayo de viscosidad se relacionan en sus propiedades físicas, a partir de la incorporación de mucílago de Nopal se logra medir y analizar que la densidad de los fluidos (barniz patrón, dosis A y dosis B) aumenta a medida que se incorpora el mucílago de no Nopal, y para el caso de la viscosidad ocurre este fenómeno inverso, es decir, la viscosidad disminuye a medida que se incorpora mucílago de Nopal, estas características además de que se demuestra por medio de mediciones, se pueden apreciar a simple vista y también al momento de aplicar estos barnices a una superficie.

### 5.2.3 Determinación del tiempo de secado

Este ensayo se realizó en ciudad de Los Andes a temperaturas entre 24 y 33 °C, con humedad relativa (HR) de 35%, estos factores influyen en la rapidez de secado de la película, teniendo en cuenta que la variación de temperatura o humedad puede afectar el secado y curado del barniz. Los resultados obtenidos indican que el barniz patrón y el barniz dosis A (10%) tienen un secado muy similar, no así el barniz dosis B (30%), el cual, tuvo un secado un poco mayor de una a dos horas de diferencia respecto de los otros dos barnices. Se puede concluir que la incorporación de más mucílago tiene un secado mayor por la razón que es un barniz más líquido y el mucílago de Nopal es a base de agua, lo que hace que el barniz puede evaporarse más rápido en esta solución (ver anexo 3).



**Figura 5.4** Tiempo de secado en madera y metal.

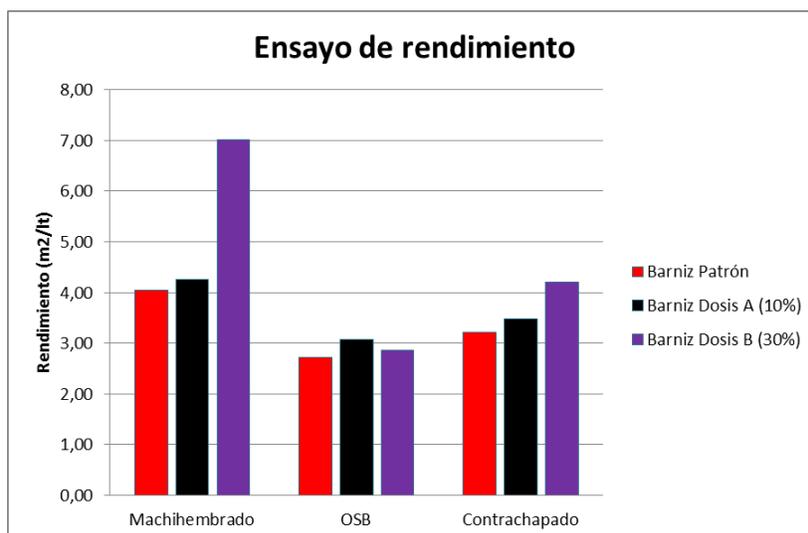
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.2.4 Determinación del rendimiento

Con los resultados obtenidos se puede concluir que, efectivamente al incorporar mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido el rendimiento aumenta, teniendo en cuenta que la superficie a la cual se aplica el barniz patrón, barniz dosis A y barniz dosis B, hacen variar los rendimientos, ya sea por superficies porosas o ranuras que hacen que aumente la cantidad de aplicación.

Por otra parte, en madera natural, se analizó que aumento el rendimiento un 5,45% con el 10% de mucílago y un 73,76% con el 30% de mucílago, lo que se concluye que con la madera natural es totalmente ascendente el rendimiento. Sin embargo, con la madera OSB hubo un aumento de rendimiento de 13,24% con el 10% de mucílago, pero con la incorporación del 30% de mucílago hubo un aumento de 5,15%, se estima que este fenómeno ocurrió debido a que al adicionar mayor porcentaje de mucílago de Nopal, la mezcla se hace más líquida, por lo tanto, esta es capaz de penetrar más fácilmente la superficie del OSB, la cual tiene cavidades bastante profundas en comparación con la

madera natural y la superficie lisa del contrachapado, lo que hace que se ocupe más litros por metros cuadrados. Finalmente, el contrachapado aumento el rendimiento un 8,07% con el 10% de mucílago y un 30,43% con el 30% de mucílago, lo que se concluye que el contrachapado se comporta similar a la madera natural, pero tiene una superficie no lisa, es más áspera y se observa que absorbe más pintura en el instante de aplicar barniz.



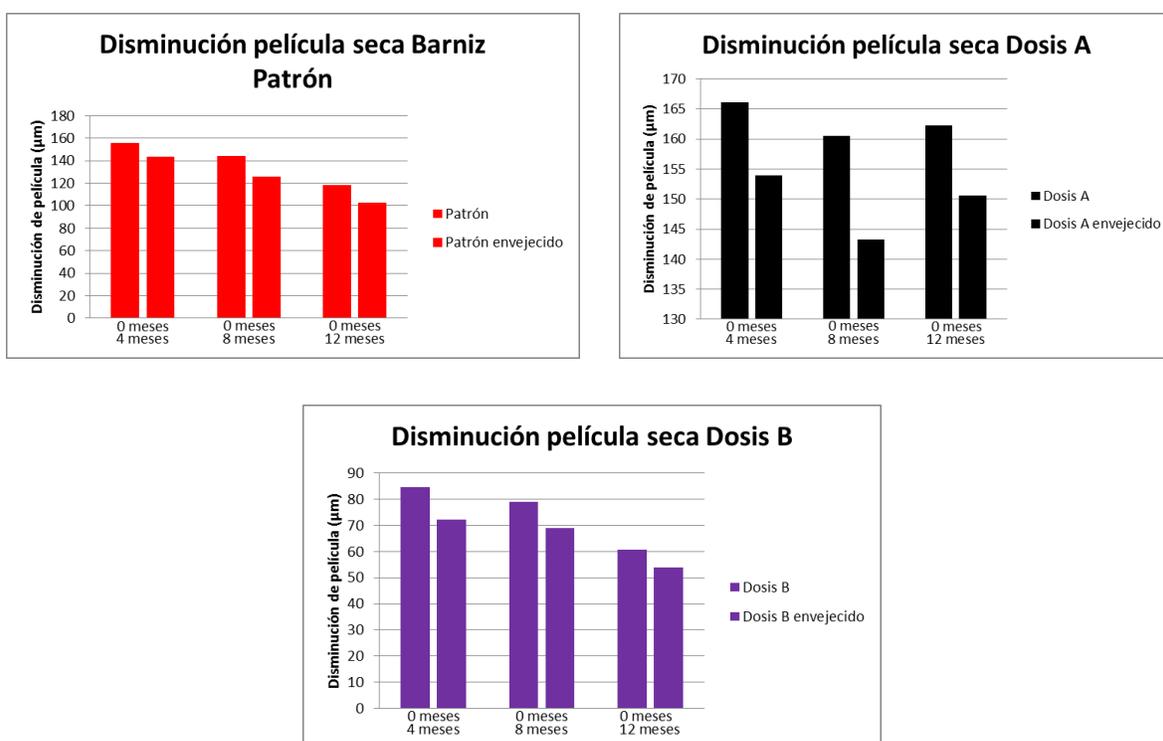
**Figura 5.5** Ensayo de rendimiento.  
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.2.5 Determinación de la estabilidad

EL barniz de poliestireno expandido, el barniz dosis A (10% de mucílago de Nopal) y la dosis B (30% de mucílago de Nopal), transcurrido dos días en sus contenedores sin tapa, no presenta separación ni irregularidades como fluidos, además se mantuvo una mezcla totalmente homogénea.

### 5.2.6 Determinación del espesor de película seca

Se analiza que el espesor con dos manos de aplicación de película con barniz patrón y barniz dosis A (10%) tienen un espesor entre 100 a 180  $\mu\text{m}$  aproximadamente, la incorporación de 30% de mucílago de Nopal (dosis B) hace que el barniz sea más líquido y al aplicarlo en dos manos a la superficie metálica, esta tiene un espesor entre 40 a 80  $\mu\text{m}$ , se forma una película más delgada respecto de los otros dos barnices. Después del envejecimiento se analiza que en promedio tuvieron una disminución de 10 a 12  $\mu\text{m}$  en su mayoría, eso significa que durante 4, 8 y 12 meses de exposición a la radiación artificial (equivalente a estos meses), los barnices se ven afectados en el recubrimiento de una superficie (ver anexo 4).

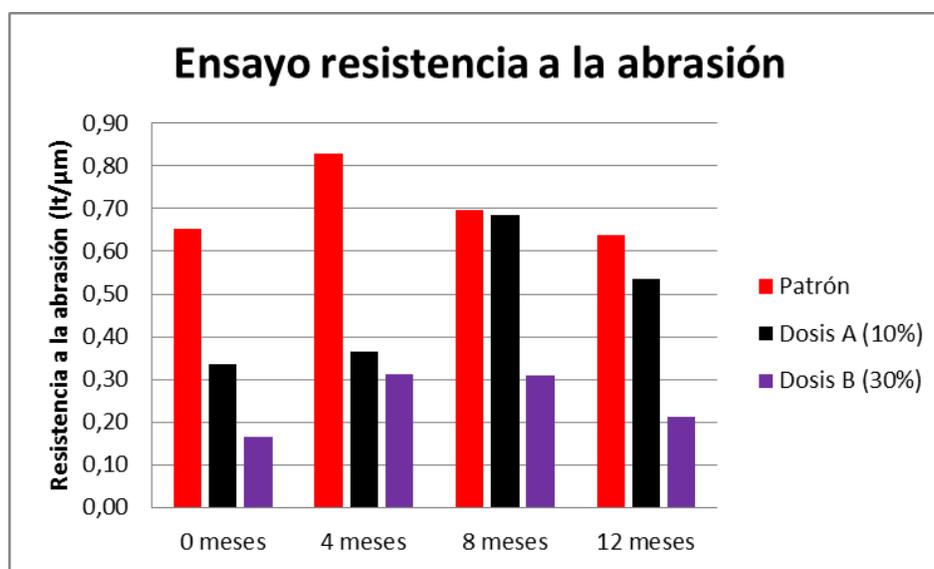


**Figura 5.6** Ensayo de película seca.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.2.7 Determinación a la resistencia a la abrasión seca

El ensayo de abrasión se realizó mediante el uso de un sistema de embudo unido a un tubo, por el cual, un volumen normado de arena (un litro de arena) se hace caer en la superficie de la placa metálica con barniz en tres puntos diferentes para contabilizar la cantidad de pasadas hasta desgastar la película que tiene la probeta metálica. En el caso del barniz patrón, se analiza que es el que obtuvo el mayor registro de resistencia respecto al barniz dosis A y dosis B con un índice promedio de  $0,7\text{lt}/\mu\text{m}$ . Sin embargo, el barniz dosis A (10% de mucílago de Nopal) obtuvo una resistencia con un índice promedio de  $0,4\text{lt}/\mu\text{m}$ , en cuanto al barniz dosis B el cual contiene 30% de mucílago de Nopal, registro el menor índice con un promedio de  $0,25\text{lt}/\mu\text{m}$ . Por lo tanto, se puede analizar que incorporar mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido en un 10% y 30%, no ayuda a resistir la abrasión, al contrario, mientras más porcentaje de mucílago de Nopal hace disminuir más la resistencia a la abrasión se torna una película en la superficie poco resistente (ver anexo 5).



**Figura 5.7** Ensayo de resistencia a la abrasión.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

### 5.2.8 Determinación de la adherencia

Al realizar este ensayo, se debe fijar cada probeta metálica a una superficie plana mediante cinta adhesiva, luego con la herramienta de corte se pasa sobre la placa metálica en tres puntos haciendo un enrejado con líneas separadas cada 2mm. El grado de adherencia va de 0 a 5, donde el grado 0 indica que no existe rompimiento de la película y el grado mayor de valor 5, indica que la película se desprende totalmente de la superficie metálica, así es como el barniz patrón presento una mayor adherencia con indicativos de grado 3 en promedio el cual muestra un leve desprendimiento de la película; el barniz dosis A (10% mucílago de Nopal) obtuvo un grado promedio de 3 y 4, un grado más que el barniz patrón, físicamente se aprecia que existe un mayor desprendimiento de película pero como característica se comporta equivalente al barniz patrón, por otra parte, el barniz dosis B (30% mucílago de Nopal) obtuvo un grado 4 y 5, ya que, al pasar la herramienta de corte se desprendió con facilidad la película de la superficie, se aprecia un desprendimiento de cuadrados más masivo. Se puede analizar que la incorporación de mucílago de Nopal no mejora la adherencia, el 10% de mucílago de Nopal es la dosis optima por demostrar un comportamiento equivalente al barniz patrón, no así la incorporación del 30% de mucílago de Nopal (ver anexo 6).

### 5.2.9 Determinación del retardo al fuego

Se puede analizar que la pérdida de masa en contrachapado, OSB y machihembrado es muy similar respecto al peso que tiene cada uno de estos materiales, ya que, los tres tipos de madera tienen misma área pero distintos espesores:

- ✓ Contrachapado: 9mm.
- ✓ OSB: 9,5mm.
- ✓ Machihembrado: 13,6mm.

Esto se debe a que los tres barnices no poseen propiedades de retardo al fuego. Por otra parte, la pérdida de masa en OSB y machihembrado su porcentaje de perdida fue similar en cada material con un rango de 8% a 12% relacionando los tres tipos de barniz, en cuanto al contrachapado tubo un rango de porcentaje entre un 8% a un 14%, aumento debido a que el contrachapado mostro menos resistencia al fuego. Analizando el índice de carbonización se observa que es proporcional a la pérdida de masa.

Finalmente, en ninguno de los casos analizados el barniz mejora la propiedad de retardo al fuego, se inflama de igual forma, además de analiza que las probetas envejecidas y quemadas se comportan como las que no se envejecen, por lo tanto, se concluye que mantiene sus propiedades en el tiempo (ver anexo 7).

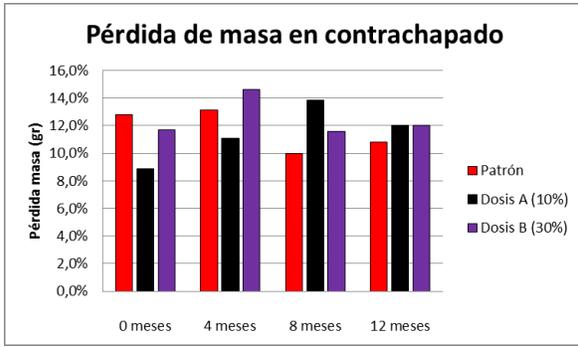


Figura 5.8 Ensayo pérdida de masa en contrachapado.

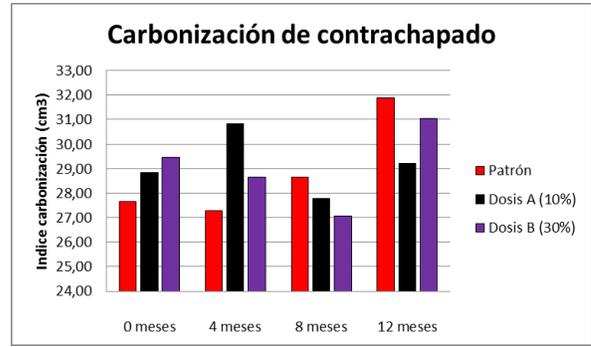


Figura 5.11 Ensayo carbonización en contrachapado.

