



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto de la rugosidad en madera de Pinus radiata D. Don
en las propiedades finales de un barniz nitrocelulósico**

Patrocinante: Sr. Aldo Rolleri S.

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

Mauricio Iván Yáñez Martínez

VALDIVIA
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Aldo Rolleri Saavedra	_____
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera León	_____
Informante:	Sr. Héctor Cuevas Doering	_____

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación 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 Rolleri S.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mis padres, en especial a mi madre que ha sido siempre de un apoyo incondicional. A mi hermano por su apoyo y constante aliento en momentos difíciles.

A las secretarias Sra. Roxana, Carolina y Maria Eugenia, que siempre me trataron muy cordialmente. A mis amigos de siempre Roberto y Juan, y los amigos que descubrí en la universidad Juan Carlos , Rodrigo, René, Cristian y Andrés.

A todas las grandes personas y personajes que conocí mientras estudiaba, con muchos de los cuales mantengo comunicación y una fraternal amistad, no los nombro para no llenar la hoja. A todos ellos les debo mucho porque han contribuido a mi formación y me han inspirando a la constante superación personal.

A todos muchas gracias.

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Material Madera	3
2.2 Proceso de cepillado	4
2.3 Rugosidad Superficial de la madera	4
2.3.1 Medición de la rugosidad superficial	5
2.3.2 Parámetros de rugosidad	6
2.4 Tratamientos superficiales líquidos	6
2.5 Aplicación de tratamientos líquidos	7
2.5.1 Temperatura	7
2.5.2 Humedad	7
3.0 DISEÑO DE INVESTIGACION	8
3.1 Material	8
3.2 Método	8
4 RESULTADOS Y DISCUSION.	11
4.1 Características físicas de la madera	11
4.2 Características físicas del tratamiento superficial	11
4.3 Proceso de lijado de la madera	12
4.4 Proceso de aplicación del barniz nitrocelulósico	13
4.5 Algunas propiedades de apariencia y mecánicas	15
5. CONCLUSIONES	17
6. BIBLIOGRAFIA	18
ANEXO	19

RESUMEN EJECUTIVO

Se utilizaron 60 probetas de pino insigne (*Pinus Radiata*), adquiridos en una empresa de libre acceso a pequeñas y medianas mueblerías, para acercarse a la realidad.

Cada pieza de madera fue lijada y cepillada en los talleres del instituto de productos forestales y posteriormente las probetas fueron acondicionadas, hasta alcanzar un contenido de humedad homogéneo. La madera fue posteriormente utilizada en los distintos ensayos realizados, tanto en el proceso de modificación de la superficie, en el caso del lijado con distintos granos de lija. Como a su vez en la obtención de las propiedades del tratamiento superficial aplicado, en este caso un barniz sellolac mate.

El principal problema que se presentó fue la dificultad de realizar un lijado con las lijadoras de banda por disponibilidad de recursos y maquinaria. Afectando esto la homogeneidad del lijado de las probetas al ser este manual. Sin embargo estos valores se acercan más a la realidad de la pequeña mueblería nacional.

En cuanto a los resultados obtenidos según el grano de lijado utilizado, el grano que entregó la mejor relación, en cuanto al consumo y las propiedades finales del recubrimiento fue, el grano 180. También se pudo establecer que no existe mayor relación entre el consumo de barniz y las direcciones o planos de la madera.

Palabras claves: *Pinus radiata*, Pino insigne, Brillo, Rugosidad superficial, espesor de barniz, consumo de barniz, grano de lijado.

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal en Chile, es una actividad relevante, desde el punto de vista ambiental, social y económico. Aporta con un 3,2% al producto interno bruto, siendo muy importante su acción en cuanto al impulso que genera el sector como demandante de bienes y servicios de múltiples actividades económicas del país. Es la segunda actividad económica del país (Corma, 2005).

La actividad productiva del sector forestal nacional se centra casi exclusivamente en las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucaliptus*, de las cuales se extrae anualmente más del 90% de la materia prima para las industrias de la madera aserrada, la celulosa, muebles, tableros y las astillas de exportación.

Las posibilidades de un país maderero, como lo es Chile, de incrementar sustancialmente sus exportaciones en el rubro muebles están claramente demostradas en estudios comparativos realizados con otros países exportadores, por ejemplo, Taiwán país importador de madera, exporta más de US\$2.000 millones anuales en muebles (Corma, 2005).

