



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto del lijado sobre madera de
Pinus radiata D. Don en los niveles de consumo de
barnices.**

Patrocinante: Sr. Aldo Rolleri Saavedra.

Trabajo de Titulación presentado como
parte de los requisitos para optar al Título
de **Ingeniero en Maderas.**

TAMARA ELIZABETH NAVARRO CARRASCO

VALDIVIA
2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Aldo Rolleri S.	<u>6.2</u>
Informante:	Sr. Hernán Poblete W.	<u>6.1</u>
Informante:	Sr. Francisco García.	<u>6.4</u>

El Profesor Guía acredita que la presente Tesis de grado cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

SR. ALDO E. ROLLERI SAAVEDRA

AGRADECIMIENTOS

*Porque Jehová da la sabiduría, Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.
(Proverbios 2: 6)*

Primeramente doy gracias a Dios, por darme la vida, guiar e iluminar mi camino, y sobre todo por darme la oportunidad de disfrutar mis logros cerca de mis seres amados. Por que sin su ayuda no lo habría logrado.

A mis padres y hermanos, como una muestra de gratitud, por su apoyo incondicional, por su amor y como reconocimiento por los sacrificios que hicieron para ver lograda esta etapa en mi vida.

A mi profesor patrocinante Sr. Aldo Rolleri, que además de profesor guía fue un amigo que me ayudó en esta última etapa como estudiante, por sus valiosas contribuciones en este trabajo.

Y a todos quienes me acompañaron, me ayudaron y que sin duda son parte, de una u otra forma, de este logro.

A mis padres y hermanos.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Hipótesis.	3
2.	MARCO TEÓRICO	4
2.1	Aspectos fundamentales	4
2.2	Maquinado: Lijado en material madera	6
2.3	Caracterización de superficies en productos base madera	8
2.3.1	Rugosidad	8
2.4	Interacción Sustrato - Tratamientos para superficies de madera	10
2.4.1	Aplicación y control de tratamientos superficiales.	13
3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	15
3.1	Materiales	15
3.1.1	Madera	15
3.1.2	Tratamientos superficiales	15
3.1.3	Equipos de laboratorio	15
3.2	Método	16
3.2.1	Densidad	16
3.2.2	Contenido de sólidos	18
3.2.3	Viscosidad	18
3.2.4	Pot life	18
3.2.5	Aplicación de los diferentes tratamientos superficiales y control de propiedades de apariencia.	19
3.2.6	Análisis Estadístico.	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1	Rugosidad del sustrato	23
4.2	Características físicas de los tratamientos superficiales	24
4.3	Interacción del sustrato con los tratamientos superficiales	27

4.4	Efecto de la rugosidad en la propiedad de apariencia (brillo)	31
4,5	Efecto de la rugosidad en la adherencia de los tratamientos superficiales	32
4.6	Análisis Estadístico	32
5.	CONCLUSIONES	35
6.	BIBLIOGRAFÍA	36
	ANEXO	38
1.	Abstract	39
2.	Términos Generales	41
3.	Características Físicas de los Tratamientos Superficiales	44
4.	Características Del Sustrato	47
5.	Valores de Brillo en los Tratamientos Superficiales Usados.	52
6.	Espesores Secos	55
7.	Análisis Estadístico ANOVA	59
8.	Relaciones entre Propiedades.	65
9.	Imágenes	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Supuesto del comportamiento de los tratamientos superficiales en madera con distintos trenes de lijado, respecto a la absorción y al espesor seco que se obtienen al aumentar un grano de lija.	3
Figura 2	Materiales líquidos que se emplean para el mejoramiento de superficies de madera.	5
Figura 3	Subsistemas que conforman un sistema de tratamiento superficial	6
Figura 4	Elementos básicos que conforman una lija.	7
Figura 5	Secuencia de granos de lija utilizados para terminaciones en madera.	8
Figura 6	Rugosidad promedio (Ra) en función de la altura de un rectángulo con un largo Lm.	9
Figura 7	Medidor de adherencia Erichsen (modelo 295), herramienta de corte múltiple.	22
Figura 8	Rugosidades obtenidas en los sustratos con diferentes trenes de lijado.	23
Figura 9	Resultado de las densidades de cada tratamiento superficial.	24
Figura 10	Resultado de los contenidos de sólidos de los tratamientos superficiales analizados.	25
Figura 11	Viscosidad final de los tratamientos superficiales utilizados	26
Figura 12	Pot life o vida útil obtenida por cada tratamiento superficial analizado.	27
Figura 13	Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de <i>Pinus radiata</i> D. Don versus los espesores obtenidos con el	28

producto Sellolac Mate 15.

Figura 14	Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de <i>Pinus radiata</i> <i>D. Don</i> versus los espesores obtenidos con el producto Fondipol Model	28
Figura 15	Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de <i>Pinus radiata</i> <i>D. Don</i> versus los espesores obtenidos con el producto Lacapol Clasic Mate 15.	29
Figura 16	Espesores obtenidos con distintos trenes de lijado	30
Figura 17	Efecto del brillo de los diferentes tratamientos superficiales en la madera con distintos trenes de lijado.	31

ÍNDICE DE CUADROS

cuadro 1	Lijas utilizadas en madera.	7
Cuadro 2	Lista de algunos de los tratamientos superficiales transparentes más comunes, y un breve listado de sus usos, características, ventajas y desventajas.	11
Cuadro 3	Tabla de densidad absoluta del agua.	17
cuadro 4	Características de clasificación de adherencia según el desprendimiento, ensayo de corte transversal.	21
Cuadro 5	Puntuación de adherencia según norma UNE obtenida en sustratos de madera con distintos trenes le lijado y con diferentes productos.	32
Cuadro 6	Cuadro resumen de propiedades	33

RESUMEN EJECUTIVO

A partir de la inquietud de una industria del sector Mueble por formular nuevas estrategias para enfrentar la competencia, surge la idea de realizar un estudio metodológico con el fin de conocer el comportamiento de un sistema de tratamiento superficial para madera de *Pinus radiata* D. Don.

Con este fin, se planteó la hipótesis de que en general el consumo de los productos utilizados en los tratamientos superficiales ésta directamente relacionada con los trenes de lijado que se utilizan para preparar el sustrato. A través de este supuesto vemos que para alcanzar un espesor crítico aproximado donde aspectos de apariencia y durabilidad queden resueltos no sería necesario aplicar un alto consumo de material.

Para comprobar dicha hipótesis inicialmente se realizó una caracterización (rugosidad) de los sustratos con distintos trenes de lijado. Posterior a la aplicación de los tratamientos superficiales sobre dichos sustratos se realizó la medición de los espesores secos con lo cual se determino el consumo. Se evaluaron propiedades como el brillo y la adherencia, relacionando estas propiedades con los niveles de consumo. Una vez obtenidos los datos se realiza un análisis estadístico que confirma la hipótesis planteada.

Palabras claves: *Pinus radiata* D. Don, lijado, rugosidad, consumo.

1. INTRODUCCIÓN

De un tiempo hasta esta parte la industria de la madera ha comenzado a tomar un rol cada vez más importante dentro de la economía nacional, si se considera por ejemplo que tan sólo para la elaboración de muebles se da empleo a una gran cantidad de personas. Es por esto y conciente de la importancia de este sector en la economía de nuestro país, INFOR, CONAF y ASIMAD firmaron (2003) un Convenio de Impulso a la “Agenda Procrecimiento de la Industria del Valor Agregado de la Madera”. Tras la firma del convenio se destacó lo fundamental que es para convertir a este sector en un organismo más competitivo, trabajar directamente los temas que implican productos de alto valor agregado para la madera. Es aquí donde cobra importancia la industria del mueble, que por largo tiempo estuvo reducida a un mercado pequeño que limitó su desarrollo y manejo racional, afectando negativamente la calidad y los costos de fabricación (MINAGRI, 2003)

En este contexto uno de los procesos o etapas específicos donde se puede comenzar a contribuir, ya sea para mejorar el valor estético (calidad) o disminuir los costos de fabricación, es en el uso de los tratamientos superficiales. Para ello, es de suma importancia conocer el funcionamiento de la interacción *sustrato - tratamiento superficial*, ya que de ésta dependerá en gran medida la calidad del producto final.

Los estados superficiales de productos base madera son generados secuencialmente por diversos tipos de maquinados hasta llegar al lijado. El lijado es quien prepara la superficie de la madera para aceptar un sistema de tratamiento superficial diseñado para cumplir con las exigencias de un servicio determinado. El lijado elimina las imperfecciones que se puedan producir en los maquinados previos y facilita la operación de terminación del producto (Vignote 2006).

En relación a la adherencia de tratamientos superficiales líquidos, ésta depende en gran magnitud de las propiedades de la superficie del sustrato, lo que a su vez influye considerablemente sobre el consumo de éstos, y por ende sobre el aumento de los costos de producción (Roffael, 1993).

La caracterización de superficies es de gran importancia para entender la interacción entre sustratos y tratamientos superficiales, estos últimos usados para brindar protección y apariencia. Parámetros como rugosidad del sustrato y humectabilidad son usados para caracterizar superficies (Rolleri, 2006)¹.

¹ Profesor Aldo Rolleri, 2006. Universidad Austral de Chile. Entrevista personal.

Este trabajo obedece a una inquietud de una industria del sector Mueble por conocer el comportamiento de un sistema de tratamiento superficial (efecto madera natural, no pigmentado) para madera de *Pinus radiata* D. Don formado por tres subsistemas: sellador, fondo y acabado. Éste no fue evaluado como uno todo interactuando con sustratos, sino más bien que cada subsistema fue considerado un sistema de tratamiento superficial en particular, diseñado para cumplir un objetivo específico. Cada subsistema con una apariencia de madera natural debía cumplir como sellador, fondo y acabado.

Basado en lo anterior el objetivo general del estudio es analizar la influencia de distintos tipos de trenes de lijado sobre madera de *Pinus Radiata* D. Don en el consumo de tres productos (sellador nitrocelulósico, fondo poliuretano y acabado poliuretano) actuando cada uno de ellos como un sistema de tratamiento superficial por sí solo.

Objetivos específicos:

- Medir la rugosidad que producen cuatro trenes de lijado industrial (120; 120 - 180; 120 -180 - 220; 120 -150 -180 - 220) sobre las superficies de madera de *Pinus Radiata* D. Don.
- Medir el espesor seco de tres productos (sellador nitrocelulósico, fondo poliuretano y acabado poliuretano) actuando cada uno de ellos como un sistema de tratamiento superficial por sí solo que interactúa con cuatro trenes de lijado industrial (120; 120 - 180; 120 - 180 - 220; 120 – 150 - 180 - 220) sobre las superficies de madera de *Pinus Radiata* D. Don.
- Evaluar la adherencia y brillo de tres productos (sellador nitrocelulósico, fondo poliuretano y acabado poliuretano) actuando cada uno de ellos como un sistema de tratamiento superficial por sí solo que interactúa con cuatro trenes de lijado industrial (120; 120 - 180; 120 – 180 - 220; 120 – 150 – 180 - 220) sobre las superficies de madera de *Pinus Radiata* D. Don.

1.1 Hipótesis.

Este estudio se basa en el supuesto que en general, el consumo de los tratamientos superficiales líquidos depende en gran magnitud de las propiedades de la superficie del sustrato, es por esto que al entregar una misma cantidad de un tratamiento superficial líquido sobre superficies con distintos trenes de lijado, el consumo será diferente.

En la figura 1, se observa el supuesto de que teniendo distintos trenes de lijado y entregando una misma cantidad del tratamiento superficial la absorción de éstos es diferente, por lo que se produce un aumento de espesor al pasar de un tren de lijado a otro. La figura nos indica que en la superficie con el tren de lijado número uno consume más material (absorbe más material) que el caso del lijado número cuatro, donde la absorción fue menor.

A través de este supuesto vemos que para alcanzar un espesor crítico donde aspectos de apariencia y durabilidad queden resueltos no sería necesario aplicar un alto consumo de material.

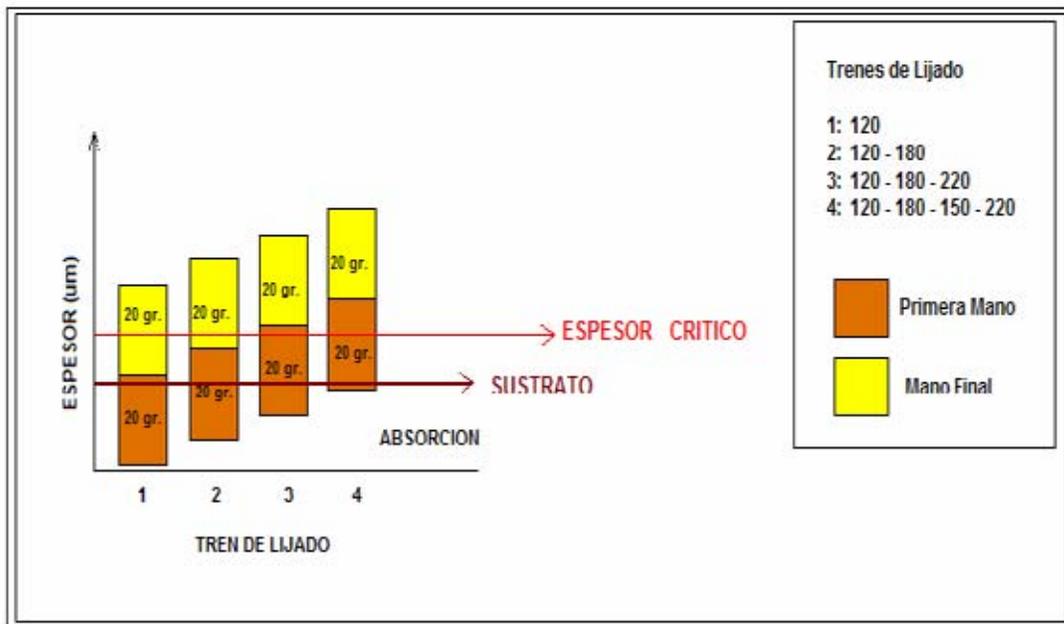


Figura 1: Supuesto del comportamiento de los tratamientos superficiales en madera con distintos trenes de lijado, respecto a la absorción y al espesor seco que se obtienen al aumentar un grano de lija.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Aspectos fundamentales

La madera es uno de los materiales más variables. Varía según la especie, y dentro de cada especie, según el sitio donde se encuentre creciendo. La madera varía incluso de una parte del árbol a otra, ya que está formada por diferentes tejidos que realizan diferentes funciones y que originan que su estructura no sea homogénea (Johnston, 1983). Esta heterogeneidad se refleja en su anisotropía, que es el comportamiento diferente de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección en que se consideren sus principales componentes, las que pueden ser transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial (Díaz - vaz, 2003).