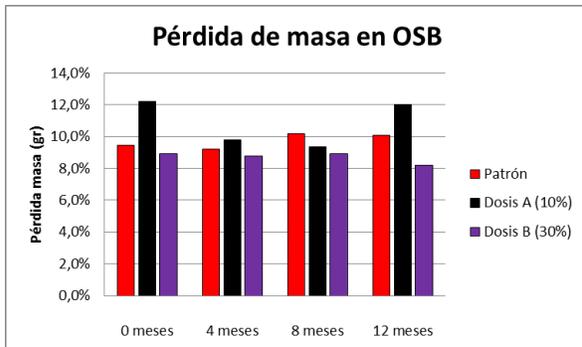


Figura 5.9 Ensayo pérdida de masa en OSB.

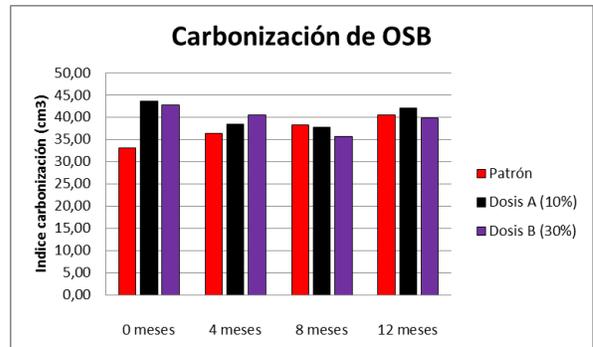


Figura 5.12 Ensayo carbonización en OSB.

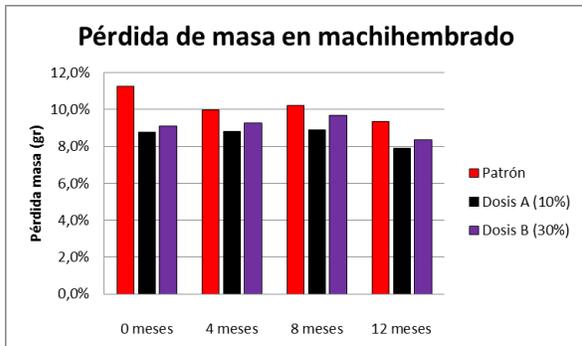


Figura 5.10 Ensayo pérdida de masa en machihembrado.

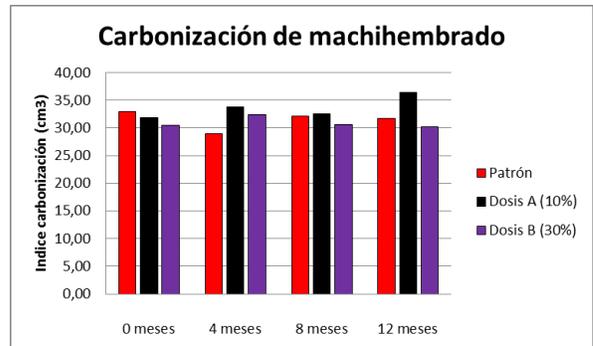


Figura 5.13 Ensayo carbonización en machihembrado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

### 5.2.10 Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento

Se puede analizar que los tres tipos de maderas absorbieron agua, lo que implica que ninguno de los casos de barniz logra impermeabilizar la superficie de madera. Además, cabe destacar que el envejecer artificialmente las probetas de madera (equivalente a 4, 8 y 12 meses) no tiene mayor relevancia que las probetas sin envejecer, ya que, todas las muestras contienen agua, las probetas que obtuvieron mayor absorción e hinchamiento y su registro sale del promedio de porcentajes, es debido a que el barniz no “selló” totalmente la superficie y por supuesto, las imperfecciones que cada probeta en particular tiene, ayuda a que el agua pueda entrar con facilidad a diferencia de otras probetas.

En cuanto a la absorción, se puede observar que disminuye al envejecer de 4 a 8 meses en contrachapado, OSB y machihembrado, lo refleja los porcentajes en los gráficos. Además se observa que el material machihembrado obtuvo un menor porcentaje de absorción entre 2% a 14%, no así el contrachapado y OSB tienen un rango de absorción de 4% a 27%, esto debido a que la superficie del OSB tiene cavidades e imperfecciones que el barniz no logra entrar e ingresa el agua, y el contrachapado al ser madera laminada prensada el barniz en algunas probetas no logra sellar completamente y las láminas se separaron quedando con mayor porcentaje de absorción, aunque algunos valores son similares a las otras maderas, el contrachapado tiene imperfecciones como son los cantos, por esta razón, es que el porcentaje aumento en la mayoría de las probetas. Sin embargo, se observa que al envejecer de 4 a 12 meses la absorción en las tres maderas fue disminuyendo.

Respecto al hinchamiento, se observa que el contrachapado es el material que tiene el mayor porcentaje de hinchamiento con un rango de 40% a 150%, debido a las uniones entre las láminas que componen este material separándose cada lamina aumentando así sus dimensiones, no así el OSB con un rango de 6% a un 16% y el machihembrado que obtuvo un hinchamiento con rango de un 3,5% a 5,5%. Se puede analizar que la absorción de agua en conjunto con el hinchamiento es proporcional (ver anexo 8).

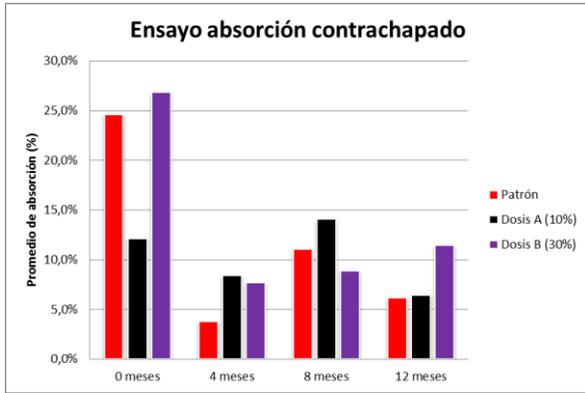


Figura 5.14 Ensayo de absorción en contrachapado.

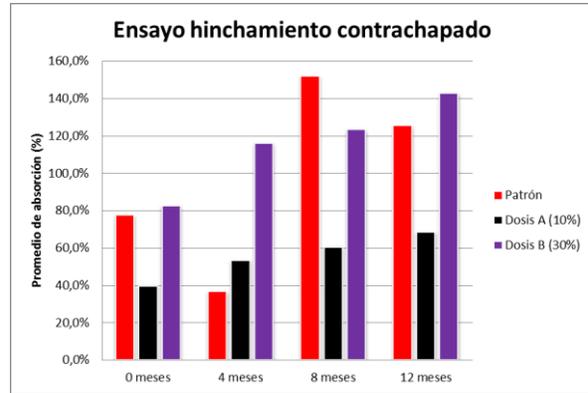


Figura 5.17 Ensayo de hinchamiento en contrachapado.

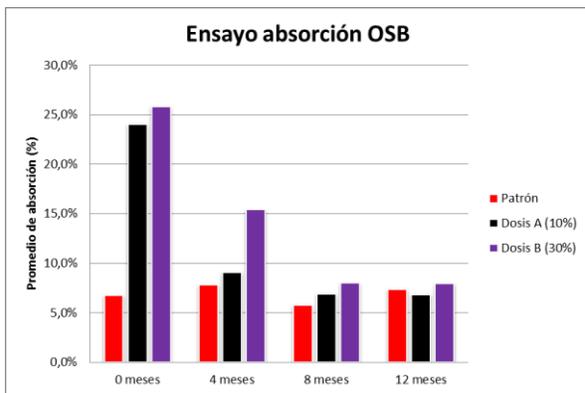


Figura 5.15 Ensayo de absorción en OSB.

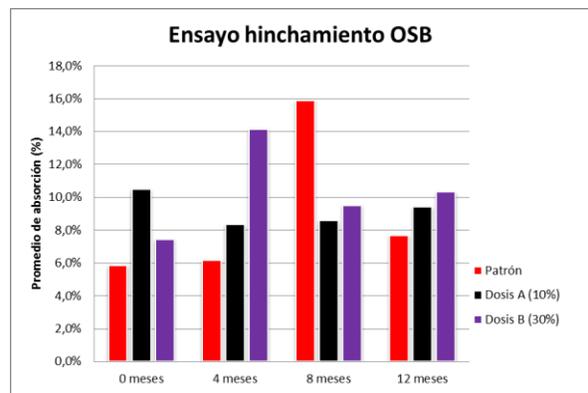


Figura 5.18 Ensayo de hinchamiento en OSB.

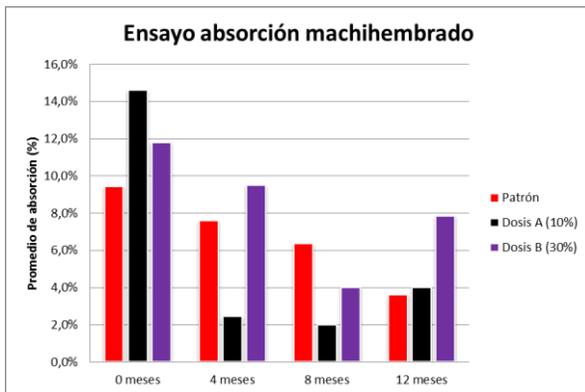


Figura 5.16 Ensayo de absorción en machihembrado.

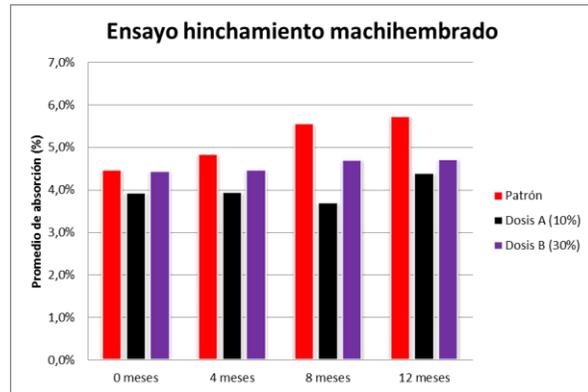


Figura 5.19 Ensayo de hinchamiento en machihembrado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

*Capítulo 6*  
*Conclusiones*

## 6.1 Generalidades

A partir de los resultados expuestos en esta investigación, es posible concluir que la incorporación de mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido (como solución homogénea), presentó ventajas y desventajas en los diez ensayos realizados en esta investigación. En general, los resultados no arrojaron una tendencia única a la mejora, ya que, algunas dosificaciones no variaron el comportamiento del barniz frente a los ensayos y aquellas dosificaciones que sí presentaron variaciones, aumentaron algunas propiedades físicas en desmedro de otras, estos se caracterizarán a continuación.

## 6.2 Propiedades físicas (comportamiento y características)

La incorporación de mucílago de Nopal en un 10% y 30% en el barniz de poliestireno expandido, tuvo un aumento en la densidad y una disminución en la viscosidad. En cuanto a la densidad, con la incorporación del 10% de mucílago de Nopal aumento en un 1,94% y con el 30% de incorporación de mucílago aumento un 3,57%. Respecto a la viscosidad, al mezclar 10% de mucílago, ésta disminuyó en un 36,53%. En la mezcla de 30% de mucílago, la viscosidad disminuyó en un 96,86%. Se puede concluir a partir de los resultados que se pueden apreciar físicamente en las muestras de barniz, es que el mucílago de Nopal tiene mayor densidad y menos viscosidad que el barniz de poliestireno expandido, lo cual al mezclar ambos componentes, aumenta la densidad como fluido y a la vez hace que sea menos viscosa. Estos fenómenos se pudieron apreciar al momento de aplicar la película de barniz sobre la superficie de madera o metal, ya que, notoriamente al pintar cada probeta el trabajo que ejerce para cada mezcla para esparcir la película de barniz es mayor.

El tiempo de secado de los barnices propuestos en esta investigación, está influenciado por el ambiente y humedad relativa, es así como se pudo apreciar que la incorporación de mucílago de Nopal en un 30% fue la que se demoró menos tiempo en secarse respecto al barniz patrón y 10% de mucílago de Nopal, por un delta de tiempo aproximado de 2 horas de anticipación.

El ensayo de rendimiento tiene como variables dos factores, las propiedades del barniz (viscosidad y densidad) y forma de la superficie de la madera donde se aplicará dicho barniz. Para esta investigación se probó en tres tipos de madera, donde al incorporar un 10% de mucílago de Nopal, aumentó el rendimiento en un 5,45% para machihembrado, un 13,24% para OSB y un 8,07% para contrachapado, respecto al 30% de mezcla de mucílago de Nopal, éste rindió aún más, para machihembrado aumento en un 73,76%, para contrachapado un 30,43%, pero en el OSB disminuyó el rendimiento, debido a que sus

cavidades y el barniz de 30% de mucílago es mucho más líquido, facilitó que no escurriera por la superficie que presenta el OSB. Se puede concluir que la incorporación de mucílago de Nopal al barniz de poliestireno expandido, si aumenta el rendimiento casi al doble que el barniz patrón por sí solo, teniendo en cuenta que influye la superficie de la madera a la cual se aplica, por lo tanto, se cumple esta parte de la hipótesis para esta investigación.

El espesor de película seca disminuyó al incorporar mucílago de Nopal en un 10% y aun mas con el 30%, donde los resultados arrojan que la película aplicada con dos manos disminuye en promedio de 140  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , por lo tanto, se concluye que la incorporación de mucílago de Nopal torna un barniz más fluido a diferencia del barniz patrón que es una mezcla más espesa analizando físicamente su textura, lo cual confirma que al incorporar mucílago de Nopal, el rendimiento aumenta significativamente.

El ensayo de abrasión y de adherencia se relaciona de tal manera que ambos hacen un desprendimiento o desgaste de la película en la superficie de la probeta metálica de estos ensayos. El ensayo de abrasión, tuvo diferencia entre los tres barnices, resistiendo más volumen de arena el barniz patrón con un promedio de 0,71  $\text{lt}/\mu\text{m}$ , el barniz con 10% de mucílago resistió 0,48  $\text{lt}/\mu\text{m}$  y la incorporación de 30% de mucílago resistió 0,25  $\text{lt}/\mu\text{m}$ , por lo tanto para este ensayo se concluye que la incorporación de mucílago de Nopal muestra debilidad como película en la superficie metálica. En el ensayo de adherencia, se realizó mediante el paso de un herramienta de corte que desgarró la película en la superficie de la probeta metálica formando un enrejado, con este método se analiza el desprendimiento de película medido en grados de 0 a 5 (menor a mayor desprendimiento), donde el barniz patrón y barniz dosis A (10%) obtuvieron un promedio de grado 3 y el barniz dosis B (30%) obtuvo un grado 4, por lo tanto, se puede concluir que la incorporación de mucílago de Nopal en un 10% se comporta similar al barniz patrón, pero no aumentó la adherencia, y con la incorporación de mucílago del 30%, no cumple con el aumento de adherencia, sino que para este caso disminuye, así que, esta parte de la hipótesis no se cumple.

El ensayo de retardo al fuego, respecto a la pérdida de peso resultó ser similar la pérdida de peso en los tres tipos de madera (contrachapado, OSB y machihembrado), donde en promedio se perdió 7,34 gr y el delta entre cada tipo de madera aproximadamente es de 1 gr. En cuanto a la carbonización, en madera contrachapado el resultado fue de 29,03  $\text{cm}^3$ , el OSB tiene el mayor valor con 39,08  $\text{cm}^3$  y la madera machihembrado obtuvo 32,02  $\text{cm}^3$  de carbonización, el machihembrado con el contrachapado se comportaron de manera similar. Se puede concluir que barnizar los tres tipos de maderas con los tres tipos de barniz, físicamente se apreció poca diferencia, además el ensayo en la cámara de combustión se quemaron de una forma similar en un tiempo de 3:43 a 3:55 minutos (duración de la combustión).