En términos de cifras hoy se exportan US\$50 millones en productos terminados, por lo que el desafío es aumentar ese monto. Considerando este aspecto es que los tratados de libre comercio con la Unión Europea y Estados Unidos abren un importante número de posibilidades para la industria del mueble. Asimismo, la mayor parte de estas exportaciones están basadas en el recurso pino (Lignum, 2005).

Los productos secundarios de la madera aserrada o productos remanufacturados inician su desarrollo a fines de la década del 70. Desde entonces han registrado un permanente crecimiento, cuya principal colocación es en las exportaciones (Lignum, 2005).

Gran importancia adquiere, en la elaboración de productos secundarios de madera y derivados, los procesos de terminación superficial. La importancia de controlar el estado superficial de la madera lo indica Lemaster y Dornfeld (1986), señalando que la rugosidad superficial va a estar directamente relacionada con el uso que se le quiera dar a una pieza, además, un control efectivo de la calidad de la superficie permite asegurar un ensamblaje correcto de las piezas y determina la aplicación de adhesivos y productos de terminación. En particular, la adherencia de pinturas, barnices y cubiertas que depende en gran magnitud de las propiedades de la superficie de la madera. La importancia de la rugosidad superficial sobre los tratamientos superficiales radica en que juega un importante rol en el rendimiento y estabilidad del tratamiento específico aplicado en la madera.

Como una forma de aportar al desarrollo de la industria, logrando una mayor competitividad al obtener un mejor aprovechamiento de los insumos usados para mejorar tanto consumo como apariencia y durabilidad de tratamientos superficiales en partes y piezas de maderas de Pinus radiata D.Don en este trabajo se consideraran los siguientes objetivos:

El objetivo general es evaluar la influencia de la rugosidad producto de tres granos de lijado sobre madera de Pinus radiata D. Don en las propiedades finales de un tratamiento superficial tipo barniz nitrocelulósico.

-Medir la rugosidad que generan individualmente los granos de lijado (120 - 150 - 180) sobre madera de Pinus radiata D. Don tanto en caras radiales como tangenciales.

-Medir el espesor seco de un tratamiento superficial tipo barniz nitrocelulósico sobre superficies generadas individualmente por los granos (120 -150 -180) en madera de Pinus radiata D. Don tanto en caras radiales como tangenciales.

-Evaluar el consumo, la adherencia y brillo del tratamiento superficial tipo barniz nitrocelulosico

2. MARCO TEORICO

2.1 Material madera

Los vegetales leñosos viven un cierto número de años y a lo largo de su vida las células del cambium van formando nuevas células que dan origen a los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento pueden clasificarse en: anuales, característicos de las plantas que crecen en la zona boreal y estacionales, característicos de las plantas que crecen en la zona tropical con estaciones climáticas marcadas. Dentro de cada anillo de crecimiento se distingue, más o menos fácilmente: la madera formada en primavera (llamada madera de primavera en el caso de los anillos anuales, y de primer crecimiento en los anillos estacionales), la madera formada en verano (madera de verano en los anillos anuales, y tardía en los estacionales) (Vignote, 2000).

La madera, como se ha comentado, está formada por diferentes tejidos que realizan diferentes funciones y que originan que su estructura no sea homogénea. Esta heterogeneidad se refleja en sus propiedades físicas y mecánicas, y es la causa de algunos de sus defectos y también de sus ventajas. Dicha heterogeneidad da lugar a lo que se conoce con el nombre de anisotropía, que es el diferente el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección que se considere, es decir, que sus componentes principales se orientan en tres direcciones o planos principales; transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial. (Díaz-vaz, 2003 y Aguilera, 2000). Cuando se habla de las propiedades físicas se hace referencia a estas tres direcciones, y cuando se habla de las propiedades mecánicas sólo se habla de dos direcciones, la dirección paralela a las fibras (que coincide con la longitudinal) y la dirección perpendicular a las fibras (que engloba a la tangencial y radial, cuyas propiedades mecánicas suelen tener valores diferentes (Vignote, 2000).