Por consiguiente la madera se considera como un sustrato que presenta un complejo comportamiento por su gran sensibilidad ante diversas influencias físico - químicas. Por ende, es difícil aplicarle tratamientos superficiales, y es preciso conocerla bien para obtener los resultados deseados.

Es por eso que el funcionamiento satisfactorio y completo de los tratamientos superficiales en la madera se logra cuando se consideran factores inherentes a ésta, como ser un material orgánico de estructura porosa – fibrilar no homogénea, más o menos dura, con aire y complejas mezclas de exudados y extractos en sus poros, con una variable cantidad de agua en su estructura, lo cual la hace comportarse de diferentes maneras cuando actúa como materia prima para diversos usos donde en servicio requiere de tratamientos superficiales (Groneman, 1990).

Los tableros a base de madera se fabrican a partir de los productos de las conversiones primarias de este material, como: madera aserrada, madera debovinada o foliada (chapas), partículas y fibras de madera o la corteza de otras materias primas lignocelulósicas en forma de tallos y partículas. Durante su fabricación intervienen, casi siempre, agentes aglutinantes y otras sustancias a fin de obtener o aumentar determinadas propiedades del panel. El término “panel” (elemento plano prefabricado), comprende, dentro de la industria de la construcción, diversos productos. No obstante, dicho término es hoy aceptado como denominación genérica de los tableros a base de madera (Bazurro, 1998).

Normalmente el tablero de madera aserrada de pino radiata como de cualquier otra especie se fabrica enlistonado, es decir, pegando los cantos de piezas de madera aserrada (listones) entre sí. Esto es para obtener mayores dimensiones y estabilidad (menor deformación por influencia de la humedad) que una pieza de madera sólida por si sola no podría lograr, así como un producto libre de defectos (Niemz et al., 1997).

Este tablero necesita, al igual que las piezas de madera cepillada y lijada, de alguna forma de tratamiento superficial con el propósito de decorarla o protegerla. Estos tratamientos líquidos que se aplican a las superficies pueden conseguir un efecto de coloración o también proporcionar sólo un mejor acabado (Niemz et al., 1997).

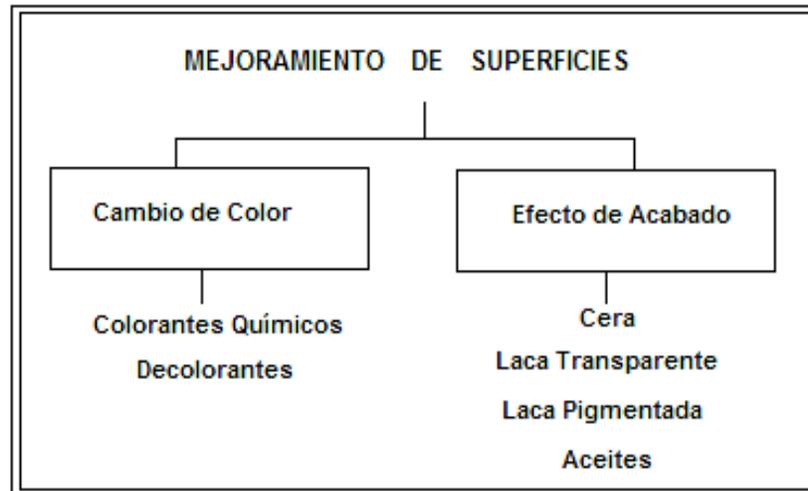


Figura 2: Materiales líquidos que se emplean para el mejoramiento de superficies de madera. (Niemz, et al. 1997)

El efecto decorativo puede estar producido por la propia madera, en cuyo caso el tratamiento a aplicar es transparente; la protección puede ser requerida contra la contaminación de diversas sustancias y agentes químicos, evitando el deterioro producido por el uso y por la exposición a las condiciones de servicio (Nahum, 2001).

Los subsistemas que conforman los sistemas de tratamientos superficiales para la madera se pueden clasificar en tres: los preparadores o acondicionadores (imprimante - sellador), los fondos y por último los acabados.

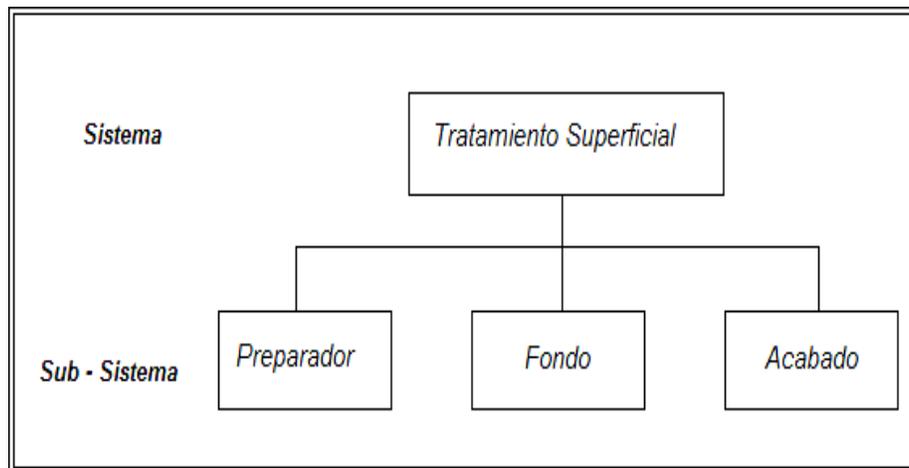


Figura 3: Subsistemas que conforman un sistema de tratamiento superficial.

Los preparadores constituyen las primeras capas que se aplican directamente a la madera para sellar sus poros, darle color (tintes), promover la adherencia y el buen funcionamiento del acabado, como también mejorar el rendimiento del tratamiento superficial; los preparadores más comunes son los selladores.

Los fondos son las capas a continuación de los preparadores cuya función es dar color en el caso de pinturas y promover la adherencia del acabado.

La Laca es un término que se utiliza indistintamente para referirse tanto a una pintura como a un barniz, pero cumpliendo el rol de acabado dentro de un sistema, pueden ser incoloros (barniz) como pigmentados (pinturas).

2.2 Maquinado: Lijado en material madera

El lijado forma parte de la fase final de la fabricación de productos base madera, y su función es obtener superficies con características aceptables para poder aplicar los tratamientos superficiales; su importancia es tal, que el éxito o fracaso de estos dependerá, en gran medida de esta operación.

Su objetivo es preparar la superficie para dar una calidad de terminación que favorezca la interacción *sustrato - sistema de tratamiento superficial*, eliminando las marcas de aquellos maquinados (sierras, planas, cepilladoras), con elementos de corte que sólo buscaban las dimensiones finales de una pieza y no la terminación.

Las lijas son las herramientas de carácter abrasivo encargadas de realizar esta operación y constan de tres elementos básicos: soporte, aglutinante, y abrasivo (figura 4).

Como soporte del grano para la lija se emplea principalmente papel; para casos especiales tela, como por ejemplo de lino y también combinaciones de papel y lino. El papel soporte ha de ser especialmente resistente a la tracción éste puede estar compuesto por una o varias capas. Los materiales que mejores resultados ofrecen como grano abrasivo para lijar la madera son el vidrio, el granate y el óxido de aluminio (Nutsch, 2000).

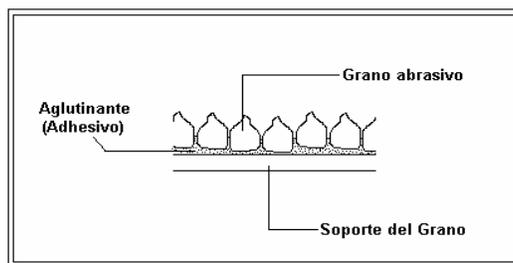


Figura 4: Elementos básicos que conforman una lija. (W. Nutsch. 2000)

La graduación que se emplea para denominar a cada una de las calidades de lija, se refiere a la cantidad de perforaciones que tiene una malla por pulgada cuadrada, a través de la cual se hace pasar el abrasivo para ser depositado en la base de la lija. La secuencia de granos abrasivos, van desde un grano más agresivo hasta uno menor. Con esto se logra pasar de una etapa de lijado a otra, borrando las rayas que se han generado en el paso anterior (De Cisneros, 1996).

La granulometría del papel influye en forma determinante en la calidad del acabado de la superficie. Así también la forma en como se trabaje con esta, ya que siempre debe lijarse en el mismo sentido de la fibra de la madera.

Cuadro 1: Lijas más utilizadas en madera.

LIJAS PARA MADERA	
N ° de Lija	Tipo de grano
80	Muy grueso
110	Mediano
120	Mediano
150	Fino
180	Fino
220	Muy fino

Fuente: Manual de barniz y pintura de muebles. (Lesur, L.1992)

Sin embargo hoy en día las exigencias de calidad en apariencia de algunos productos exigen terminaciones de pulido tal como muestra la Figura 5, donde se puede visualizar la secuencia de lijas para su uso en maderas, donde esta se termina de pulir con lijas muy finas de acabado, como las de número 240 y más, las que dejan las superficies totalmente lisas. (Lesur, 1992)

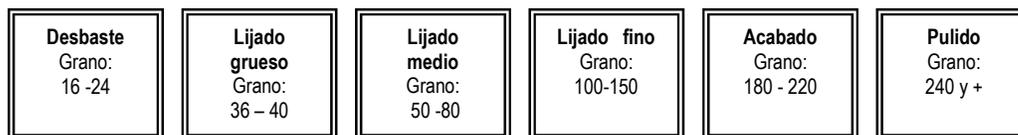


Figura 5: Secuencia de granos de lija utilizados para terminaciones en madera. (Quiminet 2007)

Las superficies de madera aserrada deben ser lijadas con grano mínimo 220 cuando se trata de muebles y 120 cuando son maderas para interiores de casas.

Al terminar el proceso de lijado y después de aplicado el preparador se realiza el suavizado, este termino consiste en pasar el papel lija, sólo con el objeto de alisar la superficie, eliminando la fibra levantada o los defectos de la superficie, disminuyendo el mínimo desgaste de las lacas y selladores aplicados (Infante 2005). Los selladores se suavizan con papel lija, grano 360 o más, dependiendo la calidad de la terminación deseada. Con esto se asegura que las películas de terminación como las lacas de color o las incoloras presenten un aspecto liso libre de defectos de superficie.

2.3 Caracterización de superficies en productos base madera

2.3.1 Rugosidad

Una de las más importantes propiedades de las superficies es su rugosidad, la que puede ser definida como la medida de las irregularidades finas de una superficie. Su tamaño y frecuencia establecen la calidad del sustrato. Ésta se debe a la sobre posición de capas visibles o palpables. Puede ser tan ínfima que se ha de medir con aparatos electrónicos muy sensibles (Hiziroglu, et al. 1998).

La rugosidad está dada principalmente por la heterogeneidad de la materia prima, y en la madera las características de mayor incidencia son la anisotropía, las grandes variaciones de la densidad, anchos de los anillos anuales y ángulos de las fibras dentro de una misma pieza de madera y entre piezas del mismo árbol. También la rugosidad se da al dimensionar la madera, proceso que recibe el nombre de maquinado y en el proceso final de éste que se denomina lijado. La rugosidad de la superficie después de estas operaciones es fundamental para la calidad de la superficie de la madera (Preved, 1998).

La importancia de la rugosidad sobre los sistemas de tratamientos superficiales radica en que juega un rol importante en el rendimiento y estabilidad de ellos, ya que estos se comportaran de diferente manera, dependiendo del estado de las superficies.

La medición de rugosidad se hace a través de un rugosímetro, que es el instrumento más utilizado en las industrias. El principio de operación es simple y consiste en que una fina punta se pone en contacto con la superficie a analizar, la que realiza un barrido en línea recta y las variaciones de altura se convierten en señales eléctricas y se registran. El objetivo principal de este instrumento es convertir el perfil superficial en una representación eléctrica análoga o digital de éste (Hinojosa, 2003).

En general los parámetros utilizados para medir rugosidad pueden interpretarse como parámetros propios de la distribución estadística de alturas de un perfil o superficie bajo análisis.

El parámetro más utilizado es la rugosidad promedio (R_a). Ésta es la distancia promedio desde el perfil hasta la línea media. R_a es también llamada desviación aritmética media y es definida como la profundidad media de todas las profundidades entre el perfil de superficie y la línea media. (Hiziroglu, et al., 1998).

En la Figura 6, se muestra R_a que esta determinada como la altura (μm) de un rectángulo con un largo L_m y una área igual a aquella existente entre el perfil de la superficie y la línea media (Östman, 1983).

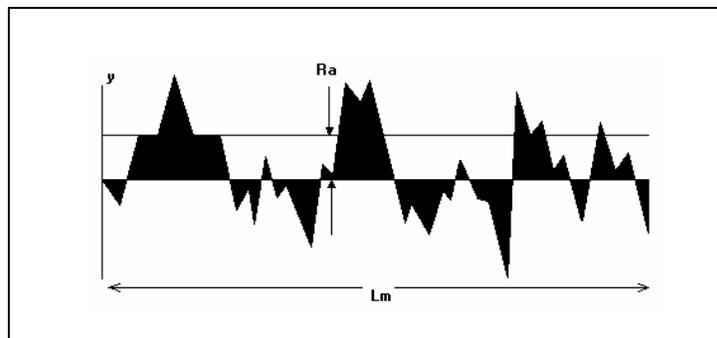


Figura 6: Rugosidad promedio (R_a) en función de la altura de un rectángulo con un largo L_m . (Östman, 1983).

2.4 Interacción Sustrato - Tratamientos para superficies de madera

La aplicación de los diferentes tipos de tratamientos superficiales concede a la madera una serie de cualidades que realzan sus propiedades estéticas y de resistencia. Basándonos en este concepto, en un barnizado intervienen una serie de operaciones que hemos de controlar y unas condicionantes que hay que tener en cuenta como es la elección del tipo de madera a utilizar, el lijado que a esta se le realice y la elección del barniz adecuado.