A partir del ensayo de absorción e hinchamiento se puede concluir que los barnices patrón, dosis A (10%) y dosis B (30%) se comportaron de manera similar, cabe destacar

que la forma de aplicación y la cantidad de manos de barniz incide en el paso del agua hacia la madera, además de la irregularidad en la madera. Hubo diferencias entre el tipo de madera, contrachapado, OSB y machihembrado, los cuales se comportaron diferentes. Donde el machihembrado tubo mejor resultado absorbió menos agua y todas las muestras de este material se comportaron de manera muy similar, por lo tanto se puede concluir que la incorporación de mucílago de Nopal no impermeabilizó totalmente la superficie de madera, los barnices no son totalmente impermeables, y todas las probetas absorbieron agua, hubo un par de diferencias debido al material, pero gran similitud a la vez entre ellas.

### 6.3 Recomendaciones para futuras investigaciones

Se propone analizar disolver el poliestireno expandido en acetona, ya que, es un solvente de más fácil acceso y menor costo, y probar incorporando pigmentos orgánicos a la solución para darle terminación.

Se propone incorporar algún material o componente que ayude a aumentar la adherencia para el barniz patrón y/o para el barniz con incorporación de mucílago de Nopal, ya que, podría considerarse como una de las desventajas de este barniz frente al barniz patrón.

## Bibliografía

- Ahmad, M. M., Iqbal, Z., Anjum, F., & Sultan, J. (2006). Genetic variability to essential oil composition in four citrus fruit species. *Pakistan Journal of Botany*.
- Altamirano, A. (2009). re Daños que provoca el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en las pinturas de exterior. Universidad de Valparaíso, Escuela de construcción Civil.
- Anape. (2004). El poliestireno expandido y el medio ambiente.
- Andrés, A., Bustos, C., Lasserre, J. P., & Gacitua, W. (2013). Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*. *Maderas. Ciencia y tecnología*.
- Barreiro, S., & Hirsch, T. (2011). Protección de la madera. Tesina, Montevideo: Universidad de la República-Facultad de Arquitectura.
- Benitez & Vélez A. (2013). Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado. Universidad de Cartagena.
- Calderón, M. L. S. (2009). Los barnices, capa de protección. Significado y composición: resinas, oleoresinas y bálsamos. *Revista de Claseshistoria*.
- Canché, J. C., Nah, J. C., Castellanos, R. G., Estrada, R. C., & Baeza, J. C. (2014). Aprovechamiento de Nuevos Productos en Base a poliestireno expandido Recuperado. *Revista Colombiana de Materiales*.
- Cárcamo, P. (2013). Proposición de un impermeabilizante de poliestireno expandido reciclado aplicado a tableros de madera. Universidad de Valparaíso.
- Cárdenas, A., Arguelles, W., & Goycoolea, F. (2002). Sobre el posible papel del mucílago *Opuntia ficus-indica* en el rendimiento del mortero de cal en la protección de los edificios históricos. Centro de investigación en alimentación y desarrollo, Sonora, México.
- Castro, M. (2012). Propiedades de la madera. *Revista ARQHYS*.
- CORMA. (2013). Revestimientos en madera para paramentos exteriores.

- Coronel Cazares, I. A., & Piedra Santana, J. S. (2014). Estudio de las propiedades físicas y composición química de los aceites esenciales de las hojas de *Peperomia Inaequalifolia* Ruiz & Pav. y *Piper Pubinervulum* C. DC., y del rizoma de *Renealmia Thyrsoides* subsp. *Thyrsoides*.
- Encinas, O. (2004). Conservación de maderas. Universidad de Los Andes.
- Fernández, G. (2012). Limoneno. Química Orgánica.  
<http://www.quimicaorganica.net/limoneno.html>
- Guatibonza, M. (2011). Fotodegradación de la madera por la radiación ultravioleta.
- Hernández-Zaragoza, J., Coronado-Márquez, A., López-Lara, T., Horta-Rangel, J., de Querétaro, S., & México, Q. (2008). Mejoramiento de morteros a través de Nopal.
- Hess, A. A. (2005). Impacto Ambiental de Componentes y Materiales de Edificios. Comunicaciones Científicas.
- Iñiguez Gonzalez, G. (2007). Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural.
- Martínez-Camacho, F., Vazquez-Negrete, J., Lima, E., Lara, V. H., & Bosch, P. (2008). Texture of Nopal treated adobe: restoring Nuestra Señora del Pilar mission. *Journal of Archaeological Science*, 35(5), 1125-1133.  
doi:<http://doi.org/10.1016/j.jas.2007.10.019>
- Mellado, A. (2010). Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel. A.T.C.P.
- Molina, R. (2007). Utilización eficiente de madera machihembrada para techos.
- Moncada, P. A. C. (2013). Propuesta de impermeabilizante de poliestireno expandido reciclado aplicado a tableros de madera. Universidad de Valparaíso.
- Nutsch, W. (1996). Tecnología de la madera y del mueble.
- Quezada, G. (2010). Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen de perlas de Aislapol.
- Rougeron, C. (1977). Aislamiento acústico y térmico en la construcción.

Sáenz, C., & Berger, H. (2006). Utilización agroindustrial del Nopal (Vol. 162).

Salager, J. (2002). Surfactantes, tipos y usos. Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Química.

SALAZAR, V. (2008). Proyectos que buscan hacer de la vivienda de madera, una vivienda de calidad: Chile apuesta por la construcción en madera. Revista de la Construcción.

Soria, P. T., Flores, S. C., Pelaéz, N. C. P., Mendiola, S. E. F., Ibarra, M. A. R., & Becerril, A. C. (2015). El mucílago de Nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. Antropología. Boletín Oficial del INAH.

Vassallo, O. (2017). Madera y construcción.

Vignote Peña, S. (2014). Productos derivados de la madera.

## *Anexos*

## Anexo 1

### 1.1 ¿Qué es una sustancia anfífila?

Una sustancia anfífila posee una doble afinidad, que se define desde el punto de vista fisicoquímico como una dualidad polar-apolar. La molécula típica de un anfífilo tiene dos partes: un grupo polar que contiene heteroátomos como O, S, P o N que se encuentran en grupos alcohol, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, etc, y un grupo apolar o poco polar que es en general un grupo hidrocarbonado de tipo alquil o alquil benceno, y que puede contener eventualmente átomos de halógeno u oxígeno. La parte polar posee afinidad por los solventes polares en particular el agua y se denomina comúnmente la parte hidrófila o hidrofílica. Por el contrario el grupo apolar se llama la parte hidrófoba o hidrofóbica, o bien lipofílica, del griego "phobos" y "lipos", la grasa (Salager, 2002).

### 1.2 Tensioactivos y surfactantes

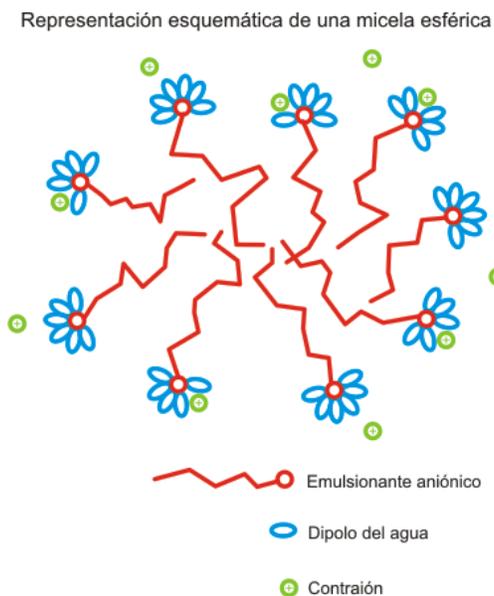
En general, el término tensoactivo se refiere a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos tienen muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel. Los ingleses utilizan la palabra "surfactante" (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba. La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensoactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs (Salager, 2002).

### 1.3 Clasificación de los Surfactantes

**Los surfactantes aniónicos** se disocian en un anión anfífilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario. A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones, los agentes espumantes como el Lauril Sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo (Salager, 2002).

**Los surfactantes noiónicos** están en el segundo rango por orden de importancia con un poco menos del 40% del total. En solución acuosa no se ionizan, puesto que ellos poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter o amida. Una alta proporción de estos surfactantes pueden tornarse relativamente hidrofílicos gracias a la presencia de una cadena poliéter del tipo polióxido de etileno. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad (Salager, 2002).

**Los surfactantes catiónicos** se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. La fabricación de estos surfactantes es mucho más cara que la de los anteriores y es por esta razón que no se les utilizan salvo en caso de aplicación particular, como cuando se hace uso de sus propiedades bactericidas o de su facilidad de adsorción sobre sustratos biológicos o inertes que poseen una carga negativa. Esta última propiedad hace que sean excelentes agentes antiestáticos, hidrofobantes, así como inhibidores de corrosión, y puedan ser utilizados tanto en productos industriales como para uso doméstico (Salager, 2002).



**Figura A.1** Unión de dos fases polar y apolar.

**Fuente:** Salager (2002).

## Anexo 2

## 2.1 Viscosidad

✓ Barniz patrón

Barniz patrón					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-2	1	6744,00	5	84,3	25,0
	2	6728,00	5	84,1	25,0
	3	6704,00	5	83,8	25,0
	4	6688,00	5	83,6	25,0
	5	6672,00	5	83,4	25,0
	6	6656,00	5	83,2	25,0
	7	6640,00	5	83,0	25,0
	8	6616,00	5	82,7	25,0
	9	6600,00	5	82,5	25,0
	10	6584,00	5	82,3	25,0
	11	6576,00	5	82,2	25,0
	12	6552,00	5	81,9	25,0
	13	6552,00	5	81,9	25,0
<b>Promedio</b>		<b>6639,38</b>	<b>5,00</b>	<b>82,99</b>	<b>25,00</b>

Tabla A.2.1 Viscosidad barniz patrón según spindle RV-2.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

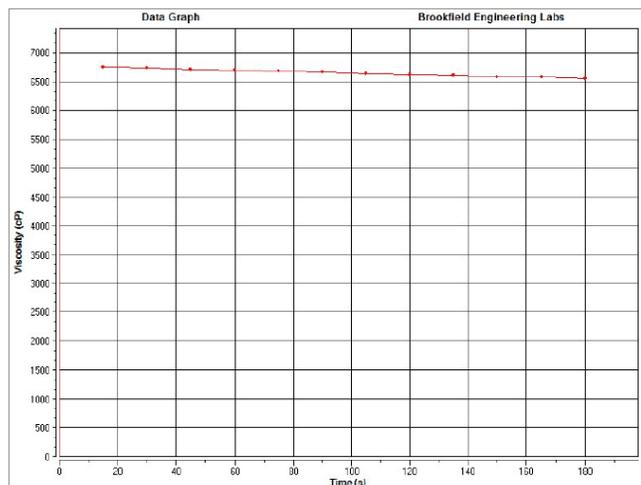


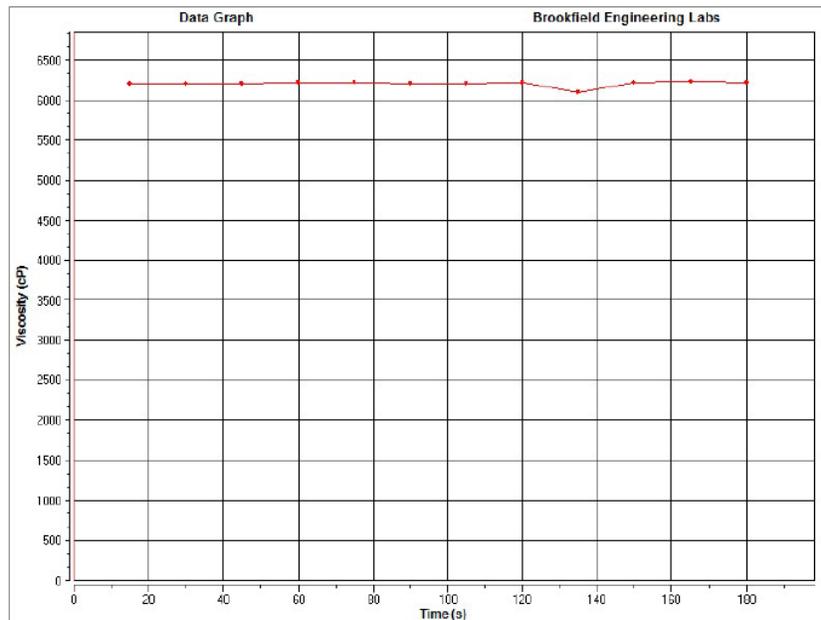
Figura A.2.1 Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-2.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Barniz patrón					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-3	1	6200,00	16	99,2	25,0
	2	6206,00	16	99,3	25,0
	3	6200,00	16	99,2	25,0
	4	6218,75	16	99,5	25,0
	5	6218,75	16	99,5	25,0
	6	6206,25	16	99,3	25,0
	7	62,06,25	16	99,3	25,0
	8	6212,50	16	99,4	25,0
	9	6100,00	16	97,6	25,0
	10	6218,75	16	99,5	25,0
	11	6225,00	16	99,6	25,0
	12	6218,75	16	99,5	25,0
	13	6218,75	16	99,5	25,0
<b>Promedio</b>		<b>6203,63</b>	<b>16,00</b>	<b>99,26</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.2** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



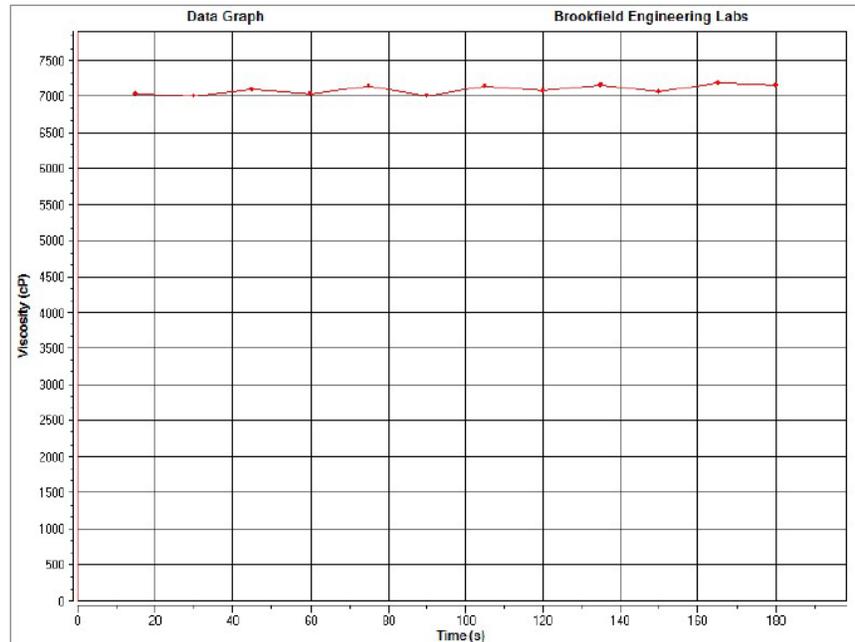
**Figura A.2.2** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz patrón					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-4	1	7040,00	10	35,2	25,0
	2	7000,00	10	35,0	25,0
	3	7100,00	10	35,5	25,0
	4	7040,00	10	35,2	25,0
	5	7140,00	10	35,7	25,0
	6	7000,00	10	35,0	25,0
	7	7140,00	10	35,7	25,0
	8	7080,00	10	35,4	25,0
	9	7160,00	10	35,8	25,0
	10	7060,00	10	35,3	25,0
	11	7180,00	10	35,9	25,0
	12	7160,00	10	35,8	25,0
	13	7160,00	10	35,8	25,0
<b>Promedio</b>		<b>7096,92</b>	<b>10,00</b>	<b>35,48</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.3** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-4.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