La madera es un material higroscópico que tiende a absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire). De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH). Así por ejemplo, una madera colocada en un local a 20°C de temperatura y con una humedad relativa del 40%, alcanzará una humedad de equilibrio del 8%. Por tanto será necesario secarla previamente hasta esta humedad, para que sufra las mínimas alteraciones dimensionales posibles. La madera deberá tener la humedad correspondiente a la humedad de equilibrio higroscópico de las condiciones higrotérmicas de servicio. De esta manera se reducen los movimientos que podrían ocasionarse a causa de la variación de su grado de humedad (Vignote, 2000). El contenido de humedad de la madera, "h", se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra.

$$h = (P_h - P_0) \times 100 / P_0$$

Siendo: P_h = peso húmedo de la probeta. P_0 = peso anhidro de la probeta, obtenido por desecación en estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C. En la fórmula se observa que el numerador representa la masa de agua que tiene la madera.

La densidad de la madera se define como la relación entre su masa y su volumen, y es necesario referirla a un determinado contenido de humedad, generalmente el 12 %. La densidad de las maderas es muy variable, de forma particular las coníferas más utilizadas en la construcción tienen una densidad comprendida entre 400 y 550 kg/m³ y las frondosas entre 600 y 700 kg/m³. Según su densidad se pueden clasificar en: muy ligera, ligera, semipesado, pesada, muy pesada (Vignote, 2000).

2.2 Proceso de maquinado

Cepillar o sacar una cara en limpio de la madera es un proceso básico en la transformación de la madera. Esta operación se efectúa en las primeras etapas de la línea de producción de los productos y permite obtener un grosor igual en la pieza y una superficie uniforme en las caras. Esta operación se realiza en una máquina denominada cepillo. El desbaste del material se efectúa con cuchillas que son colocadas en un cabezal que gira mientras la madera es arrastrada en la mesa del cepillo mediante unos rodillos (Vignote, 2000). A continuación el lijado tiene por objetivo preparar la superficie de la madera para la realización del acabado, eliminando todas las imperfecciones que se puedan haber producido en el maquinado y facilitar la operación de acabado. El lijado busca alisar la superficie de forma a quitar todas las imperfecciones que tenga la madera, dejando una superficie lo suficientemente lisa como para que anclada la pintura en la madera se produzca el mínimo de gasto posible (Vignote, 2000). La granulometría del papel influye en formas determinante en la calidad del acabado de la superficie. Generalmente se entiende que para acabados transparentes el lijado se realiza en sentido de la fibra. Para lijado de madera maciza se emplea una granulometría de la lija de 80-100-120-150 (Niemz, 1997)

2.3 Rugosidad superficial

Una de las propiedades de las superficies más importantes es su aspereza o rugosidad. Puede ser definido como la medida de las irregularidades finas de una superficie. Su tamaño y frecuencia establecen la calidad de la superficie (Hiziroglu, 1998).

Para entender lo que la rugosidad superficial quiere decir es necesario entender que es una superficie. Una superficie es una frontera que separa un objeto de otro (Hinojosa, 2005). Tanto en aplicaciones industriales como en la vida cotidiana, el grado de rugosidad de las superficies es importante, en ocasiones es importante tener rugosidad alta y en otras ocasiones esta condición es indeseable. La importancia de la rugosidad superficial sobre los tratamientos superficiales radica en que juega un importante rol en el rendimiento y estabilidad de estos cuando son aplicados sobre la madera. Dependiendo de los grados de rugosidad en las superficies resultantes de la interacción de las propiedades anatómicas y físicas inherentes a cada especie y los procesos de conversión mecánicos utilizados; los tratamientos superficiales se comportarán de forma diferente en servicio (Rolleri, 2003).

El término rugosidad superficial es cuantificado por parámetros relativos a características de la superficie (ver figura 1), tales como: a) Rugosidad,

irregularidades más pequeñas y finamente separadas a lo largo de la más corta longitud de muestreo de la superficie maquinada, b) ondulación, irregularidades más grandes, dentro del nivel siguiente superior de la longitud de muestreo. La separación de los picos y valles es mayor y la longitud de muestreo es, por lo tanto, más larga que la de rugosidad, c) Sesgo de superficie, se asocia con la orientación de la figura de la superficie. Esto describe la dirección de la figura dominante en la superficie, generada por el método de maquinado, d) Imperfecciones propias del material, éstas comprenden inclusiones de material, estrías, grietas, agujeros y otras deformaciones no intencionales de la superficie (López, 2005)