Se llama barniz a la disolución de una o más sustancias en una base volátil, que se aplica en la madera para protegerla y embellecerla, formando una capa continua y translúcida. (Barpimo 2006)

En todos los tipos de tratamientos superficiales normalmente se aconseja una mano de “fondo” y dos manos de acabado. El “fondo” cumple una función de sellado de poros y de facilitar la adherencia de las pinturas, con lo que se ahorra material y se le da mejor acabado.

Es la capa exterior de un sistema de tratamientos superficiales la que proporciona resistencia adicional, ayudando a proteger al tratamiento superficial primario e intermedio del medio ambiente y de la acción de sustancias químicas.

El rendimiento en metros cuadrados por litro de los tratamientos superficiales, para un espesor de película seca determinado, es directamente proporcional al contenido de sólidos en volumen de ella (Infante, 2002).

Existen variados tipos de tratamientos superficiales, como los tratamientos superficiales en base a poliuretanos y los nitrocelulósicos. En el cuadro 2, se presenta una lista de los principales tratamientos superficiales con sus principales características (Velikanje 2006).

Cuadro 2: Lista de algunos de los tratamientos superficiales transparentes más comunes, y un breve listado de sus usos, características, ventajas y desventajas.

ACABADOS	USOS	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LACA (nitrocelulosica)	Interior Paneles.	Aplicación con pulverizador o pincelera. Contenido de sólidos: medio.	Secado rápido. Fácil de reparar. Económico	Olor intenso. Inflamable. Poca resistencia al desgaste.
LACA CATALIZADORA	Interior. Paneles, Armarios Puertas.	Aplicación con pulverizador o pincelera. Contenido de sólidos: medio.	Secado rápido, duro. Resistente a químicos.	Olor intenso. Inflamable.
POLIURETANO (a base de agua)	Interior, exterior. Muebles. Paneles. Molduras y pisos.	Aplicación con pulverizador, pincel o brocha. Contenido de sólidos: medio. Acabado duro. Fácil de aplicar.	Poco olor, Secado rápido. Fácil de aplicar y lijar. Lavable con agua y jabón.	No tan durable como el poliuretano a base de solvente.
POLIURETANO CATALIZADO (a base de agua)	Interior. Superficies que requieren un acabado durable, pisos.	Aplicación con pulverizador o pincel / brocha. Acabado duro.	Poco olor. Secado rápido. Fácil de aplicar y lijar. Lavable con agua y jabón.	Corta vida útil.
POLIURETANO (a base de solvente)	Interior. Superficies de, mesas, puertas (interior) molduras, pisos.	Aplicación con pulverizador o pincel / brocha alto contenido de sólidos. Acabado duro.	Acabado muy durable; Alta resistencia al desgaste, compuestos comunes y agentes de limpieza.	Secado lento, se amarillea
POLIURETANO UV (a base de solvente con inhibidores de rayos UV)	Interior. Exterior. Muebles de exterior puertas y ventanas.	Aplicación con pulverizador o pincel / brocha. Alto contenido de sólidos. Acabado duro. Renovación de resistencia UV con aplicaciones periódicas.	Acabado muy durable. Alta resistencia al desgaste y a la luz.	Secado lento. Se amarillea. Exposición directa al sol reducirá la resistencia ultravioleta.
POLIURETANO GELATINOSO (a base de solvente; aplicación con paño)	Interior. Molduras	Aplicación con paño. Bajo contenido de sólidos. Poco olor.	Muy fácil de aplicar. Secado rápido. Perfecto para superficies en lo alto como techo.	Requiere muchas capas.

Fuente: Resumen Sistema de Acabado de Interior. (Velikanje, Gary P. 2006).

Entre los tratamientos poliuretanos se encuentran dos tipos, los de un sólo componente y los de dos componentes. Los primeros llevan los compuestos químicos necesarios para que se produzca la reacción internamente al contacto con la humedad del aire. Los de dos componentes consisten en un componente A, a base de una resina de poliéster o acrílica, transparente o pigmentada, mezclada en el momento de su uso con el componente B, endurecedor o catalizador a base de poliisocianatos; los productos de esta reacción son los poliuretanos, los que secan por reacción química a temperatura ambiente, después de evaporarse el disolvente, siendo importante hacer la mezcla correctamente para alcanzar todas las propiedades previstas (Barpimo, 2006).

Estos tipos de tratamientos superficiales proporcionan películas extremadamente duras y elásticas, de gran brillo y con gran resistencia al exterior, y capas de gran resistencia al rayado y al desgaste, por lo que su aplicación en interior es cada vez más extensa. La forma de aplicación es en general con pistola aerográfica, aunque también puede aplicarse a brocha o a rodillo (Lawrence, 1995).

Las lacas nitrocelulósicas llamadas también lacas o pinturas al "duco", su principal y característico componente es la nitrocelulosa (nitrato de celulosa, piroxilina o algodón pólvora), plastificada adecuadamente para darle un cierto grado de flexibilidad. Pueden ser de dos clases: las de brillo directo, que llevan además una resina maleica, y las pulimentables que inicialmente dan poco brillo, pero que gracias a unos aditivos especiales al pulir desarrollan todo su brillo. Pueden ser transparentes o pigmentadas para conseguir opacidad y color. Los disolventes usados en este tipo de pinturas son especiales, tienen gran poder disolvente, por lo que pueden remover los fondos de otra naturaleza, y acostumbran a secar rápidamente por simple evaporación de sus disolventes, sin polimerización posterior por el oxígeno del aire. (Barpimo 2006)

Los selladores, son productos nitrocelulósicos, acrílicos, poliuretanos y catalizados al ácido concentrados de apariencia pastosa (densa), con gran poder de relleno, destinado a dar a la madera una superficie lisa y tersa, libre de poros e imperfecciones dando un acabado transparente resaltando las vetas naturales de la madera y de color blanco, cuando se requiera un acabado coloreado (Lawrence 1995).

El empleo de los selladores tiene como objetivo, mojar la fibra suelta y superficial de la madera, (permitiendo que ella se levante para así eliminarla por lijado o suavizado, cuando la película del sellador ha secado); Disminuir la capacidad de absorción, con el objeto que cuando se apliquen lacas brillantes, se obtengan buenos resultados en cuanto a brillos, (debido a que de éste depende el grado de lisura de la superficie) y por último mejorar la estabilidad dimensional frente a los cambios de humedad (Infante 2005).

2.4.1 Aplicación y control de tratamientos superficiales.

Para la aplicación de cualquier tipo de tratamiento superficial hay que considerar varios aspectos para tener buenos resultados. Las condiciones óptimas para la aplicación de tratamientos superficiales, son ambientes secos con humedad baja (inferior al 65%) y una temperatura entre 15° y 30° C.

Si la pintura es aplicada con temperaturas por sobre los 30° C, puede ocasionar una película que seque demasiado rápido y cause la falta de uniformidad en la película y mala adherencia. Si la temperatura está por debajo de los 15° C, se alargan los tiempos de secado.

Al aplicar cualquier tipo de tratamiento superficial la madera debe estar limpia, seca y libre de contaminación, se recomienda una superficie bien lijada. Sellar todas las zonas con nudos, médula, grietas, con productos comerciales para esa finalidad (empastes o masillas). Las lacas selladoras no tienen capacidad de relleno, en este caso se emplean aparejos que tienen por objeto alisar las superficies debido a su capacidad de relleno, estos se usan sobre madera previamente sellada ya que no poseen buena adherencia sobre la madera por sí sola, sin embargo tiene una excelente adherencia sobre la película de sellador debido a la penetración de los solventes, el sellador actúa en este caso como puente adherente entre la madera y el aparejo (Millar, 1973).

Se debe aplicar un buen "imprimante", "base" o "fondo" que se aplica como primera capa de un sistema de pintura, y cumple con funciones como mejorar la apariencia, el rendimiento y la adherencia de las capas del acabado y protege contra la corrosión (Infante, 2002).

En general debe evitarse pintar cuando la humedad relativa sea mayor de 85%. Hay que dejar que la madera se seque antes de aplicar el tratamiento, esta debe estar con un contenido de humedad bajo el 12 %. De otro modo no se logrará una buena adherencia y habrá problemas de delaminación.

En la protección de la madera se deben considerar factores inherentes al sustrato, y también características del tratamiento que se desea aplicar, como así las condiciones de servicio a las que será expuesto el producto final (Pinturas Baco, 1996).

Una cuidadosa preparación de superficies antes y durante la aplicación de un sistema de tratamiento superficial, necesariamente permitirá obtener una mejor protección del sustrato que al final se traducirá en una reducción de costos de mantenimiento.

Para un control en la calidad de los diferentes tipos de tratamientos superficiales se consideran varias pruebas donde se define el comportamiento de estos. Entre los más importantes tenemos:

- Determinación del contenido de sólidos, determinación de la material no volátil de los barnices (UNE 48087)
- Determinación de la densidad o peso específico de los barnices (UNE 48098)
- Determinación de la viscosidad, (medida de la consistencia o fluidez de la pintura líquida) (UNE 48030);
- El Pot life (equivale a la expresión inglesa "vida de la mezcla")

Una vez completo el proceso de aplicación de barniz es importante controlar las propiedades mecánicas de apariencia y de resistencia, como lo es la:

- Determinación de adherencia (UNE 48032, UNE 11019/6)
- Raspadura (UNE 11019/6)
- Determinación de brillo (UNE 48026; UNE 11019 / 1)
- Determinación de dureza de la película (UNE 48024)

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

El sustrato que se utilizó para este trabajo consiste en tableros enlistonados de madera de *Pinus Radiata* D. Don (anexo 9), proporcionados por una industria del sector mueble, con secado y lijado industrial, con un contenido de humedad del 8 %. Las dimensiones de los tableros corresponden a 40 cm. de largo por 40 cm. de ancho y 0,18 cm. de espesor.

3.1.2 Tratamientos superficiales

Los productos utilizados son proporcionados por una industria especializada en el sector. Uno de ellos del tipo nitrocelulósico Sellolac Mate 15 y otros dos del tipo poliuretano de dos componentes Fondipol Model y Lacapol Classic Mate 15 (anexo 9).

3.1.3 Equipos de laboratorio

Se utilizaron los siguientes equipos de laboratorio (anexo 9).

- Rugosímetro Mitutoyo SJ – 201.
- Picnómetro Erichsen (modelo 288).
- Viscosímetro Erichsen (modelo 288).
- Medidor de temperatura y humedad ambiental.
- Aplicador de tratamientos líquidos HVLP (High Volumen Low Pressure).
- Balanza.
- Estación de análisis de superficies.
- Medidor de adherencia Erichsen (modelo 295).
- Brillómetro Erichsen (Mini Glossmaster).

3.2 Método

La primera etapa fue la caracterización superficial de las probetas. Para ello se midió la rugosidad (R_a) por contacto de los paneles de trabajo con cuatro trenes de lijado industrial 120; 120 - 180; 120 - 180 - 220; 120 - 150 -180 - 220. Se tomaron 24 mediciones aleatorias por probeta, teniendo 5 probetas por cada tren de lijado.

R_a (Rugosidad Media Aritmética), corresponde a la huella digital de un sustrato, o irregularidades provocadas por la herramienta de corte o elemento utilizado en su proceso de producción.

Para la medición de rugosidad se utilizó el rugosímetro Mitutoyo SJ – 201 (anexo 9), quien nos dio el valor de rugosidad media, R_a , en μm . Éste instrumento entró en contacto con la superficie y mostró la rugosidad en R_a .

A continuación se llevó a cabo el acondicionamiento de la cámara de pintado (anexo 9), para preparar la aplicación del barniz, a temperatura y humedad relativa constantes.

Posteriormente se controlaron bajo norma las propiedades físicas de los productos nitrocelulósicos y poliuretanos utilizados:

3.2.1 Densidad

Para la determinación de la densidad o peso específico de cada uno de los tratamientos superficiales, se consideraron condiciones de temperatura y humedad relativa constantes, según norma (UNE 48098). Ésta establece el procedimiento para la medición de las densidades de pinturas, lacas y barnices. Es especialmente aplicable para fluidos de alta viscosidad o cuando el componente es demasiado volátil.

La densidad se calculó en términos de gramos por cc, a temperatura especificada.

Se utilizó un picnómetro de 100 cc (anexo 9), el cual se limpió y se secó. Llevándolo a peso constante; para calibrar el volumen del picnómetro se utilizó agua destilada, de la cual es conocida su densidad absoluta a varias temperaturas, ya que está disponible en tablas publicadas (cuadro 3). Se tapó dejando que por el orificio abierto se derrame lo sobrante, y se pesó. Se realizó el mismo procedimiento pero con los tres tipos de tratamientos superficiales.

Para la realización de este ensayo se utilizó una densidad del agua destilada a 20 °C.

Cuadro 3: Tabla de densidad absoluta del agua [gr./ cm³].

° C	Densidad
15	0,999099
16	0,998943
17	0,998744
18	0,998595
19	0,998405
20	0,998203
21	0,997992
22	0,99777
23	0,997538
24	0,9972969
25	0,997044
26	0,996783
27	0,996512
28	0,996232
29	0,995944
30	0,995656

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Pinturas - Determinación de Densidad. 1989.

Luego de obtenido los datos se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Densidad} = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times D_{\text{agua}}$$

Donde:

M₀ : Masa picnómetro

M₁ : Masa picnómetro + Agua destilada

M₂ : Masa picnómetro + Pintura

D_{agua} : Densidad agua a temperatura de ensayo.

3.2.2 Contenido de sólidos

El contenido de sólidos se determinó secando en horno a $103 \pm 105^\circ \text{C}$, una cantidad previamente pesada del tratamiento superficial (2 gr.), se pesó el residuo obtenido y se volvió a poner (la misma muestra) en el horno, repitiendo el proceso hasta obtener un peso constante (pesadas sucesivas que presenten el mismo valor), y por diferencia de peso se determinó el material volátil de las muestras.

$$\text{Sólidos \%} = \frac{M_2 - M_0}{M_1} \times 100$$

M₂ : Peso de la placa + pintura después del calentamiento

M₀ : Peso cápsula vacía (placa petri)

M₁ : Gramos de pintura pesados.

3.2.3 Viscosidad

Esta medición se realizó mediante el uso de la copa viscosimétrica Copa Ford 4 (anexo 9), que es la recomendada para medir viscosidad en pinturas tanto en laboratorio como en el proceso.

La copa se llenó con el líquido a medir (150 ml. por tratamiento superficial) se tapó el orificio con un dedo de la mano. Con un cronómetro se midió el tiempo en segundos desde que se quita el dedo hasta el momento preciso en que el hilo del líquido se rompe, todo esto a una temperatura de trabajo constante (20° a 25°C).