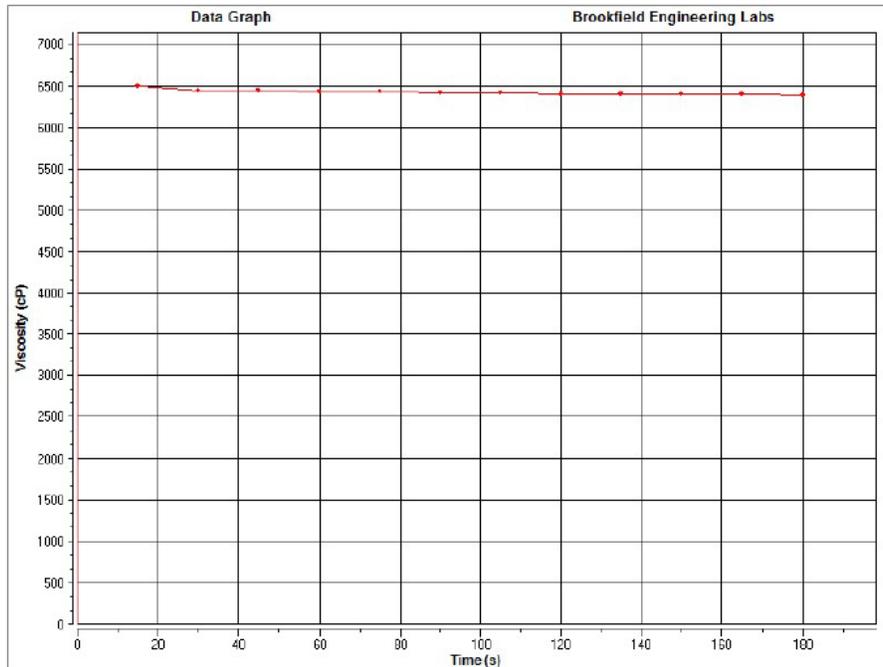
**Figura A.2.3** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-4.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz patrón					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-5	1	6491,80	61	99,0	25,0
	2	6445,90	61	98,3	25,0
	3	6445,90	61	98,3	25,0
	4	6432,79	61	98,1	25,0
	5	6432,79	61	98,1	25,0
	6	6413,11	61	97,8	25,0
	7	6413,11	61	97,8	25,0
	8	6400,00	61	97,6	25,0
	9	6406,56	61	97,7	25,0
	10	6393,44	61	97,5	25,0
	11	6393,44	61	97,5	25,0
	12	6386,89	61	97,4	25,0
	13	6386,89	61	97,4	25,0
<b>Promedio</b>		<b>6418,66</b>	<b>61,00</b>	<b>97,88</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.4** Viscosidad barniz patrón según spindle RV-5.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura A.2.4** Gráfico de viscosidad barniz patrón RV-5.

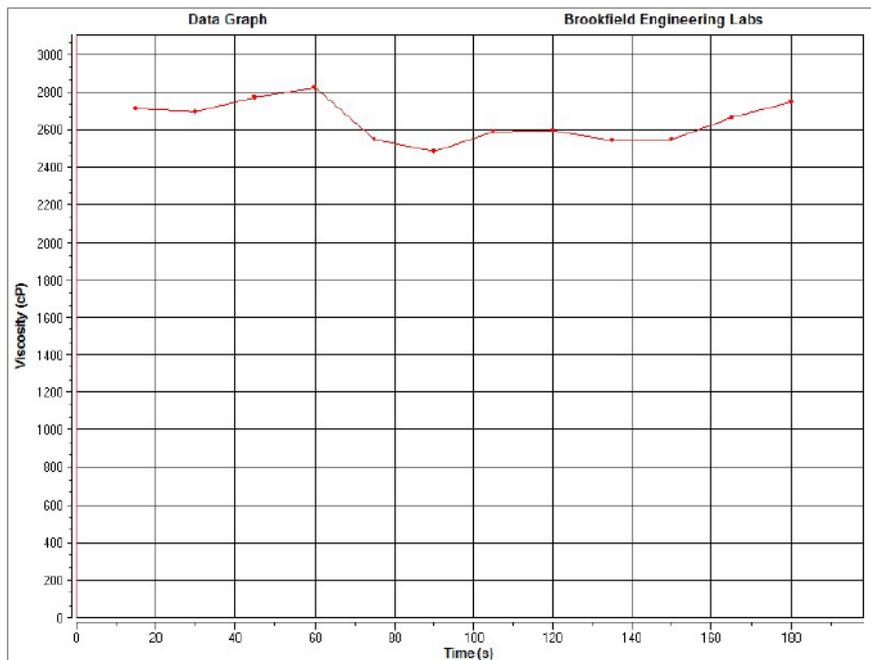
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

✓ Dosis A (10%)

Barniz dosis A (10%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-2	1	2714,29	14	95,0	25,0
	2	2694,29	14	94,3	25,0
	3	2771,43	14	97,0	25,0
	4	2822,86	14	98,8	25,0
	5	2548,57	14	89,2	25,0
	6	2485,71	14	87,0	25,0
	7	2591,43	14	90,7	25,0
	8	2597,14	14	90,9	25,0
	9	2542,86	14	89,0	25,0
	10	2551,43	14	89,3	25,0
	11	2665,71	14	93,3	25,0
	12	2745,71	14	96,1	25,0
	13	2745,71	14	96,1	25,0
<b>Promedio</b>		<b>2652,09</b>	<b>14,00</b>	<b>92,82</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.5** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



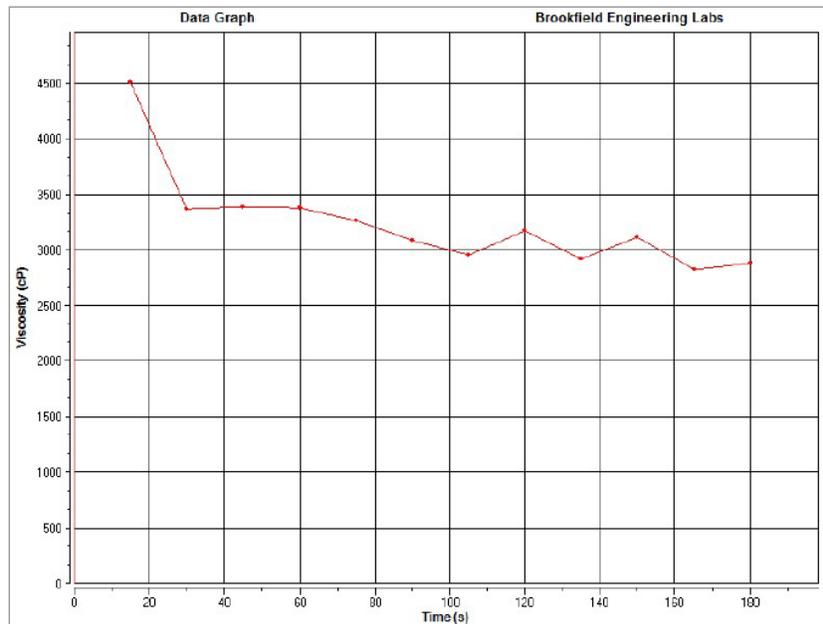
**Figura A.2.5** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz dosis A (10%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-3	1	4505,56	18	81,1	25,0
	2	3366,67	18	60,6	25,0
	3	3383,33	18	60,9	25,0
	4	3377,78	18	60,8	25,0
	5	3266,67	18	58,8	25,0
	6	3083,33	18	55,5	25,0
	7	2955,56	18	53,2	25,0
	8	3172,22	18	57,1	25,0
	9	2916,67	18	52,5	25,0
	10	3111,11	18	56,0	25,0
	11	2822,22	18	50,8	25,0
	12	2877,78	18	51,8	25,0
	13	2883,33	18	51,9	25,0
<b>Promedio</b>		<b>3209,40</b>	<b>18,00</b>	<b>57,77</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.6** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

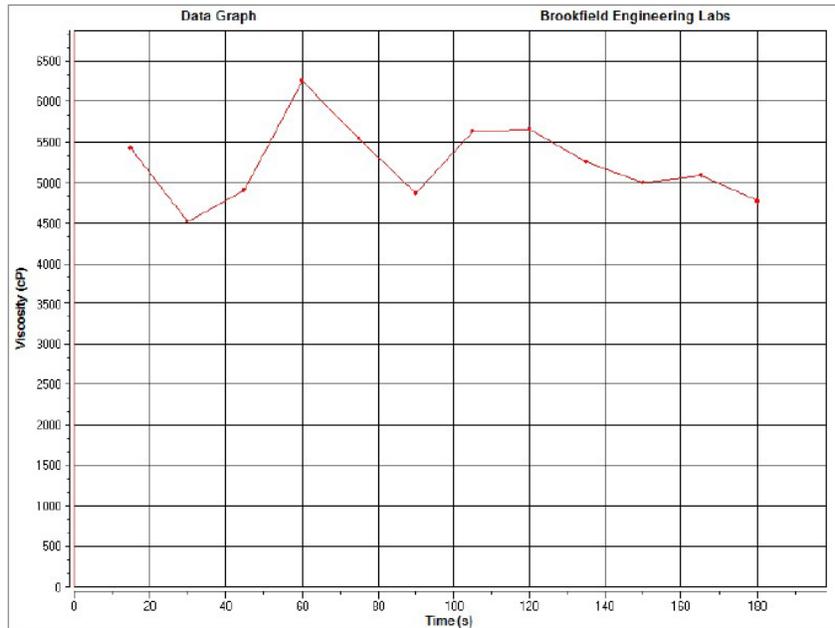


**Figura A.2.6** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz dosis A (10%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-4	1	5420,00	20	54,2	25,0
	2	4510,00	20	45,1	25,0
	3	4900,00	20	49,0	25,0
	4	6250,00	20	62,5	25,0
	5	5540,00	20	55,4	25,0
	6	4860,00	20	48,6	25,0
	7	5630,00	20	56,3	25,0
	8	5650,00	20	56,5	25,0
	9	5250,00	20	52,5	25,0
	10	4990,00	20	49,9	25,0
	11	5080,00	20	50,8	25,0
	12	4770,00	20	47,7	25,0
	13	4760,00	20	47,6	25,0
<b>Promedio</b>		<b>5200,77</b>	<b>20,00</b>	<b>52,01</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.7** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-4.  
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

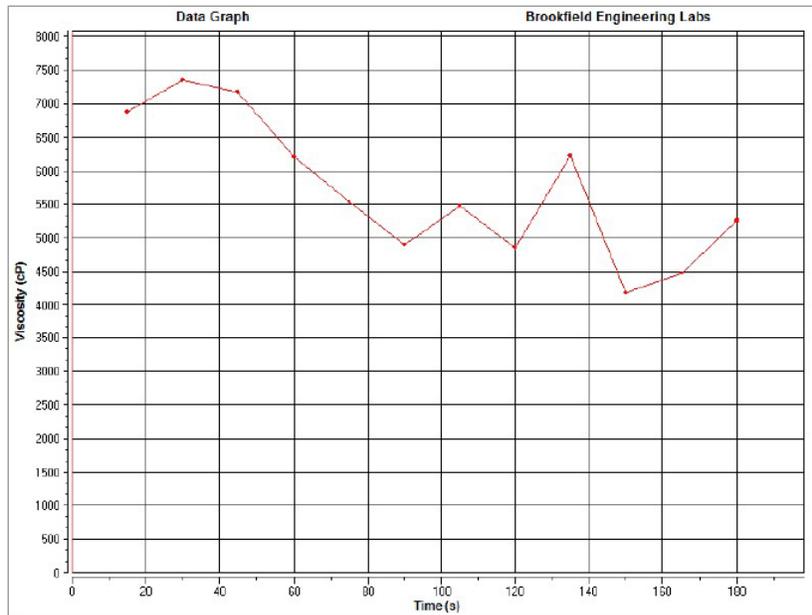


**Figura A.2.7** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-4.  
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz dosis A (10%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-5	1	6880,00	30	51,6	25,0
	2	7346,67	30	55,1	25,0
	3	7160,00	30	53,7	25,0
	4	6200,00	30	46,5	25,0
	5	5533,33	30	41,5	25,0
	6	4893,33	30	36,7	25,0
	7	5466,67	30	41,0	25,0
	8	4853,33	30	36,4	25,0
	9	6226,67	30	46,7	25,0
	10	4173,33	30	31,3	25,0
	11	4466,67	30	33,5	25,0
	12	5253,33	30	39,4	25,0
	13	5240,00	30	39,3	25,0
<b>Promedio</b>		<b>5668,72</b>	<b>30,00</b>	<b>42,52</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.8** Viscosidad barniz dosis A según spindle RV-5.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura A.2.8** Gráfico de viscosidad barniz dosis A RV-5.

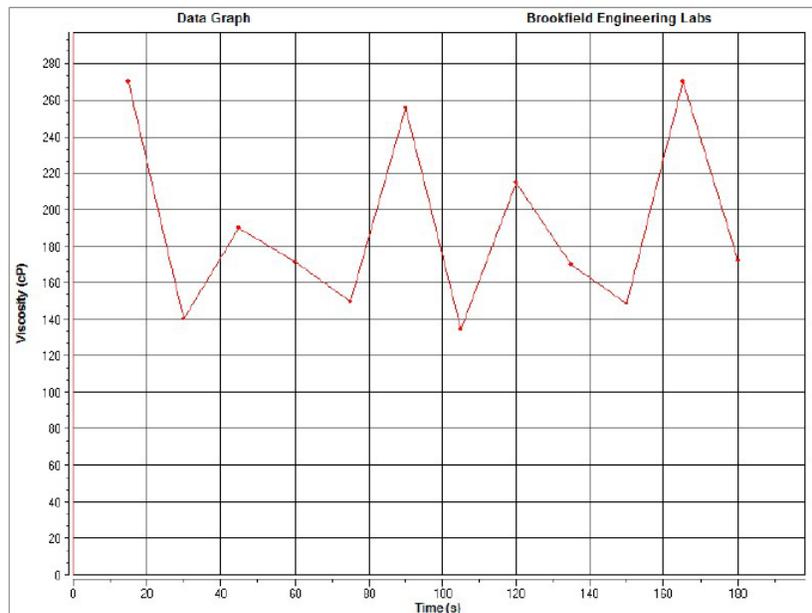
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

✓ Dosis B (30%)

Barniz dosis B (30%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-2	1	270,00	100	67,5	25,0
	2	140,00	100	35,0	25,0
	3	190,00	100	47,5	25,0
	4	171,20	100	42,8	25,0
	5	149,60	100	37,4	25,0
	6	255,60	100	63,9	25,0
	7	134,40	100	33,6	25,0
	8	214,80	100	53,7	25,0
	9	170,00	100	42,5	25,0
	10	148,40	100	37,1	25,0
	11	270,00	100	67,5	25,0
	12	172,00	100	43,0	25,0
	13	172,00	100	43,0	25,0
<b>Promedio</b>		<b>189,08</b>	<b>100,00</b>	<b>47,27</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.9** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