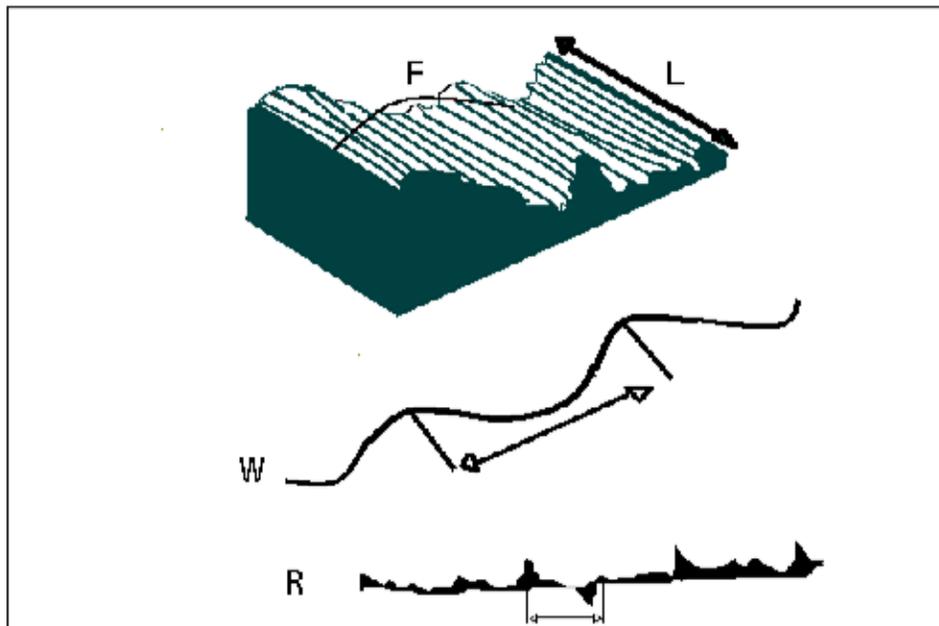


Figura 1: Vista ampliada de una superficie maquinada, rugosidad (R), ondulación (W), sesgo de la superficie(L), imperfecciones del material (F).

2.3.1 Medición de la rugosidad superficial

El rugosímetro es por mucho el equipo mas utilizado en la industria en general para medir la rugosidad de componentes comunes de ingeniería. El principio de operación de este equipo es simple: una fina punta en contacto con la superficie a analizar realiza un barrido controlado en línea recta y las variaciones de alturas se convierten en señales eléctricas y se registran o grafican. El objetivo principal de un instrumento superficial copiador es convertir el verdadero perfil superficial en una representación eléctrica análoga o digital del perfil (Hinojosa, 2005).



Figura 2: Rugosímetro de tipo stylus

2.3.2 *Parámetros de rugosidad.*

En general los parámetros utilizados para cuantificar la rugosidad pueden interpretarse como parámetros propios de la distribución estadística de alturas de perfil o superficie bajo análisis. Los parámetros de rugosidad más usados en ingeniería son la rugosidad promedio (R_a), la rugosidad (R_{max}) y R_z . R_a es la altura de un rectángulo cuya área es igual al área presente en un perfil de rugosidad. R_z representa la altura máx. promedio en cinco zonas del perfil de rugosidad. R_{max} es la altura máxima dentro del perfil total de rugosidad (López, 2005). Al revisar la literatura pertinente, se decidió considerar el parámetro R_a , por ser el que mejor explicaba la rugosidad superficial para este estudio.

La rugosidad de la madera se produce al dimensionarla, proceso que recibe el nombre de maquinado.

2.4 **Tratamientos superficiales líquidos**

La apariencia de la madera más atractiva sin ninguna duda es la inicial, obtenida con el uso de barnices claros. Los barnices son aceites que por aditivos especiales, por tratamiento térmico o por tratamiento químico secan más deprisa que los aceites puros o no tratados. Otros tratamientos cambian de color la madera o lo cubren completamente (Nutsch, 2000).

El rendimiento en metros cuadrados por litro de laca o de una pintura en general, para un espesor de película seca determinado, es directamente proporcional al contenido de sólidos en volumen de ella. Esto quiere decir que mientras más alto sea el contenido de sólidos en el volumen, más metros cuadrados pintaremos con un mismo volumen para un determinado espesor. Los espesores de película seca, también guardan relación directa con el contenido de sólidos en volumen de los productos. Así, si aplicamos una laca que tenga un 20% de sólidos en el volumen,

con un espesor líquido de 100 micrones, obtendremos una película seca aproximadamente 20 micrones (Infante, 2002).