3.2.4 Pot life

Luego se calculó la vida útil (*Pot life*) de los tratamientos superficiales, para preparar las cantidades adecuadas para una buena aplicación.

Esta medición se realizó igual que la medición de viscosidad, pero la muestra se mantuvo por un tiempo de 6 horas a temperatura y humedad relativa constante.

Al cabo de dicho tiempo, la reacción que ya ha empezado a realizarse en el seno de la mezcla, llega a alcanzar un grado en que el tratamiento superficial no puede comportarse sobre la superficie del sustrato con todas sus propiedades previstas.

Esta característica es propia de las pinturas de dos componentes que forman película por reacción química entre ellos, como son las pinturas poliuretano de dos componentes.

3.2.5 Aplicación de los diferentes tratamientos superficiales y control de propiedades de apariencia.

Después de determinadas todas las propiedades tanto del sustrato como de cada tratamiento superficial, se llevó a cabo la aplicación de los barnices, mediante tecnología HVLP (High Volumen Low Pressure). Con el equipo de pistola de pulverización (anexo 9), que es un equipo manual empleado para aplicar pinturas en forma pulverizada. Comprende un compresor que entrega aire comprimido que llega a la pistola por medio de una manguera, produciendo la atomización del tratamiento superficial y su proyección sobre la superficie.

Para lograr una entrega homogénea de material sobre las superficies y lograr un espesor seco objetivo en micrones, se controló el peso de las probetas más el tratamiento superficial aplicado.

Finalmente se realizó la determinación de los espesores de los tratamientos superficiales en su estado seco.

Primero las probetas fueron cortadas transversalmente en listones de un espesor no más de 4mm (anexo 9), para exponer la relación entre el sustrato (madera) y los tratamientos superficiales. A través de un microscopio se pudo fotografiar y posteriormente calcular los espesores secos de cada probeta utilizando un software de análisis de imágenes.

A las probetas se les realizaron pruebas de apariencia y durabilidad (brillo y adherencia). La evaluación de éstas es una forma de poner números a las características de las superficies que vemos. La capacidad de cuantificar de forma autónoma la apariencia permite obtener productos similares independientemente de cuándo y dónde se fabriquen o se aplique el tratamiento superficial.

Las propiedades de apariencia medidas en éste estudio fueron:

3.2.5.1 Brillo

Corresponde a la sensación que nos da visualmente una superficie cuando recibe de forma directa la luz, es decir representa la capacidad de una superficie de reflejar la luz sin dispersarla.

Ésta característica se mide dirigiendo un rayo de luz de una potencia constante a un ángulo de la superficie de prueba y, a continuación, se determina la cantidad de luz reflejada. Cada superficie requiere ángulos reflectantes diferentes. Éste porcentaje o grado de brillo será diferente según la aspereza de la superficie y la composición de la pintura, y según el ángulo con que se observa.

Cuando estamos frente a una superficie mate, la luz se refleja de una forma difusa, es decir dispersándola en todas direcciones obteniéndose un mínimo de brillo. Se utilizó el brillómetro Erichsen (anexo 9), con un ángulo de incidencia de 60°. El brillo se expresa en razón del porcentaje de luz reflejada sobre el total que recibe una superficie.

3.2.5.2 Adherencia

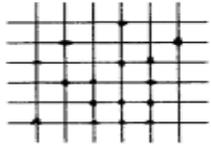
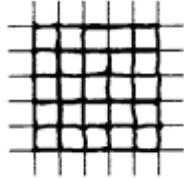
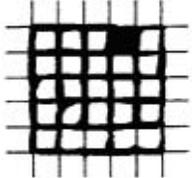
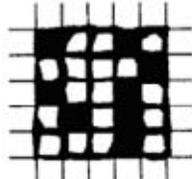
Se procedió a evaluar la adherencia según norma, con el método de corte transversal. Este método de ensayo es para evaluar el comportamiento de un revestimiento de pintura, barniz o productos similares, midiendo una característica que depende entre otros factores, de la adherencia del revestimiento al sustrato en que esta colocado.

Este método es un ensayo empírico y no pretende medir la adherencia misma del revestimiento al sustrato, sino establecer un grado de clasificación de los resultados del ensayo por comparación con la tabla que se establece en la norma UNE 48032 (cuadro 4). Esta norma establece un procedimiento para evaluar la resistencia de un tratamiento superficial a separarse de un sustrato, cuando se corta un diseño de enrejado en un revestimiento de una capa respecto a otra (cuando se corta diseño enrejado en un revestimiento de capas múltiples) o con respecto al sustrato.

En este caso se utilizó una herramienta de corte múltiple (figura 7), con seis fillos de 30°, de 1 ó 2 mm. de distancia entre ellos siendo estas las condiciones más adecuadas para el uso manual, que también es el método más utilizado.(anexo 9)

Cuadro 4: Características para la clasificación de adherencia según el desprendimiento. Ensayo de corte transversal.

Cuadro 4: Características para la clasificación de adherencia según el desprendimiento. Ensayo de corte transversal.

CLASIFICACION	ASPECTO Y DESCRIPCION	VALORACION	APARIENCIA DE LA SUPERFICIE CUADRICULADA EN LA CUAL SE PRODUCE UN DESPRENDIMIENTO
0	Los cortes permanecen perfectos sin ninguna zona desprendida, ninguno de los cuadrados de la red se ha despegado.	5	
1	Se observan pequeñas pérdidas de película localizadas solamente en las intersecciones y a lo largo de los cortes. El área afectada es inferior al 5%	4	
2	Se observan pérdidas en los bordes y/o en intersecciones de los cortes y afecta claramente más del 5% hasta aproximadamente el 15% de la parte cuadrículada.	3	
3	Se observan grandes pérdidas de película en las intersecciones y a lo largo de los cortes, e incluso algún cuadrado se ha desprendido parcialmente, pero no totalmente. El área afectada es del 15 al 35%	2	
4	Se observan grandes pérdidas de película en las intersecciones y a lo largo de los cortes y / o algunos cuadrados se han desprendido parcial o totalmente, pero no totalmente. El área afectada es del 35 al 65 %	1	
5	Se observa cualquier grado de desprendimiento mayor que en 4. El área afectada es superior al 65%	0	

Fuente: INN, NCh 2220. Pinturas y Barnices – Determinación de Adherencia. (1992)

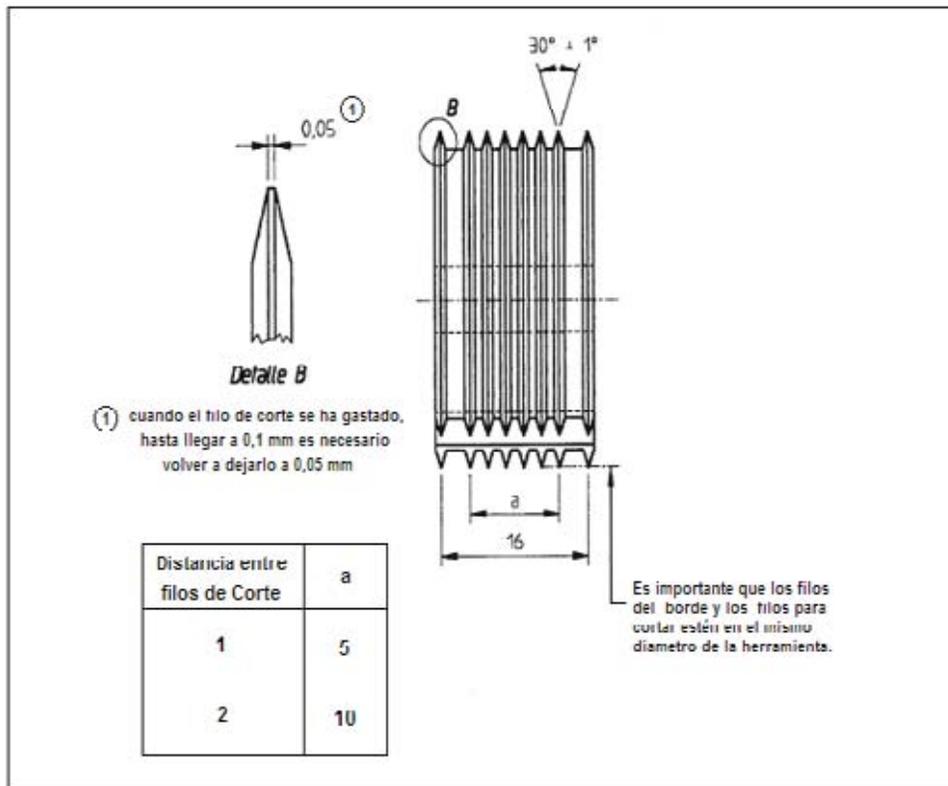


Figura 7: Medidor de adherencia Erichsen (modelo 295), herramienta de corte múltiple. (INN, NCh 2220, Pinturas y Barnices 1992)

3.3 Análisis Estadístico.

Al terminar el proceso de obtención de datos en las diferentes etapas del presente trabajo de titulación, éstos fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo y cuantitativo, el que nos permitirá ver cuales fueron las características del sustrato y de los tratamientos.

Para ello se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para ver la relación entre las principales variables (anexo 7).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rugosidad del sustrato

En el anexo 4 (cuadros del 1 al 4) se presentan los resultados de rugosidad obtenidos en los sustratos con diferentes trenes de lijado. En la figura 8 se presenta un gráfico con los valores de rugosidad superficial R_a , obtenidos con los diferentes trenes de lijado utilizados.

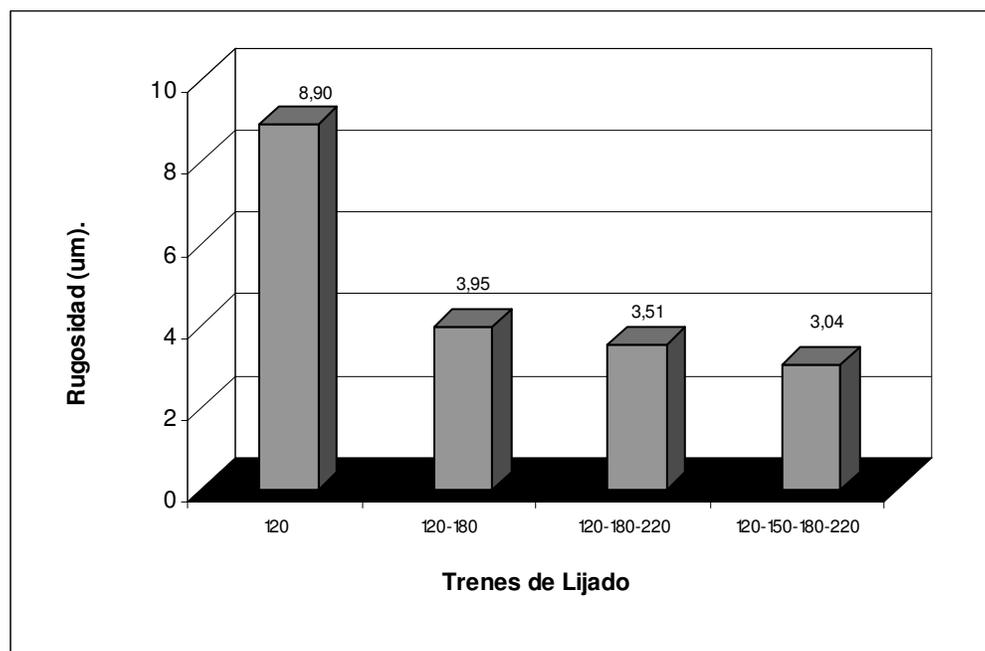


Figura 8: Rugosidades obtenidas en los sustrato con diferentes trenes de lijado.

La rugosidad superficial R_a de las probetas fue disminuyendo al aumentar los granos en el tren de lijado.

Se puede notar que el tren de lijado básico de grano 120, la rugosidad es mayor a las secuencias de lijado siguientes que presentan una superficie claramente mas lisa.

Se observa que al pasar de un tren de lijado de grano 120 a una secuencia de granos de 120 –180, existe una diferencia de casi 5 micras, con los trenes de lijado siguientes, el aumento de una lija da disminuciones de la rugosidad de aproximadamente 0,45 micras.

4.2 Características físicas de los tratamientos superficiales

A continuación se presentan los resultados, de las distintas propiedades físicas consideradas a los tratamientos superficiales utilizados (Sellolac Mate 15, Fondipol Model, Lacapol Classic Mate 15).

4.2.1 Densidad

En la figura 9 (Anexo 3) , se puede observar la diferencia entre las densidades o pesos específicos de los distintos tipos de tratamientos superficiales; como se ve el Sellolac Mate 15, fue quien presentó una menor densidad, a diferencia del Fondipol Model que presentó una mayor densidad, con una diferencia de aproximadamente 0,06 gramos por litro.

También se puede observar que los productos poliuretanos (Fondipol Model, Lacapol Classic Mate 15) fueron los que presentaron una mayor densidad.

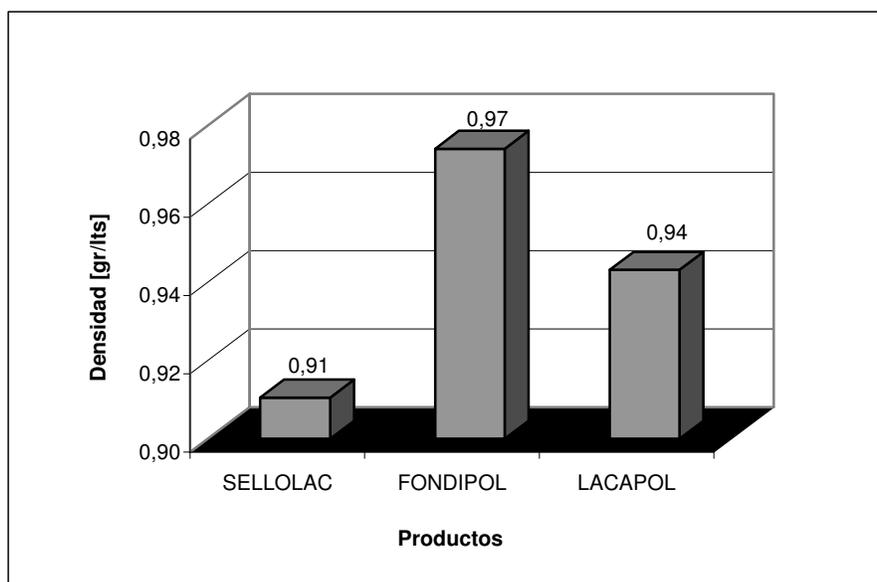


Figura 9: Resultado de las densidades obtenidas de cada tratamiento superficial.