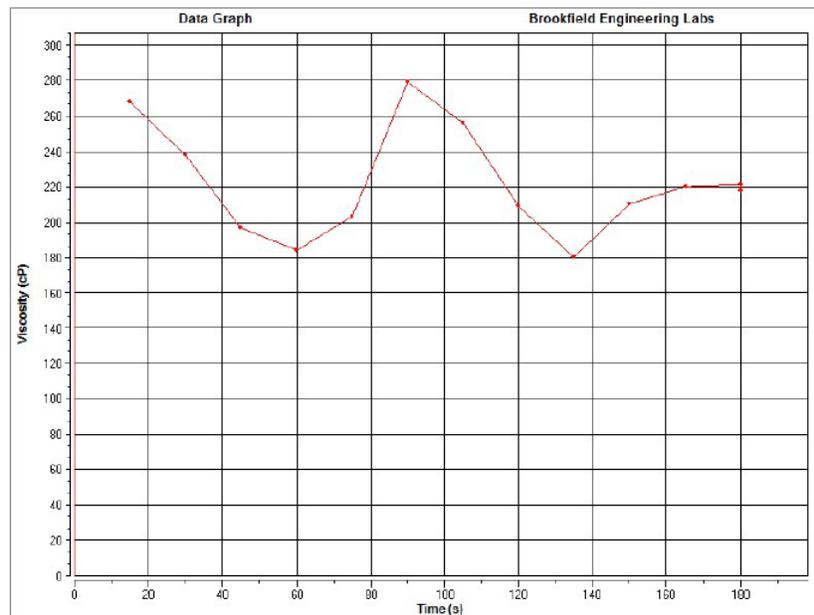
**Figura A.2.9** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz dosis B (30%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-3	1	268,00	100	26,8	25,0
	2	238,00	100	23,8	25,0
	3	197,00	100	19,7	25,0
	4	184,00	100	18,4	25,0
	5	203,00	100	20,3	25,0
	6	279,00	100	27,9	25,0
	7	256,00	100	25,6	25,0
	8	209,00	100	20,9	25,0
	9	180,00	100	18,0	25,0
	10	210,00	100	21,0	25,0
	11	220,00	100	22,0	25,0
	12	221,00	100	22,1	25,0
	13	218,00	100	21,8	25,0
<b>Promedio</b>		<b>221,77</b>	<b>100,00</b>	<b>22,18</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.10** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



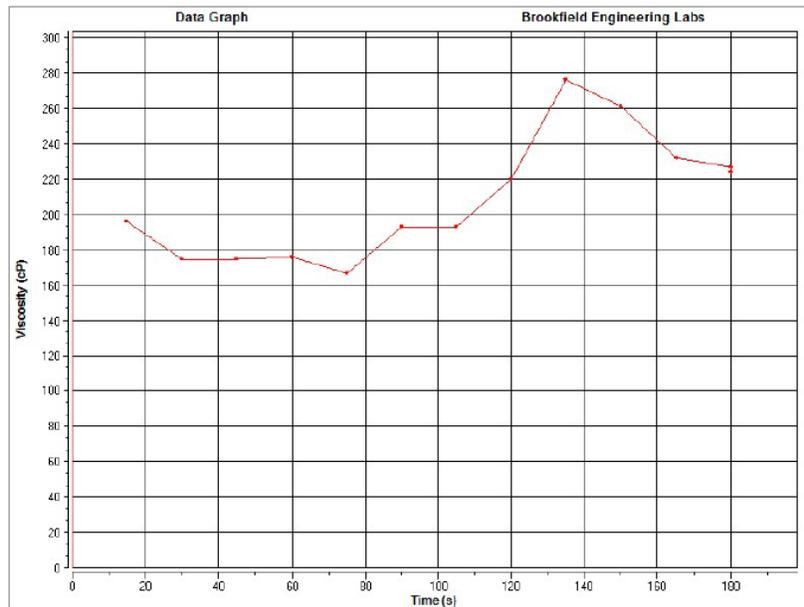
**Figura A.2.10** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-3.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Barniz dosis B (30%)					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-4	1	196,00	150	14,7	25,0
	2	174,67	150	13,1	25,0
	3	174,67	150	13,1	25,0
	4	176,00	150	13,2	25,0
	5	166,67	150	12,5	25,0
	6	193,33	150	14,5	25,0
	7	193,33	150	14,5	25,0
	8	220,00	150	16,5	25,0
	9	276,00	150	20,7	25,0
	10	261,33	150	19,6	25,0
	11	232,00	150	17,4	25,0
	12	226,67	150	17,0	25,0
	13	224,00	150	16,8	25,0
<b>Promedio</b>		<b>208,82</b>	<b>150,00</b>	<b>15,66</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.11** Viscosidad barniz dosis B según spindle RV-4.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura A.2.11** Gráfico de viscosidad barniz dosis B RV-4.

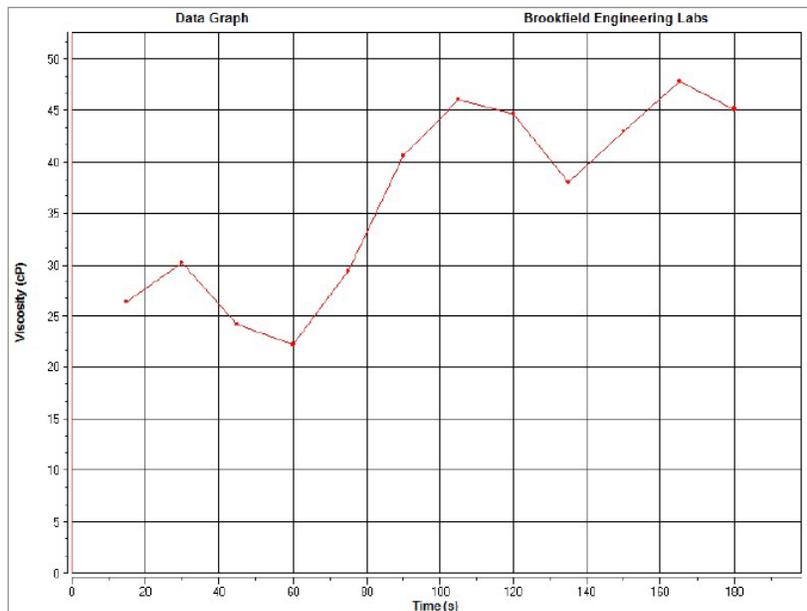
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## ✓ Mucílago de Nopal

Mucílago de Nopal					
Spindle	Punto	Viscosidad (Cp)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Temperatura (°C)
RV-2	1	26,40	200	13,2	25,0
	2	30,20	200	15,1	25,0
	3	24,20	200	12,1	25,0
	4	22,20	200	11,1	25,0
	5	29,40	200	14,7	25,0
	6	40,60	200	20,3	25,0
	7	46,00	200	23,0	25,0
	8	44,60	200	22,3	25,0
	9	38,00	200	19,0	25,0
	10	43,00	200	21,5	25,0
	11	47,80	200	23,9	25,0
	12	45,00	200	22,5	25,0
	13	45,20	200	22,6	25,0
<b>Promedio</b>		<b>37,12</b>	<b>200,00</b>	<b>18,56</b>	<b>25,00</b>

**Tabla A.2.12** Viscosidad mucílago de Nopal según spindle RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.



**Figura A.2.12** Gráfico de viscosidad mucílago de Nopal RV-2.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## Anexo 3

## 3.1 Tiempo de secado

Seco al tacto							
Material	Tiempo (hr:min)	Muestra	Patrón	Dosis A	Dosis B	Temp. (°C)	HR (%)
Metal	1:00	1	x	x	x	24	45
	1:02	2	x	x	x		
	1:02	3	x	x	x		
Madera	1:03	1	x	x	x		
	1:03	2	x	x	x		
	1:04	3	x	x	x		
Metal	1:30	1	x	x	x	26	40
	1:31	2	x	x	x		
	1:31	3	x	x	x		
Madera	1:32	1	x	x	✓		
	1:32	2	x	x	✓		
	1:33	3	x	x	✓		
Metal	2:00	1	x	x	✓	29	38
	2:01	2	x	x	✓		
	2:01	3	x	x	✓		
Madera	2:02	1	x	x	✓		
	2:02	2	x	x	✓		
	2:03	3	x	x	✓		
Metal	2:30	1	x	✓	✓	29	36
	2:31	2	x	✓	✓		
	2:31	3	x	✓	✓		
Madera	2:32	1	✓	✓	✓		
	2:32	2	✓	✓	✓		
	2:33	3	✓	✓	✓		
Metal	3:00	1	✓	✓	✓	29	36
	3:01	2	✓	✓	✓		
	3:01	3	✓	✓	✓		
Madera	3:02	1	✓	✓	✓		
	3:02	2	✓	✓	✓		
	3:03	3	✓	✓	✓		

Tabla A.3.1 Tiempo de secado (seco al tacto).

Fuente: Archivos de elaboración propia.

Seco duro							
Material	Tiempo (hr:min)	Muestra	Patrón	Dosis A	Dosis B	Temp. (°C)	HR (%)
Metal	3:00	1	x	x	x	30	35
	3:01	2	x	x	x		
	3:01	3	x	x	x		
Madera	3:02	1	x	x	x		
	3:02	2	x	x	x		
	3:03	3	x	x	x		
Metal	3:30	1	x	x	x	30	35
	3:31	2	x	x	x		
	3:31	3	x	x	x		
Madera	3:32	1	x	x	x		
	3:32	2	x	x	x		
	3:33	3	x	x	x		
Metal	4:00	1	x	x	x	31	33
	4:01	2	x	x	x		
	4:01	3	x	x	x		
Madera	4:02	1	x	x	✓		
	4:02	2	x	x	✓		
	4:03	3	x	x	✓		
Metal	5:00	1	x	x	✓	32	31
	5:01	2	x	x	✓		
	5:01	3	x	x	✓		
Madera	5:02	1	x	x	✓		
	5:02	2	x	x	✓		
	5:03	3	x	x	✓		
Metal	5:30	1	✓	✓	✓	32	31
	5:31	2	✓	✓	✓		
	5:31	3	✓	✓	✓		
Madera	5:32	1	✓	✓	✓		
	5:32	2	✓	✓	✓		
	5:33	3	✓	✓	✓		

**Tabla A.3.2** Tiempo de secado (seco duro).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Seco total							
Material	Tiempo (hr:min)	Muestra	Patrón	Dosis A	Dosis B	Temp. (°C)	HR (%)
Metal	5:30	1	x	x	x	33	30
	5:31	2	x	x	x		
	5:31	3	x	x	x		
Madera	5:32	1	x	x	x		
	5:32	2	x	x	x		
	5:33	3	x	x	x		
Metal	6:00	1	x	x	x	33	30
	6:01	2	x	x	x		
	6:01	3	x	x	x		
Madera	6:02	1	x	x	x		
	6:02	2	x	x	x		
	6:03	3	x	x	x		
Metal	6:30	1	x	x	x	31	30
	6:31	2	x	x	x		
	6:31	3	x	x	x		
Madera	6:32	1	x	x	x		
	6:32	2	x	x	x		
	6:33	3	x	x	x		
Metal	7:30	1	x	x	x	31	30
	7:31	2	x	x	x		
	7:31	3	x	x	x		
Madera	7:32	1	x	x	✓		
	7:32	2	x	x	✓		
	7:33	3	x	x	✓		
Metal	8:00	1	x	x	✓	28	34
	8:01	2	x	x	✓		
	8:01	3	x	x	✓		
Madera	8:02	1	x	x	✓		
	8:02	2	x	x	✓		
	8:03	3	x	x	✓		
Metal	8:30	1	x	x	✓	28	34
	8:31	2	x	x	✓		
	8:31	3	x	x	✓		
Madera	8:32	1	x	✓	✓		
	8:32	2	x	✓	✓		
	8:33	3	x	✓	✓		

<b>Metal</b>	10:00	1	✓	✓	✓	28	34
	10:01	2	✓	✓	✓		
	10:01	3	✓	✓	✓		
<b>Madera</b>	10:02	1	✓	✓	✓		
	10:02	2	✓	✓	✓		
	10:03	3	✓	✓	✓		

**Tabla A.3.3** Tiempo de secado (seco total).

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## Anexo 4

### 4.1 Espesor de película seca (2 manos)

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor antes del envejecimiento						Promedio espesor a/e (µm)	Espesor después del envejecimiento						Promedio espesor d/e (µm)	Disminución de película (µm)		
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6				
Z111-1	Patrón	0 meses	170	180	180	190	180	180	154	170	180	180	190	180	180	154	0		
Z111-2			160	130	170	170	160	130		160	130	170	170	160	130				
Z111-3			110	160	110	150	130	110		110	160	110	150	130	110				
Z121-1	Dosis A (10%)		0 meses	180	190	160	180	160	150	163	180	190	160	180	160	150	163	0	
Z121-2				180	180	150	190	180	160		180	180	150	190	180	160			
Z121-3				170	170	140	140	140	120		170	170	140	140	140	120			
Z131-1	Dosis B (30%)			0 meses	90	70	80	70	80	70	81	90	70	80	70	80	70	81	0
Z131-2					90	80	80	80	90	80		90	80	80	80	90	80		
Z131-3					80	80	90	90	80	80		80	80	90	90	80	80		

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor antes del envejecimiento						Promedio espesor a/e (µm)	Espesor después del envejecimiento						Promedio espesor d/e (µm)	Disminución de película (µm)		
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6				
Z112-1	Patrón	4 meses	130	150	170	160	130	180	156	120	140	170	160	110	170	143	13		
Z112-2			120	170	170	180	180	180		100	140	160	170	170	160				
Z112-3			110	160	170	140	160	150		100	140	170	110	150	140				
Z122-1	Dosis A (10%)		4 meses	140	160	170	180	160	170	166	130	140	160	160	150	140	154	12	
Z122-2				180	140	160	160	170	180		160	140	150	140	170	170			
Z122-3				180	140	170	170	180	180		160	130	170	170	170	160			
Z132-1	Dosis B (30%)			4 meses	90	80	90	80	80	90	84	80	60	90	70	70	70	72	12
Z132-2					90	100	80	80	90	100		70	80	80	70	80	90		
Z132-3					80	70	100	60	90	70		50	70	80	50	80	60		

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor antes del envejecimiento						Promedio espesor a/e ( $\mu\text{m}$ )	Espesor después del envejecimiento						Promedio espesor d/e ( $\mu\text{m}$ )	Disminución película ( $\mu\text{m}$ )
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		
Z113-1	Patrón	8 meses	180	140	160	140	140	150	144	140	100	150	130	140	120	126	18
Z113-2			160	130	110	160	110	130		140	120	100	140	100	100		
Z113-3			170	160	150	100	160	140		150	130	150	100	130	120		
Z123-1	Dosis A (10%)		150	160	170	180	170	110	161	140	140	160	150	160	90	143	17
Z123-2			140	170	150	180	180	190		130	140	120	160	170	150		
Z123-3			170	160	150	180	120	160		160	140	150	170	120	130		
Z133-1	Dosis B (30%)		70	80	90	80	90	80	79	70	70	70	80	80	70	69	10
Z133-2			70	60	90	70	80	80		60	60	80	60	80	70		
Z133-3			80	60	90	70	90	90		70	40	70	60	70	80		

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor antes del envejecimiento						Promedio espesor a/e ( $\mu\text{m}$ )	Espesor después del envejecimiento						Promedio espesor d/e ( $\mu\text{m}$ )	Disminución película ( $\mu\text{m}$ )
			Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6		
Z114-1	Patrón	12 meses	140	80	150	160	140	110	118	120	80	140	130	100	70	103	16
Z114-2			120	80	80	140	130	100		110	70	70	120	120	80		
Z114-3			130	120	120	110	130	90		120	90	120	110	120	80		
Z124-1	Dosis A (10%)		180	170	150	180	160	170	162	170	140	140	170	160	150	151	12
Z124-2			170	180	180	160	170	160		160	160	180	140	160	150		
Z124-3			160	130	180	130	140	150		140	120	180	110	140	140		
Z134-1	Dosis B (30%)		90	30	60	90	60	70	61	80	30	50	80	60	50	54	7
Z134-2			80	50	40	70	20	50		60	50	30	70	20	40		
Z134-3			80	70	60	80	60	30		80	60	60	70	50	30		