La viscosidad o consistencia de una laca o una pintura en general, guarda relación con algunas características de aplicación, como así también con su estabilidad a través del tiempo en el envase. Su valor cambia con la temperatura haciéndose mayor durante el invierno, y menor durante el verano (Infante, 2002).

2.5 Aplicación de tratamientos superficiales líquidos

Dada la importancia de la aplicación en un sistema de pinturas es importante mencionar que aun el más sofisticado tratamiento líquido protector tendrá un desempeño malo si no es aplicado en forma correcta. Las siguientes condiciones pueden afectar la aplicación de un tratamiento líquido:

2.5.1 Temperatura

El rango de temperatura óptimo para la aplicación de recubrimiento oscila entre 15°C y 32°C. Generalmente, los recubrimientos no deben ser aplicados cuando la temperatura del medio ambiente sea inferior a 4°C o superior a 43°C, durante la aplicación. Si la pintura es aplicada arriba de los 32°C puede ocasionar que la película seque demasiado pronto y traiga como consecuencia falta de uniformidad en la película y mala adherencia. Si la temperatura es inferior a 10°C puede alargarse el tiempo de secado y curado de la película hasta puntos inaceptables. No debe aplicarse la pintura, si existe la posibilidad de que la temperatura baje al punto de congelación antes de que esta haya secado (Infante, 2002).

2.5.2 Humedad

La adherencia de la mayoría de las pinturas y barnices, excepto la de la base acuosa, resulta seriamente dañada si la superficie por recubrir es contaminada por agua. En general debe evitarse pintar cuando la humedad relativa sea mayor de 85% (Infante, 2002).

La función primaria de cualquier tratamiento superficial de la madera (pintura ó barniz y recubrimientos) es proteger la superficie de la madera, ayudar a mantener el aspecto, y proporcionar facilidad de limpieza. Las superficies de madera expuestas al exterior pueden cambiar de color y acumular la suciedad y la grasa, si se encuentran desprotegidas. Los productos de madera contienen las propiedades de cada especie utilizada, tales como: patrones de grano, de textura y colores que se pueden proteger con eficacia por diversos métodos.

La protección y el ennoblecimiento del material madera deben considerar factores inherentes al substrato como también las características del tratamiento aplicado, las condiciones y tecnologías de aplicación y las condiciones de servicio.

3 DISEÑO DE INVESTIGACION

3.1 Material

El sustrato utilizado correspondió a madera de Pinus radiata D.don para la obtención de las probetas del experimento. Esta madera se obtuvo de un suministrador comercial de material sin cepillar seco. La forma de las probetas y sus dimensiones para realizar los ensayos, correspondió a una forma rectangular y de un tamaño de 200mm de largo por 100mm de ancho y 15mm de espesor, óptimo para la utilización de los diversos instrumentos de medición utilizados.



Figura 3: Forma y dimensiones de las probetas tipo para la medición y aplicación de los tratamientos líquidos.

Como tratamiento superficial se usó un barniz Sellolac-Mate proporcionado por una empresa especializada.

Para la preparación de las superficies fueron necesarias una cepilladora Burkler y una lijadora manual Bosch y papel lija de tres granos (120-150-180).

La caracterización de las superficies requirió de un rugosímetro de contacto Mitutoyo y para la caracterización y evaluación del tratamiento superficial líquido se utilizaron: un picnómetro Erichsen modelo 288, un viscosímetro Erichsen Modelo 288, un termómetro, un medidor de temperatura y humedad ambiental, un sistema de aplicación HVLP de tratamientos líquidos, una balanza, un medidor de espesor seco Erichsen Modelo 245, un medidor de adherencia Erichsen Modelo 295, un brillómetro Erichsen, una cámara digital y software de análisis de imágenes.

3.2 Método

Se procedió en primera instancia a caracterizar físicamente el material madera, la para lo cual se obtuvo la densidad promedio de madera fue obtenida por

desplazamiento de agua, posteriormente estas fueron acondicionadas a 20 °C y 60 % de humedad de relativa para medir el contenido de humedad de equilibrio por diferencia de pesadas en estufa.