4.2.2 Contenido de sólidos

En el contenido de sólidos de los productos empleados (Anexo 3) no presentó una gran diferencia, como se observa en la figura 10. Obteniendo el mayor valor el Fondipol Model, quien era también el producto que presentaba también una mayor densidad.

A través de estos análisis queda demostrado que los tratamientos superficiales poliuretanos (Fondipol Model y Lacapol Classic Mate 15) son los que presentan un mayor contenido de sólidos, a diferencia de los productos nitrocelulósicos (Sellolac Mate 15) que presentan un contenido de sólidos de medio a bajo.

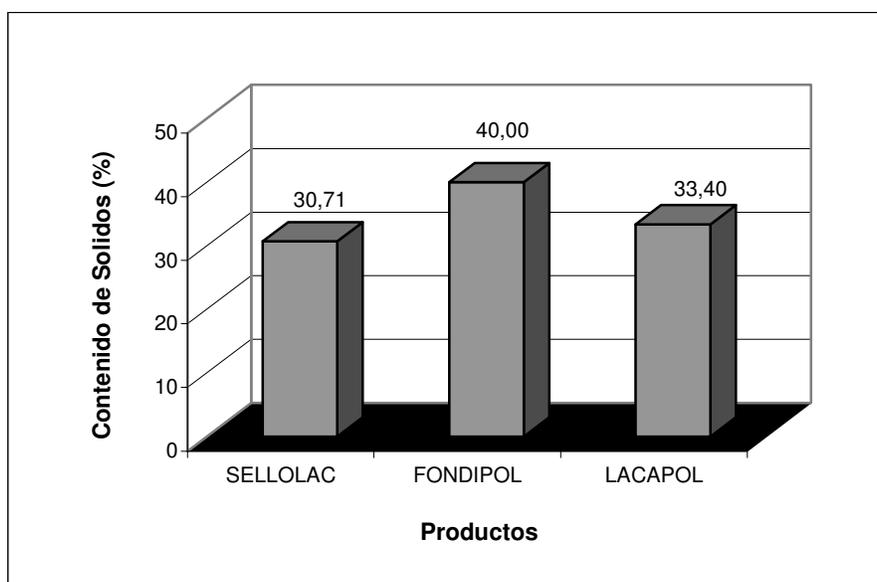


Figura 10: Resultado de los contenidos de sólidos obtenidos de los tratamientos superficiales analizados.

4.2.3 Viscosidad

En la figura 11 se presenta un gráfico con los valores de la determinación de viscosidad de cada tratamiento superficial analizado (Anexo 3).

Se observa que el producto que posee una mayor densidad y un mayor contenido de sólidos (Fondipol Model), es el producto que obtiene una mayor viscosidad e inversamente el producto con menor contenido de sólidos y menor densidad (Sellolac Mate 15), es el producto que presenta una menor viscosidad.

La determinación de viscosidad se realizó para los tres productos en las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa.

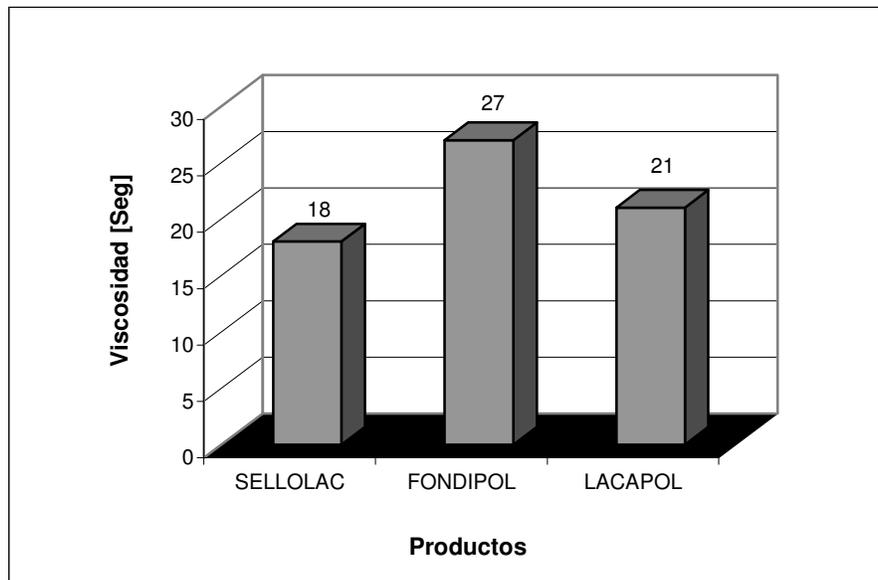


Figura 11: Viscosidad final obtenida de los tratamientos superficiales utilizados.

4.2.4 Pot life

El pot life de cada tratamiento superficial fue calculado en un tiempo de seis horas (Anexo 3). En la figura 12 se puede observar el desigual comportamiento presentado por los 3 productos analizados. El Fondipol Model siguió un curso homogéneo pero al llegar a la hora cuatro mantuvo las mismas condiciones de viscosidad, el Lacapol Classic Mate 15 fue aumentando su viscosidad de forma marcada, pero separado por periodos de tiempo, y el Sellolac fue aumentando homogéneamente por el transcurso de las seis horas.

Se puede observar que el tratamiento superficial que mantuvo todas sus propiedades por mas tiempo fue el Lacapol Classic Mate 15 quien empezó a tener un cambio en sus propiedades iniciales a partir de la hora 3, a diferencia de los otros dos productos analizados, quienes solo mantuvieron sus propiedades iniciales por una hora.

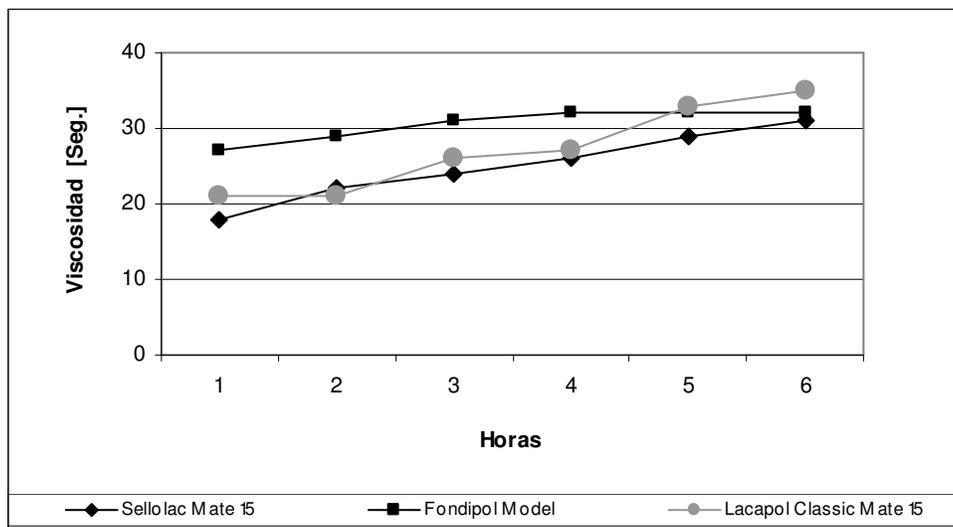


Figura 12: Pot life o vida útil obtenida por cada tratamiento superficial analizado.

4.3 Interacción del sustrato con los tratamientos superficiales

El consumo de barniz aplicado, usando el método HVLP (High Volumen Low Pressure) en las probetas de madera con distintos trenes de lijado, es mostrado en las figuras 13, 14 y 15. Datos de estas mediciones se presentan en el anexo 8.

En los gráficos se puede observar la relación entre la rugosidad y el lijado en madera de *Pinus radiata D. don* y el espesor obtenido por cada tratamiento superficial, con lo cual se determina el consumo. Se aplicó una cantidad de 20 gramos de barniz a cada probeta, para poder así analizar los espesores secos y poder visualizar el efecto de la rugosidad en el consumo de los diferentes tipos de tratamientos superficiales.

Se puede apreciar en las figuras antes señaladas, que el espesor de los diferentes tratamientos superficiales aumenta a medida que la rugosidad disminuye. Esto podría ser explicado ya que al tener superficies más lisas estas presentan menos irregularidades en la superficie y por ende necesitan una menor cantidad de material. Lo anterior se traduce en espesores mayores por la poca penetrabilidad del tratamiento superficial.

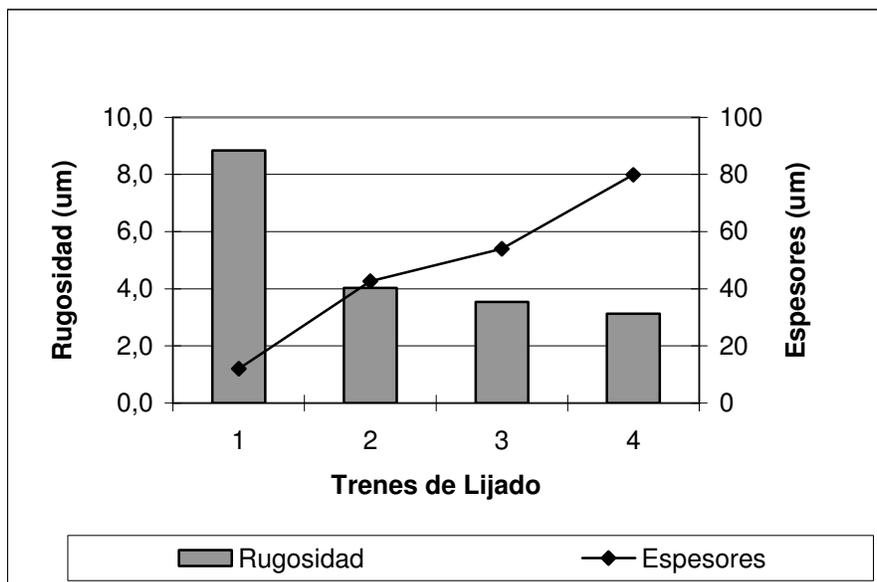


Figura 13: Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de *Pinus radiata* D. Don versus los espesores obtenidos con el producto Sellolac Mate 15.

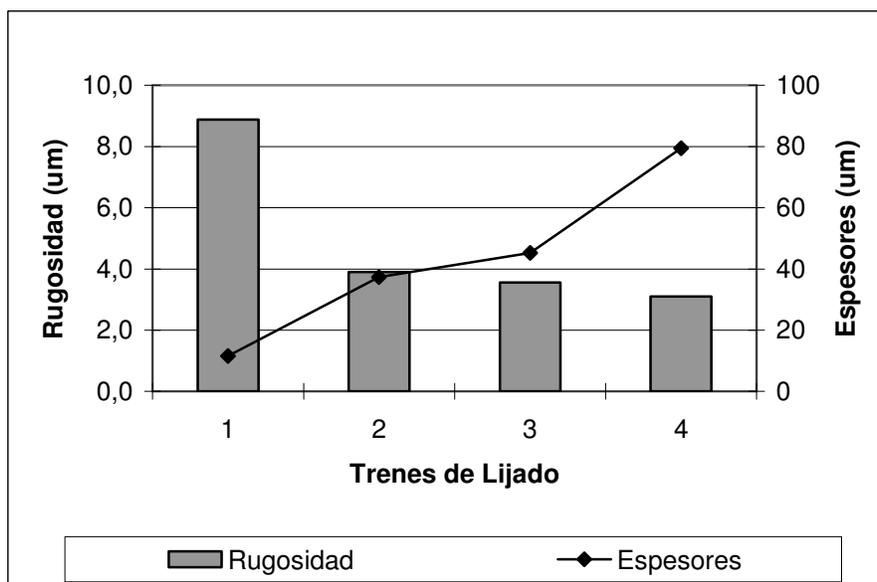


Figura 14: Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de *Pinus radiata* D. Don versus los espesores obtenidos con el producto Fondipol Model.

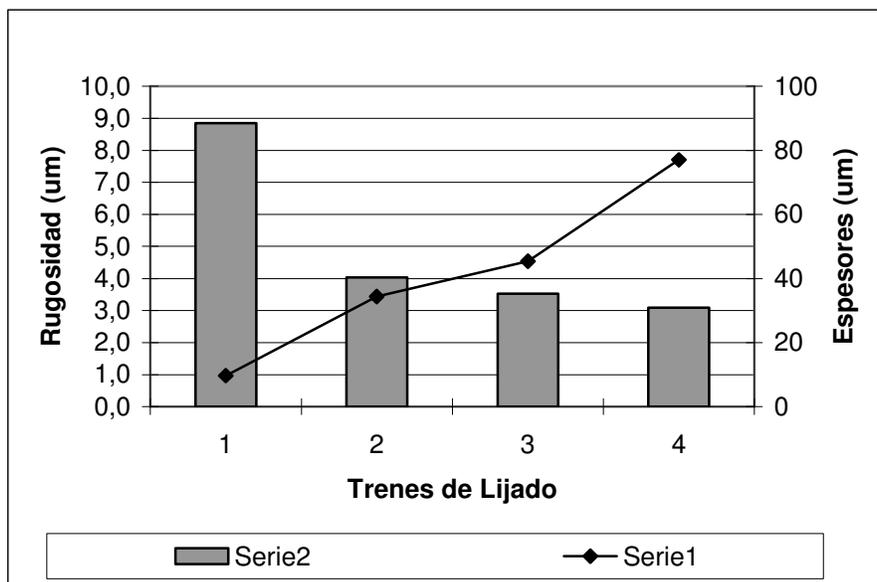


Figura 15: Rugosidad obtenida con las diferentes secuencias de granos de lija utilizadas en madera de *Pinus radiata D. Don* versus los espesores obtenidos con el producto Lacapol Clasic Mate 15.

Si se comparan los espesores logrados por cada uno de los tratamientos superficiales, Sellolac Mate 15, Fondipol Model y Lacapol Classic Mate 15 (figura 16) se observa que los espesores son fuertemente influenciados por la rugosidad presentada en los sustratos.

Se puede observar que los tratamientos superficiales tendió a incrementar sus espesores en la medida que la rugosidad del sustrato disminuía.