**Tabla A.4.1** Espesor de película seca.  
**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## Anexo 5

## 5.1 Resistencia a la abrasión seca

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )			Promedio espesor	Volumen de arena (lt)			Promedio volumen	Resistencia a la abrasión ( $\text{lt}/\mu\text{m}$ )			Promedio	Promedio resistencia a la abrasión		
			Espesor Area 1	Espesor Area 2	Espesor Area 3		Volumen Area 1	Volumen Area 2	Volumen Area 3		Abrasión Area 1	Abrasión Area 2	Abrasión Area 3				
J111-1	Patrón	0 meses	85	115	65	98	55	50	55	56	0,65	0,43	0,85	0,64	0,65		
J111-2			60	95	90		50	60	58		0,83	0,63	0,64	0,70			
J111-3			55	140	175		60	57	60		1,09	0,41	0,34	0,61			
J121-1	Dosis A (10%)		0 meses	165	160	145	163	60	40	60	54	0,36	0,25	0,41	0,34	0,34	
J121-2				165	170	180		65	50	48		0,39	0,29	0,27	0,32		
J121-3				170	145	165		55	60	50		0,32	0,41	0,30	0,35		
J131-1	Dosis B (30%)			0 meses	90	95	85	90	11	20	16	15	0,12	0,21	0,19	0,17	0,17
J131-2					95	105	90		13	15	10		0,14	0,14	0,11	0,13	
J131-3					100	80	70		12	18	16		0,12	0,23	0,23	0,19	

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )			Promedio espesor	Volumen de arena (lt)			Promedio volumen	Resistencia a la abrasión ( $\text{lt}/\mu\text{m}$ )			Promedio	Promedio resistencia a la abrasión		
			Espesor Area 1	Espesor Area 2	Espesor Area 3		Volumen Area 1	Volumen Area 2	Volumen Area 3		Abrasión Area 1	Abrasión Area 2	Abrasión Area 3				
J112-1	Patrón	4 meses	130	145	135	90	70	75	50	62	0,54	0,52	0,37	0,48	0,83		
J112-2			75	60	35		60	65	70		0,80	1,08	2,00	1,29			
J112-3			80	75	75		55	50	60		0,69	0,67	0,80	0,72			
J122-1	Dosis A (10%)		4 meses	160	150	160	160	62	50	60	58	0,39	0,33	0,38	0,37	0,36	
J122-2				150	145	170		60	60	65		0,40	0,41	0,38	0,40		
J122-3				150	170	185		55	50	60		0,37	0,29	0,32	0,33		
J132-1	Dosis B (30%)			4 meses	85	55	75	63	16	26	20	19	0,19	0,47	0,27	0,31	0,31
J132-2					65	70	65		20	18	15		0,31	0,26	0,23	0,27	
J132-3					60	45	50		15	20	20		0,25	0,44	0,40	0,36	

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )			Promedio espesor	Volumen de arena (lt)			Promedio volumen	Resistencia a la abrasión ( $\text{lt}/\mu\text{m}$ )			Promedio	Promedio resistencia a la abrasión		
			Espesor Area 1	Espesor Area 2	Espesor Area 3		Volumen Area 1	Volumen Area 2	Volumen Area 3		Abrasión Area 1	Abrasión Area 2	Abrasión Area 3				
J113-1	Patrón	8 meses	140	150	105	96	50	65	45	55	0,36	0,43	0,43	0,41	0,70		
J113-2			75	105	105		60	56	48		0,80	0,53	0,46	0,60			
J113-3			85	65	35		55	50	65		0,65	0,77	1,86	1,09			
J123-1	Dosis A (10%)		8 meses	150	165	155	148	110	85	100	101	0,73	0,52	0,65	0,63	0,68	
J123-2				145	145	120		100	110	90		0,69	0,76	0,75	0,73		
J123-3				155	155	140		90	120	100		0,58	0,77	0,71	0,69		
J133-1	Dosis B (30%)			8 meses	60	45	60	61	13	15	31	19	0,22	0,33	0,52	0,36	0,31
J133-2					75	60	70		10	20	16		0,13	0,33	0,23	0,23	
J133-3					60	60	60		20	17	25		0,33	0,28	0,42	0,34	

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )			Promedio espesor	Volumen de arena (lt)			Promedio volumen	Resistencia a la abrasión ( $\text{lt}/\mu\text{m}$ )			Promedio	Promedio resistencia a la abrasión
			Espesor Area 1	Espesor Area 2	Espesor Area 3		Volumen Area 1	Volumen Area 2	Volumen Area 3		Abrasión Area 1	Abrasión Area 2	Abrasión Area 3		
J114-1	Patrón	12 meses	100	85	105	96	60	55	60	60	0,60	0,65	0,57	0,61	0,64
J114-2			115	80	105		50	70	60		0,43	0,87	0,57	0,63	
J114-3			95	85	95		55	70	60		0,58	0,82	0,63	0,68	
J124-1	Dosis A (10%)		125	145	150	136	60	62	80	72	0,48	0,43	0,53	0,48	0,53
J124-2			125	150	135		70	75	60		0,56	0,50	0,44	0,50	
J124-3			110	135	145		78	80	82		0,71	0,59	0,57	0,62	
J134-1	Dosis B (30%)		75	80	70	73	12	22	9	15	0,16	0,28	0,13	0,19	0,21
J134-2			70	65	80		15	18	12		0,21	0,28	0,15	0,21	
J134-3			75	60	80		20	15	16		0,27	0,25	0,20	0,24	

**Tabla A.5.1** Resistencia a la abrasión seca.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## Anexo 6

### 6.1 Adherencia (1 mano: barniz patrón; 2 manos: dosis A y B)

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento			Promedio espesor ( $\mu\text{m}$ )	Grados de adherencia			Promedio grado adherencia	Promedio grados de adherencia
			Area 1	Area 2	Area 3		Area 1	Area 2	Area 3		
K111-1	Patrón	0 meses	130	125	120	125	3	2	3	3	3
K111-2			125	120	130		3	2	2	2	
K111-3			135	120	120		4	2	2	3	
K121-1	Dosis A (10%)		115	125	120	116	3	4	4	4	3
K121-2			120	110	115		2	2	3	2	
K121-3			110	115	115		4	4	4	4	
K131-1	Dosis B (30%)		80	75	75	81	4	5	5	5	4
K131-2			85	80	85		4	4	4	4	
K131-3			80	90	80		4	4	4	4	

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento			Promedio espesor ( $\mu\text{m}$ )	Grados de adherencia			Promedio	Promedio grados de adherencia
			Area 1	Area 2	Area 3		Area 1	Area 2	Area 3		
K112-1	Patrón	4 meses	135	120	125	128	4	3	3	3	
K112-2			140	130	130		3	2	2		
K112-3			120	125	130		3	3	4		
K122-1	Dosis A (10%)		120	115	120	117	4	3	4	3	
K122-2			115	110	110		4	2	4		
K122-3			125	120	120		3	2	4		
K132-1	Dosis B (30%)		70	80	70	72	4	4	4	4	
K132-2			75	75	85		4	5	4		
K132-3			60	65	70		4	4	4		

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento			Promedio espesor ( $\mu\text{m}$ )	Grados de adherencia			Promedio	Promedio grados de adherencia
			Area 1	Area 2	Area 3		Area 1	Area 2	Area 3		
K113-1	Patrón	8 meses	125	140	130	129	3	3	4	3	
K113-2			130	125	100		4	4	4		
K113-3			155	125	135		4	3	4		
K123-1	Dosis A (10%)		115	120	120	118	4	2	2	3	
K123-2			120	120	115		3	3	2		
K123-3			120	120	115		2	2	4		
K133-1	Dosis B (30%)		70	75	75	69	4	4	4	4	
K133-2			60	70	75		4	4	4		
K133-3			55	65	75		5	4	4		

Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Espesor de recubrimiento			Promedio espesor ( $\mu\text{m}$ )	Grados de adherencia			Promedio	Promedio grados de adherencia
			Area 1	Area 2	Area 3		Area 1	Area 2	Area 3		
K114-1	Patrón	12 meses	100	135	85	103	4	2	3	3	
K114-2			90	95	100		4	3	3		
K114-3			105	115	100		2	3	4		

K124-1	Dosis A (10%)	12 meses	110	90	100	107	2	4	4	3	3
K124-2			115	90	140		2	3	2	2	
K124-3			100	105	110		4	2	3	3	
K134-1	Dosis B (30%)		55	65	55	54	4	4	4	4	4
K134-2			55	50	30		4	4	4	4	
K134-3			70	65	40		5	4	4	4	

**Tabla A.6.1** Adherencia.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Clasificación	Descripción	Apariencia de la superficie cuadrículada en la cual se produce un descascarillamiento (ejemplo para seis incisiones paralelas)
0	Los bordes de las incisiones son completamente lisos; ninguno de los cuadrados de la red se ha despegado.	
1	Desprendimiento de pequeñas escamas del revestimiento en las intersecciones de las incisiones que afecta aproximadamente el 5% de la parte cuadrículada.	
2	El revestimiento se ha desprendido en los bordes y/o en las intersecciones de las incisiones y afecta claramente más del 5% hasta aproximadamente el 15% de la parte cuadrículada.	
3	El revestimiento se ha desprendido en parte o totalmente a lo largo del borde de las incisiones, como largas cintas y/o en diversas partes del cuadrículado, y afecta claramente más del 15% hasta aproximadamente el 35% de la parte cuadrículada.	
4	El revestimiento se ha desprendido a lo largo del borde de las incisiones como largas cintas y/o se han desprendido algunos cuadrados parcial o totalmente, y afecta claramente más de 35% hasta aproximadamente el 65% de la parte cuadrículada.	
5	Cualquier grado de descascarillamiento que no pueda ser clasificado según la clasificación 4.	

**Figura A.6.1** Tabla de clasificación de los resultados de los ensayos.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## Anexo 7

## 7.1 Retardo al fuego

## CONTRACHAPADO

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm <sup>3</sup> )	Promedio índice de carbonización (cm <sup>3</sup> )
Y211-1	Patrón	0 meses	62,35	54,26	8,09	7,36	12,8%	7,30	6,00	0,61	26,72	27,67
Y211-2			60,60	53,52	7,08			7,10	6,10	0,72	31,18	
Y211-3			49,47	42,55	6,92			6,40	7,40	0,53	25,10	
Y221-1	Dosis A (10%)		62,09	56,64	5,45	5,54	8,9%	6,60	7,50	0,52	25,74	28,84
Y221-2			63,39	58,31	5,08			7,50	6,10	0,60	27,45	
Y221-3			61,41	55,33	6,08			7,61	6,00	0,73	33,33	
Y231-1	Dosis B (30%)		61,94	54,25	7,69	6,91	11,7%	7,10	7,20	0,57	29,14	29,46
Y231-2			52,63	45,55	7,08			6,50	6,20	0,63	25,39	
Y231-3			62,40	56,45	5,95			7,40	6,10	0,75	33,86	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa con recubrimiento (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (mm)	Ancho máximo de carbonización superficial (mm)	Profundización máxima de carbonización (mm)	Índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )	Promedio índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )
Y212-1	Patrón	4 meses	60,92	52,96	7,96	7,62	13,1%	6,70	6,10	0,60	24,52	27,29
Y212-2			61,74	53,64	8,10			7,00	6,30	0,60	26,46	
Y212-3			51,47	44,68	6,79			7,60	5,42	0,75	30,89	
Y222-1	Dosis A (10%)		60,21	53,36	6,85	6,73	11,1%	9,20	4,95	0,59	26,87	30,84
Y222-2			60,43	54,29	6,14			8,50	6,12	0,63	32,77	
Y222-3			61,09	53,89	7,20			7,90	7,30	0,57	32,87	
Y232-1	Dosis B (30%)		51,36	42,57	8,79	8,32	14,6%	6,90	6,47	0,70	31,25	28,64
Y232-2			55,40	47,11	8,29			8,00	6,41	0,55	28,20	
Y232-3			63,87	55,99	7,88			7,10	5,92	0,63	26,48	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa con recubrimiento (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (mm)	Ancho máximo de carbonización superficial (mm)	Profundización máxima de carbonización (mm)	Índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )	Promedio índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )
Y213-1	Patrón	8 meses	60,24	54,00	6,24	6,13	10,0%	6,90	5,50	0,69	26,19	28,66
Y213-2			61,63	55,42	6,21			8,40	4,35	0,74	27,04	
Y213-3			62,33	56,38	5,95			7,50	6,42	0,68	32,74	
Y223-1	Dosis A (10%)		54,28	46,30	7,98	7,29	13,8%	7,30	5,40	0,72	28,38	27,77
Y223-2			52,66	46,19	6,47			7,71	6,30	0,69	33,52	
Y223-3			51,10	43,69	7,41			7,40	5,26	0,55	21,41	
Y233-1	Dosis B (30%)		56,35	48,64	7,71	7,14	11,6%	8,20	5,36	0,68	29,89	27,06
Y233-2			64,40	58,00	6,40			7,90	6,40	0,63	31,85	
Y233-3			63,92	56,61	7,31			7,30	4,59	0,58	19,43	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa con recubrimiento (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (mm)	Ancho máximo de carbonización superficial (mm)	Profundización máxima de carbonización (mm)	Índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )	Promedio índice de carbonización (mm <sup>3</sup> )
Y214-1	Patrón	12 meses	60,64	54,14	6,50	6,69	10,8%	9,30	6,50	0,70	42,32	31,87
Y214-2			66,98	59,89	7,09			7,90	5,41	0,64	27,35	
Y214-3			58,39	51,91	6,48			7,70	6,36	0,53	25,96	
Y224-1	Dosis A (10%)		58,95	51,72	7,23	7,06	12,0%	6,90	5,46	0,62	23,36	29,22
Y224-2			57,39	50,58	6,81			7,00	6,50	0,65	29,58	
Y224-3			60,13	52,99	7,14			8,00	6,29	0,69	34,72	
Y234-1	Dosis B (30%)		52,37	45,16	7,21	7,24	12,0%	8,80	5,34	0,63	29,60	31,03
Y234-2			64,34	56,78	7,56			7,40	6,42	0,62	29,45	
Y234-3			63,96	57,01	6,95			6,70	7,47	0,68	34,03	