El maquinado de cepillado fue uno solo a 2000 rpm y velocidad de avance manual con un elemento de corte $Z=2$, para posteriormente aplicar tres lijados (120-150-180). La determinación de la rugosidad generada por el lijado considero dos parámetros, R_a (um). La rugosidad se determina con un rugosímetro del tipo stylus, marca Mitutoyo, modelo SJ-201.

Al barniz le fue calculado el contenido de sólidos mediante el método de estufa a 105 °C, y para él calculo de la densidad se utilizo un picnómetro. Para preparar la aplicación del barniz se acondiciono la cámara de pintado a 20 °C y 60 % de humedad de relativa y mediante un viscosímetro Brookfield se determina la viscosidad para el calculo del post-life. La aplicación del barniz Sellolac-Mate se realizo a través de dos métodos: HVLP y Erichsen. El primero consiste en la aplicación del barniz a través de una pulverización del barniz que comprende alto volumen a baja presión. El método Erichsen consiste en un aplicador rectangular metálico que es llenado con el barniz y al desplazarlo sobre la superficie objetivo este va dejando un espesor de película que esta dado por un rebaje en el perfil. El consumo de barniz para cada superficie se determino bajo el supuesto que una apariencia aceptable, fijada esta en un pre-ensayo determinaría la cantidad de material a entregar para obtenerla en cada superficie. Para la determinación del espesor de barniz se utilizo el medidor de espesor Erichsen Modelo 288. Para la determinación del brillo en las probetas se utilizo un brillómetro Erichsen. Graduado en 60 grados y con una resolución del 95.5%. El principio de la medición es basado en la norma Din 53 223. La adhesión del barniz se calcula por método del reticulado con un instrumento Erichsen modelo 295, que efectúa un rasgado de la superficie, analizándose el desprendimiento del barniz de la superficie de madera. El método de evaluación es visual.

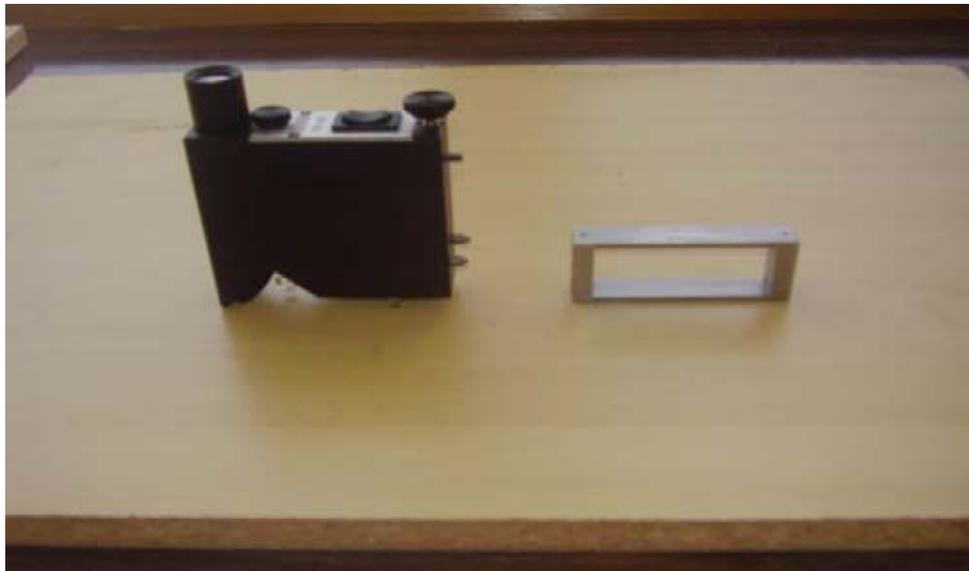


Figura 4: Brillómetro erichsen y medidor de espesor erichsen modelo 288.

Finalmente los datos obtenidos en las diferentes etapas del presente trabajo de titulación fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo.

En los casos en que el instrumento no fuera capaz de medir los valores de rugosidad, o de algún tratamiento específico, como el caso de medición del brillo, porque se encontraba sobre el rango superior, se optó por asumir los valores máximos admisibles por el instrumento, o descartarlo del análisis. Esto ocurrió en el caso del medidor de espesor erichsen cuyo rango era inferior al de medición del instrumento.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características físicas de la madera

La densidad promedio obtenida de la madera correspondió a 0.432 gr/cm³ promedio, lo que concuerda con los valores para esta especie. Luego del acondicionamiento a 20 °C y 65 % de humedad de relativa las probetas alcanzaron luego de diez días una humedad de equilibrio de 11 %.