Al comparar los espesores obtenidos por cada producto se observa que el Lacapol Classic Mate 15 tiende a acumular menos espesor que el Fondipol Model. El Lacapol Classic Mate 15 posee menor viscosidad que Fondipol Model y esto podría explicar una mejor penetración y por ende menor espesor final.

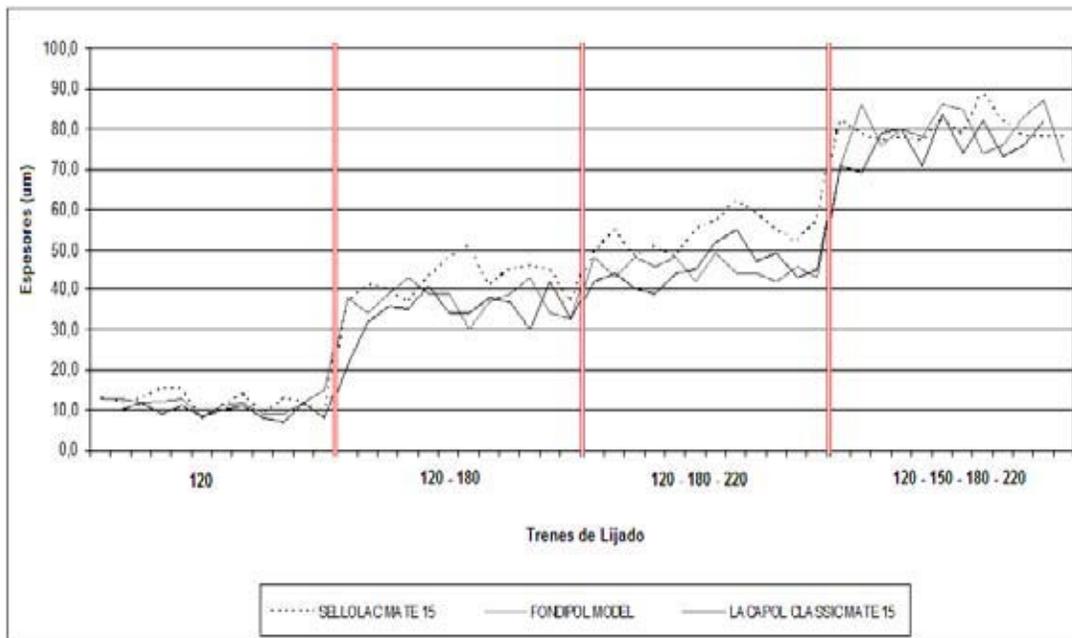


Figura 16: Espesores obtenidos con distintos trenes de lijado.

Los datos obtenidos de las mediciones de espesor de cada producto se encuentran en el anexo 6. Los resultados se grafican en la figura 16.

De la figura 16 se desprende que el producto Sellolac Mate 15 independiente del tren de lijado siempre presentó la tendencia a producir los mayores espesores que los otros productos.

La viscosidad ya no es un argumento para explicar que Sellolac Mate 15 acumula más material sobre las superficies, ya que este posee la menor de todas las viscosidades. La explicación entonces de su comportamiento la encontramos en su propia formulación, esta es la de funcionar como sellador de poros, por ende las manos consecutivas de este producto estaban siendo aplicadas con mejores condiciones de sellado y nivelación lo que produce mayores acumulaciones de material (20 grs.) en comparación con Fondipol Model y Lacapol Classic Mate 15.

4.4 Efecto de la rugosidad en la propiedad de apariencia (brillo)

En los cuadros 1, 2 y 3 del anexo 5 y en la figura 17 se puede observar la relación entre el brillo obtenido por los diferentes tipos de tratamientos superficiales utilizados en las distintas rugosidades de éste.

Los resultados revelan que el brillo está relacionado directamente con la rugosidad del sustrato. Al disminuir la rugosidad el brillo aumenta. En el caso del Sellolac Mate 15 y el Lacapol Classic Mate 15 los valores de brillo son relativamente bajos lo que se explica por la terminación mate de estos, que hace que al aumentar el espesor de la película el brillo disminuya.

Los valores de brillo corresponden a un porcentaje de la luz reflejada sobre el total, en este caso se utilizó un ángulo de incidencia de 60° lo que corresponde a una resolución de 95,5%.

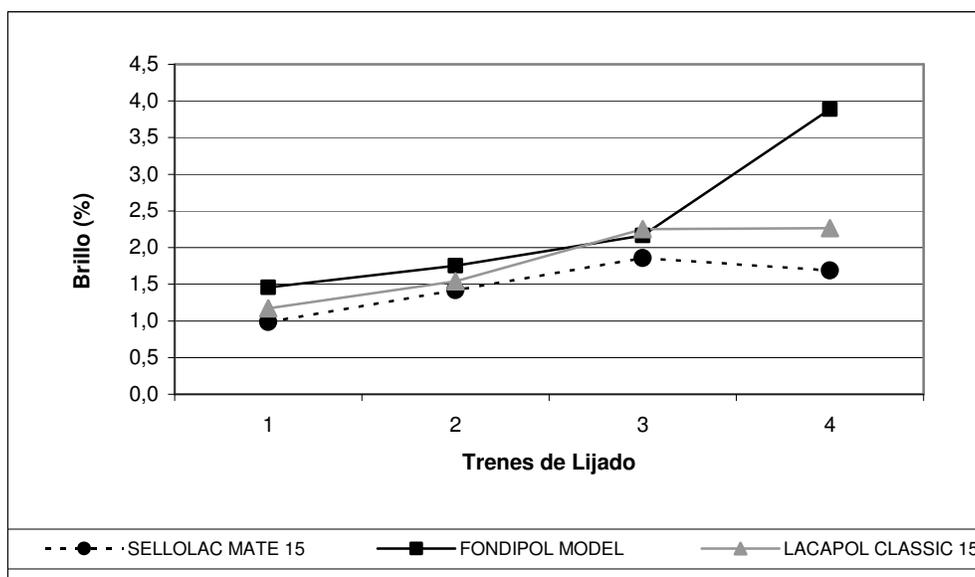


Figura 17: Efecto del brillo de los diferentes tratamientos superficiales en la madera con distintos trenes de lijado.

4.5 Efecto de la rugosidad en la adherencia de los tratamientos superficiales

En el cuadro 5, se muestran los valores del efecto de la rugosidad en la adherencia obtenida por los distintos tratamientos superficiales. Se indican los puntajes obtenidos de adherencia según norma (UNE 48032). Cuando la rugosidad del sustrato es la mayor lijado 1(120) no hay desprendimientos, se obtiene la mejor puntuación (5), en los tres tratamientos aplicados.

Se observa que en los trenes de lijado siguiente donde la rugosidad es mucho menor, las condiciones de adherencia bajaron sólo un punto, obteniendo puntuación 4, lo que nos indica que se observan pequeñas pérdidas de película localizadas solamente en las intersecciones y a lo largo de los cortes de la matriz de ensayo. El área afectada es inferior al 5%.

A través de esto vemos que la adherencia de los tres tratamientos no se encuentra fuertemente influenciada por los lijados ya que en todas las condiciones presentadas se obtiene un grado aceptable de la misma.

Cuadro 5: Puntuación de adherencia según norma UNE obtenida en sustratos de madera con distintos trenes de lijado y con diferentes productos.

PRODUCTOS	LIJADOS			
	120	120-180	120-180-220	120-150-180-220
SELLOLAC MATE 15	5	4	4	4
FONDIPOL MODEL	5	4	4	4
LACAPOL CLASSIC MATE 15	5	4	4	4

4.6 Análisis Estadístico

El cuadro 6, se presenta un resumen de las propiedades medidas en los ensayos, separadas por producto aplicado. En el anexo 8 se presenta un resumen pero por tren de lijado en los cuales se puede observar las diferencias y las relaciones entre ellos.

Para un análisis más completo de éstas variables, se desarrollo un análisis de varianza (ANOVA) de la siguiente matriz, para ver la influencia de la rugosidad del sustrato (variable independiente) en el espesor de película, brillo y adherencia (variables dependientes).

Cuadro 6: Cuadro resumen de propiedades según productos y lijados.

PRODUCTO	LIJADOS	Rugosidad R _a (um)	Espesores (um)	Adherencia (M _o)	Brillo (%)
SELLOLAC MATE 15	120	8,82	12,00	5	0,99
	120 - 180	4,02	42,59	4	1,42
	120-180-220	3,54	54,00	4	1,86
	120-150-180-220	3,13	79,92	4	1,69
FONDIPOL MODEL	120	8,85	11,60	5	1,46
	120 - 180	3,90	37,34	4	1,75
	120-180-220	3,56	45,25	4	2,17
	120-150-180-220	3,10	79,51	4	3,89
LACAPOL CLASSIC MATE 15	120	8,83	9,68	5	1,17
	120 - 180	4,04	34,42	4	1,54
	120-180-220	3,53	45,42	4	2,25
	120-150-180-220	3,09	77,09	4	2,26

A través de los resultados de éste análisis de varianza se puede observar la relación existente entre cada una de las variables con respecto a la rugosidad, en nexos 7, cuadros 6 y 7, y se observa que las variables están todas directamente relacionadas. A excepción de la variable adherencia ya que esta medida en el valor estadístico moda.

4.6.1 Rugosidad – tren de lijado

Al terminar la recopilación de datos de cada variable y tener el análisis estadístico de los resultados se ve en el cuadro 6, que el efecto del lijado en la rugosidad es significativo, ya que dependiendo de la secuencia del tren de lijado la rugosidad va a aumentar o disminuir. Por lo cual queda comprobado a través del análisis de varianza presentado en el anexo 7, cuadro 2 que, aunque el lijado forma parte de la fase final de la fabricación de los productos base madera, esta es una de las etapas más importantes. Ya que de ella va a depender la interacción que se produzca entre el sustrato y el tratamiento superficial aplicado.

Se observa en la tabla ANOVA del anexo 7 cuadro 2 que el valor estadístico F obtenido es mayor que el valor crítico para F, lo que indica que existe una relación significativa entre las variables de lijado y Rugosidad media R_a.

4.6.2 Relación rugosidad – espesor – brillo

A través del cuadro 6, se puede observar el comportamiento de los distintos tratamientos superficiales, vemos como al disminuir la rugosidad del sustrato el espesor de película aumenta para todos ellos; lo que para este estudio se traduce en un ahorro de material, ya que para obtener las propiedades de apariencia y calidad requeridas sería necesario una menor aplicación de éstos.

En el cuadro 3 del anexo 7, queda demostrado, a través del análisis de varianza la relación significativa entre las variables Rugosidad del sustrato y espesor de película, ya que el valor estadístico F es mayor que el valor F crítico, lo que nos asegura que hay una relación significativa entre las dos variables.

También se logra observar a través del cuadro 6 que el brillo también está relacionado con la rugosidad del sustrato, ya que al obtener menores grados de rugosidad el brillo fue mayor, siempre diferenciando los tratamientos de terminación mate, en los que al aumentar los espesores de película el brillo disminuyó. En el cuadro 4 del anexo 7 queda demostrado a través la tabla ANOVA la relación significativa entre el brillo y la rugosidad del sustrato, ya que el valor estadístico F es mucho mayor que el valor crítico de F.

Con respecto a la adherencia de los distintos tratamientos superficiales, a través del análisis de varianza ANOVA presentado en el anexo 7, cuadro 5 se logra apreciar que no existe una relación significativa entre la variable R_a y ésta, lo que se puede explicar por que los valores de adherencia está medida como una valor modal por lo que no son parámetros comparativos.

5. CONCLUSIONES

Al terminar el presente trabajo y después de un análisis de los datos obtenidos se puede concluir que:

- La rugosidad del sustrato juega un rol importante en el ahorro de los diferentes tratamientos superficiales.
- La rugosidad del sustrato esta directamente relacionado con el tren de lijado que se le aplique a ésta.
- El espectro de rugosidad generado por los trenes de lijado asegura una buena adherencia.
- Las características de las propiedades de apariencias (brillo) ofrecidas por cada producto en particular se ven directamente influenciada por los estados que presente la superficie en la que son aplicados.
- Queda comprobado que las formulaciones de los productos estudiados, son específicos para el uso para el cual fueron diseñados.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BAZURRO, DANIEL. Diciembre 1998. Construcción de Material. Consultado Octubre 2006. INTERNET: www.agromeat.com/ProAlte.asp
- BARPIMO, 2006. Pinturas y Barnices. Consultado Marzo 2006. INTERNET: <http://www.barpimo.es/>
- DE CISNEROS, JOSÉ IGNACIO. Octubre 1996. Consideraciones Sobre el Lijado en Superficies de Madera. España. Vol: 10
- DÍAZ-VAZ, J. 2003. Anatomía de Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- GRONEMAN, CHIS H. 1990. Carpintería y Ebanistería; Trabajo en Madera. Traducido por Francisco G. Noriega. 1º edición. Noviembre 1990, México.
- HINOJOSA, M & REYES. 2003. La Rugosidad de Superficies: Topometría. Revista. Vol. IV, N° 11.
- HIZIROGLU & GRAHAM 1998. Propiedades de la Superficie. Consultado: julio 2006. INTERNET: <http://www.okstate.edu/ag/asanr/fore/people/faculty/hiziroglu>
- INFANTE RODRIGO, 2005. Cerecita, Protección de la Madera con Tintas, Selladores, Lacas, Aceites, Oleos, Impregnantes y Barnices. Chile.
- INFANTE, RODRIGO. Mayo 2002. Pinturas y Protección de Materiales. BIT, La Revista Técnica de la Construcción. Vol. N° 30: 61- 65.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1989. Norma Chilena Oficial (Nch 1001. Of 89). Pinturas – Determinación de Densidad.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1992. Norma Chilena Oficial (Nch 2220. Of 92). Pinturas y Barnices – Determinación de la Adherencia, Ensayo de Corte Transversal.
- JOHNSTON, DAVID. 1983. La Madera; Clases y Características. 2ª edición: septiembre 1991. España.
- LESUR, L. 1992. Manual de Barniz y Pintura de Muebles. México.
- LAWRENCE, M. 1995. Pintura y Decoración. España. 1ª edición. Colección: hágalo usted mismo.