**Tabla A.7.1** Ensayo retardo al fuego en contrachapado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

OSB

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y311-1	Patrón	0 meses	82,16	74,16	8,00	7,75	9,5%	8,90	6,50	0,52	30,08	33,04
Y311-2			85,14	77,25	7,89			7,50	5,45	0,75	30,66	
Y311-3			78,39	71,02	7,37			9,37	6,40	0,64	38,38	
Y321-1	Dosis A (10%)		77,06	66,66	10,40	9,62	12,2%	8,80	5,36	0,86	40,56	43,55
Y321-2			73,29	64,21	9,08			7,80	6,40	0,90	44,93	
Y321-3			85,48	76,11	9,37			8,40	6,11	0,88	45,17	
Y331-1	Dosis B (30%)		84,28	78,44	5,84	7,51	8,9%	9,10	5,43	0,83	41,01	42,85
Y331-2			87,58	78,86	8,72			8,30	5,14	0,90	38,40	
Y331-3			81,18	73,21	7,97			9,14	6,40	0,84	49,14	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y312-1	Patrón	4 meses	85,09	77,44	7,65	7,50	9,2%	8,80	6,40	0,60	33,79	36,34
Y312-2			81,14	73,64	7,50			8,90	5,50	0,79	38,67	
Y312-3			78,38	71,03	7,35			9,00	6,45	0,63	36,57	
Y322-1	Dosis A (10%)		73,29	65,79	7,50	7,64	9,8%	9,36	5,48	0,62	31,80	38,42
Y322-2			84,17	77,00	7,17			8,93	5,38	0,65	31,23	
Y322-3			76,60	68,34	8,26			9,18	7,39	0,77	52,24	
Y332-1	Dosis B (30%)		84,67	77,45	7,22	7,34	8,8%	8,60	6,40	0,80	44,03	40,58
Y332-2			81,82	74,99	6,83			9,00	6,50	0,79	46,22	
Y332-3			83,73	75,77	7,96			8,98	5,48	0,64	31,49	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y313-1	Patrón	8 meses	79,28	71,14	8,14	8,15	10,2%	8,90	6,50	0,68	39,34	38,29
Y313-2			80,50	72,56	7,94			8,40	6,43	0,74	39,97	
Y313-3			79,99	71,61	8,38			8,10	5,49	0,80	35,58	
Y323-1	Dosis A (10%)		80,73	73,13	7,60	7,41	9,3%	9,00	5,89	0,63	33,40	37,84
Y323-2			75,88	68,23	7,65			9,20	6,50	0,83	49,63	
Y323-3			81,31	74,33	6,98			8,90	5,44	0,63	30,50	
Y333-1	Dosis B (30%)		76,88	69,31	7,57	7,53	8,9%	8,70	6,36	0,54	29,88	35,63
Y333-2			88,61	80,92	7,69			9,50	6,47	0,69	42,41	
Y333-3			87,34	80,01	7,33			8,90	5,40	0,72	34,60	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y314-1	Patrón	12 meses	87,23	79,36	7,87	8,03	10,1%	9,60	6,49	0,80	49,84	40,58
Y314-2			78,73	70,65	8,08			8,90	6,50	0,67	38,76	
Y314-3			73,40	65,25	8,15			8,20	5,39	0,75	33,15	
Y324-1	Dosis A (10%)		68,99	59,31	9,68	9,24	12,0%	8,40	7,52	0,60	37,90	42,04
Y324-2			84,57	75,52	9,05			9,30	6,39	0,79	46,95	
Y324-3			76,98	68,00	8,98			8,70	6,50	0,73	41,28	
Y334-1	Dosis B (30%)		83,99	77,40	6,59	6,97	8,2%	8,90	5,45	0,77	37,35	39,78
Y334-2			83,82	76,34	7,48			9,00	6,49	0,61	35,63	
Y334-3			86,82	79,99	6,83			9,80	7,17	0,66	46,38	

**Tabla A.7.2** Ensayo retardo al fuego en OSB.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

## MACHIHEMBRADO

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y411-1	Patrón	0 meses	72,16	64,15	8,01	8,49	11,3%	8,46	6,56	0,63	34,96	32,94
Y411-2			76,92	68,00	8,92			6,89	7,00	0,50	24,12	
Y411-3			76,69	68,16	8,53			8,76	6,13	0,74	39,74	
Y421-1	Dosis A (10%)		75,15	70,22	4,93	6,87	8,8%	7,09	5,93	0,69	29,01	31,85
Y421-2			77,85	71,59	6,26			7,86	6,62	0,58	30,18	
Y421-3			81,73	72,32	9,41			8,20	7,04	0,63	36,37	
Y431-1	Dosis B (30%)		72,17	64,30	7,87	7,14	9,1%	8,07	5,59	0,49	22,10	30,51
Y431-2			79,42	73,24	6,18			9,51	6,19	0,58	34,14	
Y431-3			83,92	76,56	7,36			7,84	6,08	0,74	35,27	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y412-1	Patrón	4 meses	77,74	70,02	7,72	7,66	10,0%	8,40	6,06	0,65	33,09	29,00
Y412-2			76,12	68,09	8,03			8,15	6,42	0,54	28,25	
Y412-3			76,41	69,18	7,23			8,94	5,86	0,49	25,67	
Y422-1	Dosis A (10%)		77,50	70,55	6,95	6,79	8,8%	7,90	7,17	0,74	41,92	33,84
Y422-2			77,18	70,87	6,31			7,87	6,46	0,62	31,52	
Y422-3			76,09	68,99	7,10			8,30	5,64	0,60	28,09	
Y432-1	Dosis B (30%)		76,34	69,06	7,28	7,12	9,3%	9,60	6,96	0,54	36,08	32,46
Y432-2			78,80	71,58	7,22			7,46	5,72	0,71	30,30	
Y432-3			74,86	68,00	6,86			9,05	6,12	0,56	31,02	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y413-1	Patrón	8 meses	77,20	68,16	9,04	8,02	10,2%	8,97	7,23	0,57	36,97	32,16
Y413-2			78,82	71,56	7,26			7,33	6,44	0,63	29,74	
Y413-3			78,99	71,22	7,77			8,23	5,93	0,61	29,77	
Y423-1	Dosis A (10%)		73,45	67,56	5,89	6,73	8,9%	7,92	6,90	0,50	27,32	32,54
Y423-2			79,79	72,92	6,87			8,93	6,03	0,74	39,85	
Y423-3			73,98	66,55	7,43			9,55	5,06	0,63	30,44	
Y433-1	Dosis B (30%)		79,96	72,66	7,30	7,49	9,7%	6,76	5,87	0,60	23,81	30,56
Y433-2			75,24	67,30	7,94			8,40	6,94	0,59	34,39	
Y433-3			77,24	70,00	7,24			7,75	6,00	0,72	33,48	

ENSAYO DE RETARDO AL FUEGO												
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa antes de la combustión (gr)	Masa después de la combustión (gr)	Pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (gr)	Promedio pérdida de masa (%)	Largo máximo de carbonización superficial (cm)	Ancho máximo de carbonización superficial (cm)	Profundización máxima de carbonización (cm)	Índice de carbonización (cm3)	Promedio índice de carbonización (cm3)
Y414-1	Patrón	12 meses	71,25	64,36	6,89	6,78	9,3%	7,68	5,93	0,73	33,25	31,78
Y414-2			70,71	64,33	6,38			8,90	5,70	0,60	30,44	
Y414-3			76,07	68,99	7,08			7,99	7,34	0,54	31,67	
Y424-1	Dosis A (10%)		70,71	64,77	5,94	5,99	7,9%	9,06	6,50	0,62	36,51	36,37
Y424-2			77,89	72,03	5,86			8,55	7,13	0,68	41,45	
Y424-3			78,58	72,40	6,18			7,62	7,30	0,56	31,15	
Y434-1	Dosis B (30%)		76,63	70,28	6,35	6,31	8,4%	7,90	7,94	0,57	35,75	30,19
Y434-2			78,57	72,45	6,12			7,14	6,63	0,61	28,88	
Y434-3			71,38	64,93	6,45			8,65	6,00	0,50	25,95	

**Tabla A.7.3** Ensayo retardo al fuego en machihembrado.

**Fuente:** Archivos de elaboración propia.

Anexo 8

8.1 Absorción de agua e hinchamiento

CONTRACHAPADO																							
ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2-m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X211-1	Patrón	0 meses	64,25	81,57	17,32	9,17	9,18	9,18	9,17	9,18	9,20	9,19	9,20	9,22	9,20	0,03	0,01	0,02	0,05	27%	30%	24,6%	77,5%
X211-2			61,38	78,08	16,70	9,14	9,16	9,15	9,15	9,15	9,24	9,20	9,23	9,23	9,23	0,10	0,04	0,08	0,08	27%	82%		
X211-3			62,13	74,28	12,15	9,13	9,14	9,14	9,13	9,14	9,26	9,23	9,24	9,25	9,25	0,13	0,09	0,10	0,12	20%	120%		
X221-1	Dosis A (10%)	0 meses	53,24	53,71	0,47	9,18	9,19	9,17	9,18	9,18	9,18	9,20	9,23	9,21	9,21	0,00	0,01	0,06	0,03	1%	27%	12,1%	39,6%
X221-2			48,79	55,36	6,57	9,18	9,18	9,17	9,17	9,18	9,20	9,19	9,18	9,21	9,20	0,02	0,01	0,01	0,04	13%	22%		
X221-3			48,25	53,42	5,17	9,17	9,14	9,13	9,13	9,14	9,20	9,19	9,21	9,18	9,20	0,03	0,05	0,08	0,05	11%	57%		
X231-1	Dosis B (30%)	0 meses	48,51	51,78	3,27	9,07	9,07	9,08	9,08	9,08	9,18	9,15	9,16	9,16	9,16	0,11	0,08	0,08	0,08	7%	96%	26,8%	82,6%
X231-2			47,17	58,99	11,82	9,08	9,09	9,08	9,07	9,08	9,15	9,17	9,16	9,17	9,16	0,07	0,08	0,08	0,10	25%	91%		
X231-3			51,26	65,92	14,66	9,07	9,08	9,08	9,09	9,08	9,14	9,15	9,15	9,15	9,15	0,07	0,07	0,07	0,06	29%	74%		
ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2-m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X212-1	Patrón	4 meses	64,78	66,14	1,36	9,13	9,16	9,15	9,14	9,15	9,14	9,17	9,18	9,17	9,17	0,01	0,01	0,03	0,03	2%	22%	3,7%	36,5%
X212-2			62,43	64,45	2,02	9,13	9,14	9,16	9,16	9,15	9,18	9,17	9,18	9,19	9,18	0,05	0,03	0,02	0,03	3%	36%		
X212-3			60,33	63,89	3,56	9,13	9,14	9,14	9,15	9,14	9,20	9,18	9,19	9,18	9,19	0,07	0,04	0,05	0,03	6%	52%		
X222-1	Dosis A (10%)	4 meses	52,85	53,50	0,65	9,14	9,16	9,15	9,15	9,15	9,23	9,22	9,19	9,20	9,21	0,09	0,06	0,04	0,05	1%	66%	8,4%	53,2%
X222-2			46,07	51,96	5,89	9,15	9,15	9,17	9,15	9,16	9,21	9,19	9,18	9,22	9,20	0,06	0,04	0,01	0,07	13%	49%		
X222-3			51,47	53,55	2,08	9,15	9,17	9,16	9,16	9,16	9,23	9,22	9,18	9,22	9,21	0,08	0,05	0,02	0,06	4%	57%		
X232-1	Dosis B (30%)	4 meses	50,68	54,81	4,13	9,08	9,07	9,07	9,07	9,07	9,15	9,16	9,18	9,18	9,17	0,07	0,09	0,11	0,11	8%	105%	7,7%	115,8%
X232-2			50,26	62,00	11,74	9,08	9,07	9,08	9,07	9,08	9,17	9,16	9,16	9,19	9,17	0,09	0,09	0,08	0,12	23%	105%		
X232-3			51,00	54,66	3,66	9,06	9,07	9,07	9,06	9,07	9,19	9,18	9,16	9,19	9,18	0,13	0,11	0,09	0,13	7%	127%		
ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2-m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X213-1	Patrón	8 meses	61,55	69,52	7,97	9,12	9,13	9,13	9,12	9,13	9,19	9,35	9,30	9,26	9,28	0,07	0,22	0,17	0,14	13%	164%	11,0%	152,0%
X213-2			63,23	79,84	16,61	9,13	9,13	9,10	9,12	9,12	9,21	9,30	9,18	9,25	9,24	0,08	0,17	0,08	0,13	26%	126%		
X213-3			63,13	68,89	5,76	9,15	9,13	9,13	9,14	9,14	9,30	9,25	9,32	9,19	9,27	0,15	0,12	0,19	0,05	9%	140%		
X223-1	Dosis A (10%)	8 meses	54,72	55,04	0,32	9,13	9,15	9,13	9,13	9,14	9,22	9,18	9,20	9,20	9,20	0,09	0,03	0,07	0,07	1%	71%	14,0%	60,2%
X223-2			49,71	58,46	8,75	9,14	9,14	9,15	9,14	9,14	9,21	9,19	9,18	9,18	9,19	0,07	0,05	0,03	0,04	18%	52%		
X223-3			51,57	56,98	5,41	9,15	9,14	9,13	9,13	9,14	9,22	9,19	9,18	9,21	9,20	0,07	0,05	0,05	0,08	10%	68%		
X233-1	Dosis B (30%)	8 meses	48,36	51,50	3,14	9,07	9,08	9,07	9,06	9,07	9,19	9,18	9,17	9,16	9,18	0,12	0,10	0,10	0,10	6%	116%	8,9%	123,2%
X233-2			54,22	60,01	5,79	9,06	9,08	9,07	9,07	9,07	9,18	9,17	9,19	9,18	9,18	0,12	0,09	0,10	0,12	11%	119%		
X233-3			50,05	54,77	4,72	9,05	9,06	9,05	9,05	9,05	9,17	9,19	9,16	9,18	9,18	0,12	0,13	0,11	0,13	9%	135%		
ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2-m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X214-1	Patrón	12 meses	61,01	65,64	4,63	9,10	9,13	9,12	9,12	9,12	9,24	9,20	9,20	9,23	9,22	0,14	0,07	0,08	0,11	8%	110%	6,2%	125,4%
X214-2			70,00	72,40	2,40	9,09	9,09	9,10	9,10	9,10	9,20	9,22	9,19	9,24	9,21	0,11	0,13	0,09	0,14	3%	129%		
X214-3			69,62	74,82	5,20	9,10	9,11	9,10	9,11	9,11	9,25	9,23	9,23	9,21	9,23	0,15	0,12	0,13	0,10	7%	137%		
X224-1	Dosis A (10%)	12 meses	48,99	52,73	3,74	9,13	9,14	9,14	9,13	9,14	9,23	9,19	9,21	9,19	9,21	0,10	0,05	0,07	0,06	8%	77%	6,4%	68,4%
X224-2			51,29	55,72	4,43	9,12	9,13	9,14	9,15	9,14	9,19	9,18	9,20	9,21	9,20	0,07	0,05	0,06	0,06	9%	66%		
X224-3			55,45	57,08	1,63	9,14	9,15	9,14	9,15	9,15	9,22	9,20	9,20	9,19	9,20	0,08	0,05	0,06	0,04	3%	63%		
X234-1	Dosis B (30%)	12 meses	47,12	52,43	5,31	9,05	9,06	9,06	9,05	9,06	9,19	9,17	9,18	9,16	9,18	0,14	0,11	0,12	0,11	11%	133%	11,4%	142,7%
X234-2			49,98	56,04	6,06	9,05	9,04	9,04	9,06	9,05	9,17	9,19	9,18	9,18	9,18	0,12	0,15	0,14	0,12	12%	146%		
X234-3			46,06	51,08	5,02	9,05	9,06	9,05	9,05	9,05	9,19	9,20	9,18	9,18	9,19	0,14	0,14	0,13	0,13	11%	149%		

Tabla A.8.1 Absorción e hinchamiento en contrachapado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