4.2 Características físicas del tratamiento superficial

Los resultados que se presentan en el cuadro siguiente corresponden a las propiedades del barniz Sellolac-mate y que fueron necesarios considerar para la realización de los ensayos como una forma de mantener los parámetros del barniz controlados. Al observar el cuadro se aprecian, los valores de densidad, contenido de sólidos y viscosidad del tratamiento líquido utilizado.

Cuadro 1. Propiedades físicas de barniz Sellolac-mate.

Propiedades Físicas	Sellolac-mate
Densidad (seg.)	27
Contenido de Sólidos (%)	34,0
Densidad (gr/lts)	0,9450

La figura 1 muestra el grafico post-life del barniz Sellolac-mate que permitió calcular la cantidad de pintura por día de pintado. Se tomo como tiempo abierto entre preparación y aplicación un máximo de 2 hrs.

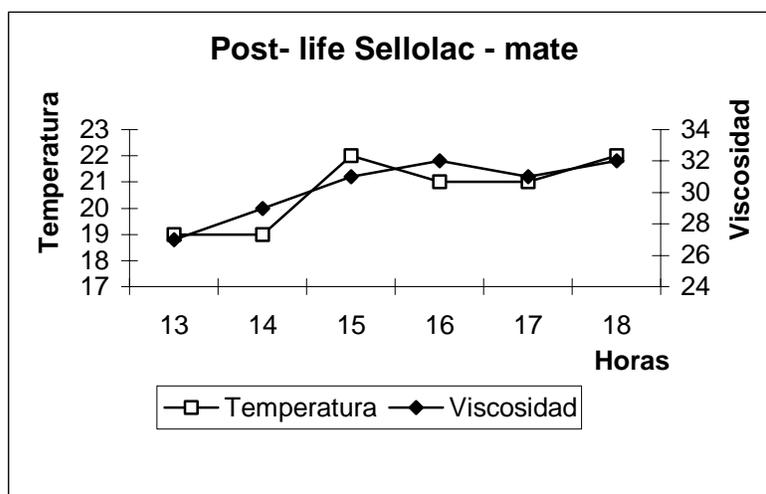


Figura 1. Grafico Post-life de de barniz Sellolac-mate.

4.3 Proceso de lijado de la madera

Debido a la disponibilidad de recursos y a la cercanía que se decidió dar a este estudio con la realidad de la pequeña y mediana industria del mueble, se optó por realizar un lijado manual de todas las muestras de ensayo. Uno de los problemas que se presentó fue la dificultad de establecer parámetros cuantificables del lijado, debido a que al realizarlo manualmente los parámetros de calidad quedan determinados por el operador del lijado y su punto de vista, que generalmente estas dadas por la experiencia.

En la figura 2, se presentan los valores de rugosidad superficial R_a obtenidos, con los diferentes granos de lijado utilizados en este estudio, tanto para caras tangenciales como radiales en madera de Pinus radiata D.don.

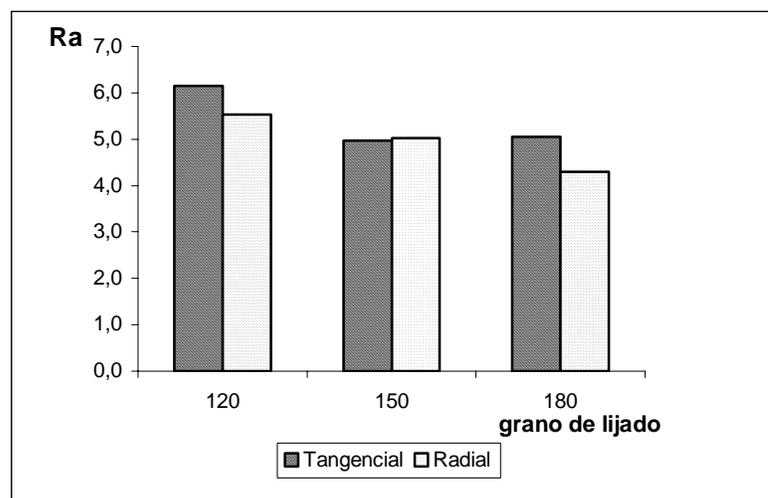


Figura 2. Rugosidad superficial para tres diferentes lijados.