- MINAGRI, AGENCIA DE NOTICIAS (Ministerio de Agricultura). Diciembre 2003. INFOR, CONAF y Fabricantes, Nuevo Impulso a la Industria del Mueble. Consultado: febrero - Marzo 2007. INTERNET: <http://www.minagri.gob.cl/noticias/detallenoticia>
- MILLAR E. R. Marzo/Abril 1973. Acabados Superficiales para Tableros Contrachapados y Alistonados. Consultado: Marzo 2006. INTERNET: <http://infomadera.net/images/16543.pdf>
- NAHUM, R EMILIO. Junio 2001. El Barniz en la Madera. BIT, La Revista Técnica de la Construcción. Vol. N ° 22: 50 – 52
- NIEMZ, P.; JUACIDA, R; AGUILERA, A. 1997 Tecnología de Muebles. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile, facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Tecnología de Productos Forestales.
- NUTSCH, W. 2000. Tecnología de la madera y el mueble. España.
- ÖSTMAN B. 1983. Surface Roughness of Wood Based Panels After Aging. *Forest Products Journal* 33(7): 35-42.
- PINTURAS BACO. Seminario, 1996. Revestimientos para Madera en Mueblería.
- PREVED. 1998. Surface Metrology Guide-Home. Precisión Devices Inc. Consultado: Noviembre 2006. INTERNET: <http://www.predev.com/smg>
- QUIMINET. Marzo 2007. Pintura y Recubrimientos. Consultado: Marzo 2007 INTERNET: <http://www.quiminet.com.mx/>
- ROFFAEL, E. & SCHNEIDER, T. 1993. Investigation on Partial Substitution of Strands in Oriented Strand Boards (OSB) by Different Lignocellulosic Raw Materials. Institute for Wood Biology and Wood Technology. Georg August University of Göttingen Busgenweg.
- VELIKANJE, GARY P. Febrero 2006. Resumen Sistema de Acabado de Interior. Consultado: Noviembre 2006. INTERNET: <http://www.wood-coat.com/>
- VIGNOTE PEÑA, SANTIAGO; MARTINES ROJAS, ISAAC. 2006. Tecnología de la Madera.

ANEXOS

Anexo 1.

Abstract

Abstract

Here the restlessness is born of an industry of the Movable sector to make a methodologic study with the purpose of knowing the behavior a system of superficial treatment for Wood like *Pinus radiata* D. Don.

With this aim, the hypothesis is sited out that in general the consumption of the superficial treatments is directly related with the sandpapering train that presents the substrate. Through this assumption we see that to reach a approximate critical thickness where aspects of appearance and durability are resolute non serious necessary to apply a high consumption of material

In order to verify this hypothesis initially a characterization of the superficial treatments was made and of the substrates with different trains from sandpapering. With which the consumption was determined. Later to the application of these substrates the brightness and adherence properties were determined to relate With the consumption. Next the measurement of the dry thicknesses was made. Once collected the data a statistical analysis is made that confirms the raised hypothesis.

Keywords: *Pinus radiata* *D. Don*, *sandpapering*, *roughness*, *consumption*.

Anexo 2.

Términos Generales.

TERMINOS GENERALES

Absorción

Proceso mediante el cual un fluido (tintas, barnices, pinturas y otras soluciones protectoras) penetra en la superficie.

Acabado

Última capa de pintura que queda expuesta a la acción directa del ambiente.

Adherencia

Grado de fijación entre una película de tratamiento superficial y el material subyacente con el que está en contacto.

Aparejo

Pintura con alto contenido de pigmento y extendedor que se aplica luego de un imprimante para nivelar pequeñas irregularidades y proporcionar una superficie lisa con homogeneidad de color y grado de adsorción.

Barniz

Recubrimiento superficial destinado a lograr un acabado transparente o semitransparente, incoloro o de color, aplicado especialmente sobre madera.

Brillo

Propiedad óptica de una superficie, consistente en su capacidad de reflejar la luz en forma especular.

Contenido de sólidos

Material sólido contenido en una pintura, expresado como porcentaje en peso.

Densidad

Valor que indica la cantidad de masa por unidad de volumen. Usualmente se expresa como gr./cm^3 .

Fondo

Base de pintura que se aplica antes de las capas intermedias o de terminación.

Imprimante

Pintura de fondo empleada como primera capa para obtener mejor adherencia y evitar una excesiva absorción de las manos posteriores del tratamiento.

Laca

Revestimiento duro y brillante, a base de nitrocelulosa o acrílicos que seca rápidamente por evaporación del solvente.

Pot life

Es la expresión inglesa equivalente a "vida de la mezcla".

Recubrimiento

Todo material que forma película, ya sea pintura, barniz, laca u otro producto relacionado, que se aplica sobre un sustrato con el objeto de conferir a este propiedades decorativas, protectoras y funcionales.

Sellador

Composición líquida aplicada sobre una superficie porosa para evitar la excesiva absorción de las capas de acabado, impidiendo el levantamiento de las fibras de madera.

Sistema de pintura o barniz

Esquema de materiales de recubrimientos aplicados en capas sucesivas para conferir propiedades protectoras, decorativas o funcionales a un sustrato.

Sustrato

Superficie sobre la cual se aplica un recubrimiento.

Viscosidad

Resistencia interna que poseen los líquidos a fluir.

Anexo 3.

Características Físicas de los Tratamientos Superficiales.

Cuadro 1: Resumen de propiedades físicas de los tratamientos superficiales estudiados.

PRODUCTO	DENSIDAD (gr./ lts.)	CONTENIDO DE SÓLIDOS (%)	VISCOSIDAD (seg.)
SELLOLAC MATE 15	0,9105	30,71	27
FONDIPOL MODEL	0,9740	40,00	21
LACAPOL CLASSIC MATE 15	0,9431	33,40	18

Cuadro 2: Densidad

PRODUCTO	DENSIDAD (gr./lts)
SELLOLAC MATE 15	0,9105
FONDIPOL MODEL	0,9740
LACAPOL CLASSIC MATE 15	0,9431

Cuadro 3: Contenido de sólidos

PRODUCTO	CONTENIDO DE SÓLIDOS (%)
SELLOLAC MATE 15	30,71
FONDIPOL MODEL	40,00
LACAPOL CLASSIC MATE 15	33,40

Cuadro 4: Viscosidad

PRODUCTO	VISCOSIDAD (seg.)
SELLOLAC MATE 15	18
FONDIPOL MODEL	27
LACAPOL CLASSIC MATE 15	21

Cuadro 5: Pot- life para Sellolac Mate 15

HORAS	TEMPERATURA (° C)	VISCOSIDAD (seg.)
13,00	19	18
14,00	19	22
15,00	22	24
16,00	21	26
17,00	21	29
18,00	21	31

Cuadro 6: Pot- life para Fondipol Model

HORAS	TEMPERATURA (° C)	VISCOSIDAD (seg.)
13,00	19	27
14,00	19	29
15,00	22	31
16,00	21	32
17,00	21	32
18,00	21	32

Cuadro 7: Pot- life para Lacapol Classic Mate 15

HORAS	TEMPERATURA (° C)	VISCOSIDAD (seg.)
13,00	19	21
14,00	19	21
15,00	22	26
16,00	21	27
17,00	21	33
18,00	21	35

Anexo 4.

Características Del Sustrato.

Cuadro 1: Rugosidad con tren de lijado 120.

120	120	120	120	120	
9,45	8,57	9,55	9,84	9,49	
8,27	9,24	7,65	8,72	9,17	
10,33	9	9,05	8,29	7,73	
9,18	8,28	9,85	9,17	9,09	
8,54	8,63	8,54	8,2	9,47	
8,35	10,56	8,69	8,37	9,04	
9,02	9,05	8,89	8,77	9,00	
10,1	8,69	9,65	8,07	8,82	
8,35	9,88	7,81	9,8	9,75	
9,6	8,69	9,38	8,57	8,96	
7,79	8,44	9,21	9,18	8,04	
9,68	8,54	8,56	8,44	8,07	
8,91	9,91	9,19	8,91	8,89	
9,07	9,03	8,97	8,83	8,76	
8,5	10,39	9,4	8,31	8,95	
8,3	8,03	9,68	9,87	8,49	
9,3	8,19	8,16	7,69	8,19	
7,65	9,82	8,75	8,95	8,72	
8,21	10,1	7,75	10,14	8,58	
9,09	9,4	8,24	8,77	8,68	
8,51	9,32	8,66	8,96	8,60	
8,16	8,77	11,52	9,33	7,73	
9,32	8,94	8,6	8,54	9,55	
8,5	10,91	8,98	8,78	8,89	
8,5	8,98	9,46	8,75	9,89	
9,39	8,55	8,41	8,78	8,44	
8,18	9,6	10,51	8,83	9,18	
8,68	9,29	9,58	8,84	8,95	
8,82	9,17	9,02	8,85	8,83	8,937

Promedio Final

Cuadro 2: Rugosidad con tren de lijado 120 -180.

120-180	120-180	120-180	120-180	120-180	
3,38	4,65	4,2	3,15	4,12	
3,39	3,11	3,37	4,41	3,51	
3,56	3,22	3,83	3,47	3,6	
3,56	3,16	3,43	3,03	4,1	
3,72	4,99	3,66	3,42	3,08	
3,81	3,73	3,70	3,65	3,71	
3,57	3,81	3,70	3,52	3,69	
4,46	6,65	3,4	3,79	3,98	
4,75	4,64	4,42	4,74	3,2	
4,93	4,87	3,56	3,3	4,91	
3,8	3,8	3,52	3,31	3,3	
3,76	3,37	3,34	3,54	4,2	
4,35	4,49	3,69	3,94	3,90	
4,34	4,64	3,66	3,77	3,91	
4,34	4,69	4,29	4,3	4,59	
4,61	3,15	3,35	3,34	3,65	
4,29	5,39	3,1	3,43	4,22	
4,11	3,68	5,37	3,58	3,94	
5,02	3,62	4,83	3,75	4,02	
4,50	3,98	4,07	3,60	4,04	
4,48	4,08	4,17	3,67	4,08	
4,09	3,26	4,26	3,87	4,14	
3,41	4,1	5,5	3,17	4,35	
3,84	4,33	3,98	3,59	3,9	
3,73	4,34	3,62	3,75	3,64	
3,47	6,85	3,07	3,84	6,61	
3,70	4,35	4,01	3,56	4,20	
3,71	4,54	4,07	3,63	4,47	
4,02	4,27	3,90	3,65	4,04	3,975

Promedio Final

Cuadro 3: Rugosidad con tren de lijado 120- 180 –220.

120-180-220	120-180-220	120-180-220	120-180-220	120-180-220	
3,64	3,29	3,83	3,49	3,28	
4,64	3,48	3,51	3,08	3,22	
3,13	3,2	2,97	3,05	3,17	
3,27	3,75	3,72	3,24	3,38	
3,15	3,66	3,1	3,48	2,92	
3,44	3,46	3,45	3,46	3,20	
3,54	3,47	3,43	3,30	3,19	
3,36	3,37	4,5	3,28	3,79	
3,46	3,29	3,14	3,52	4,28	
3,67	3,51	3,94	4,03	3,72	
3,04	2,99	2,96	3,2	3,51	
3,02	3,16	3,6	3,88	3	
3,55	3,34	3,62	3,50	3,64	
3,35	3,28	3,63	3,57	3,66	
2,27	3,55	3,62	3,9	3,92	
4,23	3,51	3,44	3,14	3,92	
3,1	3,63	2,8	3,68	3,65	
3,54	3,34	3,55	3,68	4,47	
3,9	3,72	3,67	3,65	3,89	
3,71	3,57	3,43	3,80	3,88	
3,459	3,553	3,418	3,642	3,955	
3,5	3,27	3,08	4,06	3,15	
3,75	3,04	3,65	3,82	3,31	
3,6	3,04	3,25	3,76	3,54	
3,5	3,44	3,27	4,06	3,06	
4,78	3,23	3,23	3,39	3,54	
3,66	3,18	3,38	3,35	3,40	
3,80	3,20	3,31	3,74	3,33	
3,54	3,38	3,45	3,56	3,53	3,49

Promedio Final

Cuadro 4: Rugosidad con tren de lijado 120 – 150 – 180 – 220.

120-150-180-220	120-150-180-220	120-150-180-220	120-150-180-220	
3,3	3,35	3,04	3	
3,39	3	3,158	3	
2,28	3,34	3,16	3	
3,1	3,05	3,04	3,108	
3,28	3,04	3,058	3,002	
3,1	3,004	3,26	3,106	
3,08	3,13	3,12	3,04	
3,4	3,19	3,1	3	
3,1	3,17	3,044	3	
3,6	3,09	3,265	3,061	
3,3	3,09	3,14	3,001	
2,7	3,17	3,003	3,007	
3,1	3,19	3,16	3,053	
3,20	3,15	3,12	3,02	
3,3	3,04	3,08	3,001	
3,2	3,037	3	3,032	
3,07	3,017	3,052	3,019	
3,2	3,047	3,002	3,002	
3,28	3,017	3,07	3,001	
3,05	3,03	3,06	3,049	
3,18	3,03	3,04	3,02	
3	3,1	3,089	3,031	
3,17	3,112	3,05	3	
3	3,1	3,05	3	
3,07	3,102	3,13	3,02	
3,04	3,01	3,01	3,001	
3,06	3,2	3,03	3,01	
3,06	3,10	3,06	3,01	
3,13	3,10	3,09	3,02	3,08

Promedio final

Anexo 5.

Valores de Brillo en los Tratamientos Superficiales Usados.

Cuadro 1: Brillo Sellolac Mate 15

LIJADOS	120	120 - 180	120-180-220	120-150-180-220
	1,2	1,2	1,8	2,2
	1,1	1,5	1,9	2,4
	1,3	1,4	3	1,5
	1,2	1,7	1,5	1,4
	1,1	1,6	1,4	2,1
	1,1	1,4	1,7	1,5
	1,1	1,4	1,4	1,5
	0,8	1,2	2	1,4
	1,0	1,1	1,9	1,2
	1,1	1,4	1,7	1,4
	1,1	1,4	1,5	1,4
	0,5	1,3	2,4	2,1
	0,9	1,5	1,3	1,7
	0,4	1,4	1,9	2
	0,9	1,8	2,5	1,5
PROMEDIOS	0,99	1,42	1,86	1,69

Cuadro 2: Brillo Fondipol Model

LIJADO	120	120 - 180	120-180-220	120-150-180-220
	1,3	1,9	2,6	5,6
	1,5	2,5	1,8	3,2
	1,4	1,6	1,7	3,3
	1,3	1,7	2,6	3,4
	1,9	1,9	1,8	3,6
	1,5	1,5	2,9	4,3
	1,2	1,9	1,8	3,8
	1,3	1,7	2,6	5,8
	1,9	1,9	1,9	3,3
	1,5	1,8	2,5	3,6
	1,8	1,7	1,8	2,4
	1,2	1,9	1,7	5,2
	1,3	1,2	2,6	3,6
	1,5	1,8	2,5	3,3
	1,3	1,3	1,7	3,9
PROMEDIO	1,46	1,75	2,17	3,89

Cuadro 3: Brillo Lacapol Classic Mate 15

LIJADO	120	120 - 180	120-180-220	120-150-180-220
	1,1	1,6	1,8	2,6
	1,5	1,6	2,9	2,4
	1,2	1,4	2,5	2,3
	0,9	1,5	1,6	1,6
	1,3	1,2	2,7	2,8
	1	1,9	2,6	3,6
	1,1	1,6	1,9	1,3
	1,2	1,7	1,9	2,6
	1,2	1,3	1,9	2,4
	1	1,6	2,6	2,6
	1,1	1,9	1,8	2,3
	1,2	1,3	2,5	1,8
	1,5	1,6	1,7	2,6
	1,1	1,3	2,8	1,5
	1,2	1,6	2,6	1,9
PROMEDIO	1,17	1,54	2,25	2,26

Anexo 6.