OSB
-----

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)					Espesor después del ensayo (mm)					Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2	h-3	h-4				
X311-1	Patrón	0 meses	83,70	86,46	2,76	9,68	9,68	9,67	9,67	9,68	10,02	10,18	9,90	10,02	10,03	0,34	0,50	0,23	0,35	3%	4%	6,7%	5,8%
X311-2			78,97	84,42	5,45	9,65	9,66	9,66	9,64	9,65	10,19	10,20	10,57	10,19	10,29	0,54	0,54	0,91	0,55	7%	7%		
X311-3			73,38	80,70	7,32	9,64	9,64	9,64	9,63	9,64	10,18	10,61	10,43	10,12	10,34	0,54	0,97	0,79	0,49	10%	7%		
X321-1	Dosis A (10%)	0 meses	85,58	88,54	2,96	9,69	9,68	9,67	9,68	9,68	10,25	10,32	10,27	10,52	10,34	0,56	0,64	0,60	0,84	3%	7%	24,0%	10,5%
X321-2			75,78	92,75	16,97	9,69	9,66	9,67	9,67	9,67	10,61	10,77	10,67	10,81	10,72	0,92	1,11	1,00	1,14	22%	11%		
X321-3			75,29	94,57	19,28	9,67	9,66	9,64	9,64	9,65	10,56	10,59	10,71	10,68	10,64	0,89	0,93	1,07	1,04	26%	10%		
X331-1	Dosis B (30%)	0 meses	80,10	88,48	8,38	9,56	9,57	9,57	9,58	9,57	10,41	10,42	10,24	9,98	10,26	0,85	0,85	0,67	0,40	10%	7%	25,8%	7,4%
X331-2			74,12	93,32	19,20	9,58	9,57	9,58	9,58	9,58	10,34	10,29	10,31	10,36	10,33	0,76	0,72	0,73	0,78	26%	8%		
X331-3			76,07	95,56	19,49	9,56	9,57	9,57	9,59	9,57	10,27	10,23	10,20	10,28	10,25	0,71	0,66	0,63	0,69	26%	7%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)					Espesor después del ensayo (mm)					Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2	h-3	h-4				
X312-1	Patrón	4 meses	80,01	86,14	6,13	9,64	9,65	9,65	9,66	9,65	9,89	9,86	9,93	10,48	10,04	0,25	0,21	0,28	0,82	8%	4%	7,8%	6,1%
X312-2			78,85	85,93	7,08	9,64	9,64	9,66	9,66	9,65	10,36	10,24	10,68	10,39	10,42	0,72	0,60	1,02	0,73	9%	8%		
X312-3			75,94	81,03	5,09	9,65	9,66	9,64	9,65	9,65	10,32	10,25	10,18	10,34	10,27	0,67	0,59	0,54	0,69	7%	6%		
X322-1	Dosis A (10%)	4 meses	73,59	81,38	7,79	9,63	9,65	9,66	9,65	9,65	10,15	10,19	10,67	10,91	10,48	0,52	0,54	1,01	1,26	11%	9%	9,0%	8,3%
X322-2			73,26	88,93	15,67	9,66	9,66	9,67	9,66	9,66	10,71	10,25	10,42	10,53	10,48	1,05	0,59	0,75	0,87	21%	8%		
X322-3			73,47	78,99	5,52	9,64	9,66	9,66	9,67	9,66	10,55	10,38	10,41	10,39	10,43	0,91	0,72	0,75	0,72	8%	8%		
X332-1	Dosis B (30%)	4 meses	83,30	94,02	10,72	9,57	9,56	9,56	9,58	9,57	10,93	11,78	10,82	10,79	11,08	1,36	2,22	1,26	1,21	13%	16%	15,4%	14,1%
X332-2			76,99	95,46	18,47	9,58	9,58	9,57	9,57	9,58	10,81	10,72	10,92	10,83	10,82	1,23	1,14	1,35	1,26	24%	13%		
X332-3			78,74	86,03	7,29	9,56	9,56	9,57	9,56	9,56	10,88	10,93	10,79	10,83	10,86	1,32	1,37	1,22	1,27	9%	14%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)					Espesor después del ensayo (mm)					Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2	h-3	h-4				
X313-1	Patrón	8 meses	78,91	84,03	5,12	9,63	9,64	9,63	9,62	9,63	10,24	10,29	9,89	9,97	10,10	0,61	0,65	0,26	0,35	6%	5%	5,7%	15,9%
X313-2			69,75	74,33	4,58	9,64	9,62	0,60	9,62	7,37	10,20	10,04	10,38	10,21	10,21	0,56	0,42	9,78	0,59	7%	39%		
X313-3			76,91	80,09	3,18	9,65	9,64	9,63	9,64	9,64	10,15	9,81	10,05	10,18	10,05	0,50	0,17	0,42	0,54	4%	4%		
X323-1	Dosis A (10%)	8 meses	76,57	82,09	5,52	9,64	9,65	9,64	9,63	9,64	10,72	10,02	10,04	10,70	10,37	1,08	0,37	0,40	1,07	7%	8%	6,8%	8,6%
X323-2			75,03	81,03	6,00	9,63	9,65	9,65	9,63	9,64	10,31	10,51	10,69	10,48	10,50	0,68	0,86	1,04	0,85	8%	9%		
X323-3			83,88	88,34	4,46	9,64	9,65	9,64	9,64	9,64	10,55	10,39	10,62	10,57	10,53	0,91	0,74	0,98	0,93	5%	9%		
X333-1	Dosis B (30%)	8 meses	86,47	94,14	7,67	9,56	9,57	9,56	9,56	9,56	10,30	10,45	10,50	10,52	10,44	0,74	0,88	0,94	0,96	9%	9%	8,0%	9,5%
X333-2			78,42	86,37	7,95	9,57	9,58	9,56	9,57	9,57	10,48	10,32	10,48	10,46	10,44	0,91	0,74	0,92	0,89	10%	9%		
X333-3			85,86	90,06	4,20	9,56	9,55	9,55	9,56	9,56	10,50	10,48	10,61	10,52	10,53	0,94	0,93	1,06	0,96	5%	10%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)					Espesor después del ensayo (mm)					Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2	h-3	h-4				
X314-1	Patrón	12 meses	84,21	89,77	5,56	9,61	9,62	9,62	9,62	9,62	10,32	10,48	10,15	10,26	10,30	0,71	0,86	0,53	0,64	7%	7%	7,4%	7,7%
X314-2			79,99	85,20	5,21	9,60	9,58	9,59	9,60	9,59	10,28	10,27	10,02	10,92	10,37	0,68	0,69	0,43	1,32	7%	8%		
X314-3			78,36	85,37	7,01	9,59	9,61	9,61	9,61	9,61	10,45	10,19	10,59	10,16	10,35	0,86	0,58	0,98	0,55	9%	8%		
X324-1	Dosis A (10%)	12 meses	85,43	90,95	5,52	9,64	9,64	9,63	9,63	9,64	10,48	10,66	10,45	10,51	10,53	0,84	1,02	0,82	0,88	6%	9%	6,8%	9,4%
X324-2			77,70	77,23	4,53	9,63	9,64	9,65	9,65	9,64	10,53	10,49	10,54	10,68	10,56	0,90	0,85	0,89	1,03	6%	10%		
X324-3			72,70	83,71	6,01	9,63	9,65	9,65	9,65	9,65	10,65	10,48	10,51	10,56	10,55	1,02	0,83	0,86	0,91	8%	9%		
X334-1	Dosis B (30%)	12 meses	78,57	84,18	5,61	9,56	9,57	9,55	9,56	9,56	10,45	10,57	10,49	10,43	10,49	0,89	1,00	0,94	0,87	7%	10%	7,9%	10,3%
X334-2			74,05	80,93	6,88	9,55	9,54	9,54	9,56	9,55	10,61	10,52	10,59	10,45	10,54	1,06	0,98	1,05	0,89	9%	10%		
X334-3			80,34	86,25	5,91	9,56	9,57	9,56	9,55	9,56	10,62	10,59	10,53	10,65	10,60	1,06	1,02	0,97	1,10	7%	11%		

Tabla A.8.2 Absorción e hinchamiento en OSB.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

MACHIHEBRADO

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X411-1	Patrón	0 meses	72,03	78,35	6,32	13,76	13,78	13,76	13,76	13,77	14,41	14,36	14,28	14,48	14,38	0,65	0,58	0,52	0,72	9%	4%	9,4%	4,5%
X411-2			71,24	78,78	7,54	13,74	13,75	13,75	13,75	13,75	14,36	14,28	14,40	14,31	14,34	0,62	0,53	0,65	0,56	11%	4%		
X411-3			74,99	81,63	6,64	13,76	13,75	13,75	13,74	13,75	14,39	14,45	14,41	14,29	14,39	0,63	0,70	0,66	0,55	9%	5%		
X421-1	Dosis A (10%)	0 meses	86,53	89,62	3,09	13,78	13,78	13,79	13,78	13,78	14,22	14,33	14,26	14,28	14,27	0,44	0,55	0,47	0,50	4%	4%	14,6%	3,9%
X421-2			76,77	88,89	12,12	13,76	13,77	13,77	13,78	13,77	14,28	14,35	14,29	14,31	14,31	0,52	0,58	0,52	0,53	16%	4%		
X421-3			74,80	84,82	10,02	13,78	13,75	13,74	13,75	13,76	14,36	14,29	14,25	14,30	14,30	0,58	0,54	0,51	0,55	13%	4%		
X431-1	Dosis B (30%)	0 meses	74,96	80,05	5,09	13,67	13,67	13,68	13,68	13,68	14,24	14,30	14,34	14,29	14,29	0,57	0,63	0,66	0,61	7%	5%	11,8%	4,4%
X431-2			81,55	91,34	9,79	13,69	13,69	13,68	13,68	13,69	14,27	14,21	14,30	14,25	14,26	0,58	0,52	0,62	0,57	12%	4%		
X431-3			75,14	87,58	12,44	13,68	13,68	13,67	13,68	13,68	14,29	14,32	14,34	14,28	14,31	0,61	0,64	0,66	0,61	17%	5%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X412-1	Patrón	4 meses	74,42	80,32	5,90	13,75	13,74	13,73	13,74	13,74	14,35	14,32	14,50	14,42	14,40	0,60	0,58	0,77	0,68	8%	5%	7,6%	4,8%
X412-2			71,61	76,31	4,70	13,75	13,74	13,75	13,73	13,74	14,39	14,46	14,47	14,32	14,41	0,64	0,72	0,72	0,59	7%	5%		
X412-3			68,42	74,02	5,60	13,74	13,75	13,75	13,73	13,74	14,40	14,32	14,49	14,44	14,41	0,66	0,57	0,74	0,71	8%	5%		
X422-1	Dosis A (10%)	4 meses	90,76	91,67	0,91	13,73	13,74	13,74	13,73	13,74	14,24	14,32	14,29	14,23	14,27	0,51	0,58	0,55	0,50	1%	4%	2,4%	3,9%
X422-2			74,25	85,26	11,01	13,76	13,76	13,77	13,75	13,76	14,27	14,29	14,34	14,31	14,30	0,51	0,53	0,57	0,56	15%	4%		
X422-3			83,14	86,32	3,18	13,76	13,78	13,76	13,75	13,76	14,29	14,34	14,36	14,26	14,31	0,53	0,56	0,60	0,51	4%	4%		
X432-1	Dosis B (30%)	4 meses	70,75	74,98	4,23	13,66	13,68	13,67	13,68	13,67	14,32	14,24	14,27	14,25	14,27	0,66	0,56	0,60	0,57	6%	4%	9,5%	4,5%
X432-2			71,53	83,23	11,70	13,66	13,67	13,68	13,67	13,67	14,33	14,29	14,23	14,31	14,29	0,67	0,62	0,55	0,64	16%	5%		
X432-3			69,95	74,22	4,27	13,68	13,68	13,67	13,66	13,67	14,24	14,35	14,30	14,27	14,29	0,56	0,67	0,63	0,61	6%	5%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X413-1	Patrón	8 meses	78,57	79,77	1,20	13,74	13,73	13,73	13,75	13,74	14,51	14,40	14,58	14,43	14,48	0,77	0,67	0,85	0,68	2%	5%	6,3%	5,6%
X413-2			73,47	82,06	8,59	13,75	13,70	13,70	13,71	13,72	14,48	14,55	14,57	14,41	14,50	0,73	0,85	0,87	0,70	12%	6%		
X413-3			79,69	84,32	4,63	13,74	13,75	13,75	13,74	13,75	14,42	14,49	14,59	14,52	14,51	0,68	0,74	0,84	0,78	6%	6%		
X423-1	Dosis A (10%)	8 meses	74,94	76,02	1,08	13,75	13,74	13,73	13,74	13,74	14,15	14,31	14,22	14,25	14,23	0,40	0,57	0,49	0,51	1%	4%	2,0%	3,7%
X423-2			70,49	83,65	13,16	13,74	13,74	13,75	13,72	13,74	14,20	14,26	14,21	14,28	14,24	0,46	0,52	0,46	0,56	19%	4%		
X423-3			78,72	80,66	1,94	13,72	13,74	13,73	13,74	13,73	14,19	14,22	14,29	14,32	14,26	0,47	0,48	0,56	0,58	2%	4%		
X433-1	Dosis B (30%)	8 meses	68,96	72,82	3,86	13,64	13,66	13,65	13,66	13,65	14,32	14,34	14,27	14,28	14,30	0,68	0,68	0,62	0,62	6%	5%	4,0%	4,7%
X433-2			66,64	67,21	0,57	13,66	13,67	13,67	13,68	13,67	14,31	14,29	14,26	14,33	14,30	0,65	0,62	0,59	0,65	1%	5%		
X433-3			70,10	73,98	3,88	13,66	13,67	13,67	13,65	13,66	14,36	14,31	14,34	14,25	14,32	0,70	0,64	0,67	0,60	6%	5%		

ENSAYO DE ABSORCION E HINCHAMIENTO																							
Muestra	Tipo de mezcla	Envejecimiento	Masa gr (m1)	Masa gr (m2)	Absorción gr (m2- m1)	Espesor antes del ensayo (mm)				Espesor después del ensayo (mm)				Hinchamiento (mm)				Absorción (%)	Hinchamiento (%)	Promedio absorción (%)	Promedio hinchamiento (%)		
						e1-1	e1-2	e1-3	e1-4	e1 promedio	e2-1	e2-2	e2-3	e2-4	e2 promedio	h-1	h-2					h-3	h-4
X414-1	Patrón	12 meses	72,23	75,20	2,97	13,70	13,74	13,74	13,73	13,73	14,46	14,58	14,37	14,54	14,49	0,76	0,84	0,63	0,81	4%	6%	3,6%	5,7%
X414-2			78,99	81,04	2,05	13,70	13,71	13,72	13,70	13,71	14,57	14,49	14,48	14,51	14,51	0,87	0,78	0,76	0,81	3%	6%		
X414-3			79,03	82,26	3,23	13,72	13,71	13,70	13,70	13,71	14,47	14,48	14,51	14,56	14,51	0,75	0,77	0,81	0,86	4%	6%		
X424-1	Dosis A (10%)	12 meses	85,34	88,90	3,56	13,75	13,73	13,74	13,73	13,74	14,31	14,45	14,29	14,38	14,36	0,56	0,72	0,55	0,65	4%	5%	4,0%	4,4%
X424-2			92,11	97,38	5,27	13,73	13,72	13,72	13,74	13,73	14,39	14,24	14,34	14,27	14,31	0,66	0,52	0,62	0,53	6%	4%		
X424-3			89,77	91,62	1,85	13,75	13,74	13,73	13,73	13,74	14,28	14,37	14,40	14,32	14,34	0,53	0,63	0,67	0,59	2%	4%		
X434-1	Dosis B (30%)	12 meses	68,38	74,20	5,82	13,66	13,68	13,68	13,66	13,67	14,36	14,30	14,29	14,33	14,32	0,70	0,62	0,61	0,67	9%	5%	7,8%	4,7%
X434-2			67,69	70,66	2,97	13,66	13,67	13,67	13,65	13,66	14,32	14,34	14,27	14,29	14,31	0,66	0,67	0,60	0,64	4%	5%		
X434-3			77,61	85,79	8,18	13,65	13,68	13,65	13,66	13,66	14,29	14,26	14,32	14,34	14,30	0,64	0,58	0,67	0,68	11%	5%		

**Tabla A.8.3** Absorción e hinchamiento en machihembrado.

Fuente: Archivos de elaboración propia.