Espesores Secos.

Cuadro 1: Espesores según lijado de Sellolac Mate

Lijado	Ángulo	Espesor
S 120	90,0	13,0
S 120	90,0	12,0
S 120	90,0	13,0
S 120	90,0	15,0
S 120	90,0	15,0
S 120	90,0	8,0
S 120	90,0	11,0
S 120	90,0	14,0
S 120	90,0	9,0
S 120	90,0	13,0
S 120	90,0	12,0
S 120	83,7	9,1
S 120 - 180	90,0	37,0
S 120 - 180	88,6	41,0
S 120 - 180	90,0	40,0
S 120 - 180	90,0	37,0
S 120 - 180	90,0	43,0
S 120 - 180	90,0	48,0
S 120 - 180	90,0	51,0
S 120 - 180	88,6	41,0
S 120 - 180	91,3	45,0
S 120 - 180	90,0	46,0
S 120 - 180	90,0	45,0
S 120 - 180	90,0	37,0
S 120 - 180 - 220	90,0	49,0
S 120 - 180 - 220	90,0	55,0
S 120 - 180 - 220	90,0	48,0
S 120 - 180 - 220	90,0	51,0
S 120 - 180 - 220	90,0	48,0
S 120 - 180 - 220	91,0	55,0
S 120 - 180 - 220	90,0	57,0
S 120 - 180 - 220	88,2	62,0
S 120 - 180 - 220	89,0	59,0
S 120 - 180 - 220	90,0	55,0
S 120 - 180 - 220	90,0	52,0
S 120 - 180 - 220	90,0	57,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,7	82,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	79,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	77,0
S 120 - 150 - 180 - 220	88,3	78,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,9	77,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	82,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	79,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	89,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	82,0
S 120 - 150 - 180 - 220	88,3	78,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,7	78,0
S 120 - 150 - 180 - 220	90,0	78,0

Cuadro 2: Espesores según lijado de Fondipol Model.

Lijado	Ángulo	Espesor
F 120	94,4	13,0
F 120	90,0	13,0
F 120	90,0	12,0
F 120	86,8	12,0
F 120	90,0	13,0
F 120	90,0	8,0
F 120	84,8	11,0
F 120	90,0	12,0
F 120	90,0	9,0
F 120	96,3	9,1
F 120	90,0	12,0
F 120	86,2	15,0
F 120 - 180	90,0	38,0
F 120 - 180	92,4	34,0
F 120 - 180	88,1	39,0
F 120 - 180	90,0	43,0
F 120 - 180	88,2	39,0
F 120 - 180	90,0	39,0
F 120 - 180	90,0	30,0
F 120 - 180	91,8	37,0
F 120 - 180	91,9	39,0
F 120 - 180	91,7	43,0
F 120 - 180	90,0	34,0
F 120 - 180	90,0	33,0
F 120 - 180 - 220	90,0	48,0
F 120 - 180 - 220	90,0	43,0
F 120 - 180 - 220	90,0	48,0
F 120 - 180 - 220	90,0	46,0
F 120 - 180 - 220	88,8	48,0
F 120 - 180 - 220	88,6	42,0
F 120 - 180 - 220	90,0	49,0
F 120 - 180 - 220	90,0	44,0
F 120 - 180 - 220	91,3	44,0
F 120 - 180 - 220	90,0	42,0
F 120 - 180 - 220	90,0	46,0
F 120 - 180 - 220	90,0	43,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	71,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	86,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,9	76,0
F 120 - 150 - 180 - 220	88,6	80,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	78,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	86,0
F 120 - 150 - 180 - 220	89,3	85,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,9	74,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	76,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	83,0
F 120 - 150 - 180 - 220	90,0	87,0
F 120 - 150 - 180 - 220	88,4	72,0

Cuadro 3: Espesores según lijado de Lacapol Classic Mate 15.

Lijado	Angulo	Espesor
L 120	90,0	10,0
L 120	90,0	10,0
L 120	90,0	12,0
L 120	90,0	9,0
L 120	95,2	11,0
L 120	81,9	8,1
L 120	90,0	10,0
L 120	90,0	11,0
L 120	82,9	8,1
L 120	90,0	7,0
L 120	90,0	12,0
L 120	90,0	8,0
L 120 - 180	90,0	21,0
L 120 - 180	91,8	32,0
L 120 - 180	90,0	36,0
L 120 - 180	90,0	35,0
L 120 - 180	90,0	41,0
L 120 - 180	88,3	34,0
L 120 - 180	90,0	34,0
L 120 - 180	90,0	38,0
L 120 - 180	90,0	37,0
L 120 - 180	90,0	30,0
L 120 - 180	90,0	42,0
L 120 - 180	90,0	33,0
L 120 - 180 - 220	90,0	42,0
L 120 - 180 - 220	90,0	44,0
L 120 - 180 - 220	90,0	40,0
L 120 - 180 - 220	88,5	39,0
L 120 - 180 - 220	90,0	44,0
L 120 - 180 - 220	90,0	45,0
L 120 - 180 - 220	90,0	52,0
L 120 - 180 - 220	90,0	55,0
L 120 - 180 - 220	91,2	47,0
L 120 - 180 - 220	90,0	49,0
L 120 - 180 - 220	90,0	43,0
L 120 - 180 - 220	88,7	45,0
L 120 - 150 - 180 - 220	89,1	71,0
L 120 - 150 - 180 - 220	89,2	69,0
L 120 - 150 - 180 - 220	89,3	79,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	80,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	71,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,7	84,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,8	74,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	82,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	73,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	76,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	82,0
L 120 - 150 - 180 - 220	90,0	84,0

Anexo 7.

Análisis Estadístico ANOVA.

Cuadro 1: Análisis descriptivo de las variables.

<i>RUGOSIDAD (RA)</i>		<i>ESPEORES</i>		<i>ADHERENCIA</i>		<i>BRILLO</i>	
Media	4,874	Media	44,069	Media	4,250	Media	1,871
Error típico	0,700	Error típico	7,354	Error típico	0,131	Error típico	0,218
Mediana	3,731	Mediana	43,920	Mediana	4	Mediana	1,720
Moda	#N/A	Moda	#N/A	Moda	4	Moda	#N/A
Desviación estándar	2,424	Desviación estándar	25,475	Desviación estándar	0,452	Desviación estándar	0,754
Varianza de la muestra	5,875	Varianza de la muestra	648,983	Varianza de la muestra	0,205	Varianza de la muestra	0,568
Curtosis	-0,402	Curtosis	-1,038	Curtosis	-0,326	Curtosis	4,509
Coefficiente de asimetría	1,255	Coefficiente de asimetría	0,122	Coefficiente de asimetría	1,327	Coefficiente de asimetría	1,809
Rango	5,795	Rango	70,242	Rango	1,000	Rango	2,900
Mínimo	3,085	Mínimo	9,682	Mínimo	4	Mínimo	0,987
Máximo	8,880	Máximo	79,923	Máximo	5	Máximo	3,887
Suma	58,484	Suma	528,825	Suma	51	Suma	22,448
Cuenta	12	Cuenta	12	Cuenta	12	Cuenta	12
Nivel de confianza(95,0%)	1,540	Nivel de confianza(95,0%)	16,186	Nivel de confianza(95,0%)	0,287	Nivel de confianza(95,0%)	0,479

Cuadro 2: Análisis de varianza de un factor, para las variables Ra y lijado

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Rugosidad (Ra)	12	58,48375718	4,873646432	5,874991874
lijados	12	30	2,5	1,363636364

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	33,8051843	1	33,8051843	9,340218394	0,0057877	4,300943601
Dentro de los grupos	79,62491061	22	3,619314119			
Total	113,4300949	23				

Si Existe relación significativa entre las variables Ra y lijado

Cuadro 3: Análisis de varianza de un factor, para las variables Ra y Espesores

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Rugosidad (Ra)	12	58,48375718	4,873646432	5,874991874
espesores	12	528,82525	44,06877083	648,9834393

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9217,546661	1	9217,546661	28,15126513	2,52069E-05	4,300943601
Dentro de los grupos	7203,442743	22	327,4292156			
Total	16420,9894	23				

Si Existe relación significativa entre las variables Rugosidad Espesor

Cuadro 4: Análisis de varianza de un factor, para las variables Ra y brillo

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Rugosidad (Ra)	12	58,48375718	4,873646432	5,874991874
Brillo	12	22,44809524	1,870674603	0,568169592

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	54,10703883	1	54,10703883	16,79518327	0,000474682	4,300943601
Dentro de los grupos	70,87477612	22	3,221580733			
Total	124,981815	23				

Si Existe relación significativa entre las variables Rugosidad brillo

Cuadro 5: Análisis de varianza de un factor, para las variables Ra y adherencia

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Rugosidad (Ra)	12	58,4837572	4,873646432	5,874991874
Adherencia	12	51	4,25	0,204545455

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,333609233	1	2,333609233	0,767693035	0,390398513	4,300943601
Dentro de los grupos	66,87491061	22	3,039768664			
Total	69,20851984	23				

NO Existe relación significativa entre las variables Rugosidad y adherencia

Cuadro 6: Análisis de varianza de un factor, para las todas las variables.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Rugosidad (R_a)	12	58,48375718	4,873646432	5,874991874
espesores	12	528,82525	44,06877083	648,9834393
Adherencia	12	51	4,25	0,204545455
Brillo	12	22,44809524	1,870674603	0,568169592

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14752,61873	3	4917,539577	30,00186678	1,01937E-10	2,816463507
Dentro de los grupos	7211,942609	44	163,9077866			
Total	21964,56134	47				

SI Existe relación significativa entre las variables

Cuadro 7: Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para todas las variables.

RESUMEN	Rugosidad (Ra)	espesor	Adherencia	Brillo	Total
1					
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	26,56896552	33,286	15	3,623333333	78,47829885
Promedio	8,856321839	11,09533333	5	1,207777778	6,539858238
Varianza	0,000439857	1,540132299	0	0,056114815	15,81410737
2					
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	11,96102778	114,3473333	12	4,713333333	143,0216944
Promedio	3,987009259	38,11577778	4	1,571111111	11,91847454
Varianza	0,005859171	17,12421475	0	0,028503704	253,7498343
3					
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	10,63555556	144,6764167	12	6,277142857	173,5891151
Promedio	3,545185185	48,22547222	4	2,092380952	14,46575959
Varianza	0,000234676	25,05121812	0	0,043380499	419,5471783
4					
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	9,318208333	236,5155	12	7,837619048	265,6713274
Promedio	3,106069444	78,8385	4	2,612539683	22,13927728
Varianza	0,000471754	2,34644159	0	1,30096062	1169,9519
TOTAL					
Cuenta	12	12	12	12	
Suma	58,48375718	528,82525	51	22,45142857	
Promedio	4,873646432	44,06877083	4,25	1,870952381	
Varianza	5,874991874	648,9834393	0,204545455	0,567634756	

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	1514,782931	3	504,9276437	170,0881529	9,70731E-20	2,90111757
Columnas	14752,53943	3	4917,513144	1656,496209	3,63066E-35	2,90111757
Interacción	5602,157851	9	622,4619834	209,6803578	7,50488E-26	2,18876295
Dentro del grupo	94,99594371	32	2,968623241			
Total	21964,47616	47				

Las variables analizadas se encuentran con una relación significativa

Anexo 8.

Relaciones entre Propiedades.

Cuadro 1: Propiedades por distinto lijado.

LIJADOS	PRODUCTO	Rugosidad R_a (um)	Espesores (um)	Adherencia (M_o)	Brillo (%)
120	SELLOLAC MATE	8,82	12,00	5	0,99
	FONDIPOL	8,85	11,60	5	1,46
	LACAPOL	8,83	9,68	5	1,17
120 - 180	SELLOLAC MATE	4,02	42,59	4	1,42
	FONDIPOL	3,90	37,34	4	1,75
	LACAPOL	4,04	34,42	4	1,54
120-180-220	SELLOLAC MATE	3,54	54,00	4	1,86
	FONDIPOL	3,56	45,25	4	2,17
	LACAPOL	3,53	45,42	4	2,25
120-150-180-220	SELLOLAC MATE	3,13	79,92	4	1,69
	FONDIPOL	3,10	79,51	4	3,89
	LACAPOL	3,09	77,09	4	2,26

Cuadro 2: Relación entre lijado y espesor por producto

Lijado	SELLOLAC MATE 15		FONDIPOL MODEL		LACAPOL CLASSIC MATE 15	
	Rugosidad	Espesor	Rugosidad	Espesor	Rugosidad	Espesor
1	8,82	12,00	8,85	11,60	8,83	9,68
2	4,02	42,59	3,90	37,34	4,04	34,42
3	3,54	54,00	3,56	45,25	3,53	45,42
4	3,13	79,92	3,10	79,51	3,09	77,09

Anexo 9.
Imágenes.

Tablero enlistonado



Listones para medir adherencia.



Tratamientos superficiales



Catalizador poliuretano B.



Viscosímetro Erichsen (modelo 288)



Picnómetro Erichsen (modelo 288)



Brillómetro Erichsen (mini Glossmaster)



Medidor de adherencia Erichsen (modelo 295)



Cámara de Pintado



Aplicador de tratamientos líquidos HVLP (High Volumen Low Pressure)



Rugosímetro Mitutoyo SJ – 201



Estación de análisis de superficies