Al comparar el efecto de las caras tangenciales y radiales dentro de un mismo grano de lijado, se puede observar que existen diferencias en la rugosidad. La cara tangencial expone estructuras microscópicas de una forma más evidente que una cara radial, con el consecuente aumento de los niveles de rugosidad. Es decir no es posible considerar que el lijado por si solo determina un estado superficial en la madera, además hay que considerar a la especie y la forma en que su anatomía es expuesta al crear una superficie. Pero si comparamos los granos de lija, es como de esperar, un aumento en el grano disminuye los valores de R_a .

4.4 Proceso de aplicación del barniz nitrocelulósico

El consumo de barniz nitrocelulósico aplicado usando el método HVLP en los planos tangencial y radial de la madera es mostrado en las figuras 3 y 4. El principio que se considero para estimar el consumo de este producto es el mismo que se utiliza en la industria. El trabajador que aplica es quien visualiza que apariencia es la óptima y de esta forma determina la entrega de material necesario para lograrla. Finalmente el consumo es expresado como gramaje (grs/m^2). La figura 3 muestra la relación entre la rugosidad obtenida por cada lijado en caras radiales para madera de Pinus radiata D.don y el consumo de barniz nitrocelulósico Sellolac-mate expresado como gramos húmedos y el material final después de la evaporación del solvente como gramos secos. Se puede visualizar que el consumo disminuye en la medida que la rugosidad disminuye. Así el mayor consumo de gramos húmedos es con lijado 120 con $R_a=7$, en cambio el menor consumo lo es con un $R_a=5.5$. Para lograr una apariencia similar entre las tres superficies radiales generadas con granos (120, 150, 180) respectivamente, se necesito en promedio $208 \text{ grs}/\text{m}^2$ secos. Pero para obtenerlos en una superficie lijada con grano 120 de $R_a=7$ se necesitaron $435 \text{ grs}/\text{m}^2$ húmedos.

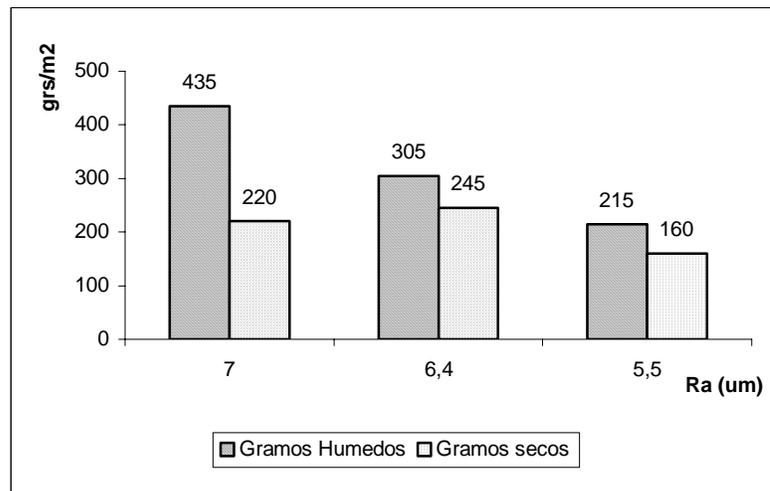


Figura 3. Diferencias de gramaje en un barniz nitrocelulósico después de su absorción y curado en caras radiales con tres rugosidades de superficies lijadas con granos (120,150,180) respectivamente.

La figura 4 muestra la relación entre la rugosidad obtenida por cada lijado en caras tangenciales para madera de Pinus radiata D.don y el consumo de barniz nitrocelulósico Sellolac-mate expresado como gramos húmedos y el material final después de la evaporación del solvente como gramos secos. Se puede visualizar que al igual que el caso de las caras radiales, el consumo disminuye en la medida que la rugosidad disminuye. Así el mayor consumo de gramos húmedos es con lijado 120 con $R_a=7.8$, en cambio el menor consumo lo es con un $R_a=6.5$. Para lograr una apariencia similar entre las tres superficies tangenciales generadas con granos (120, 150, 180) respectivamente, se necesito en promedio $215 \text{ grs}/\text{m}^2$ secos. Pero para obtenerlos en una superficie lijada con grano 120 de $R_a=7.8$ se necesitaron $405 \text{ grs}/\text{m}^2$ húmedos.

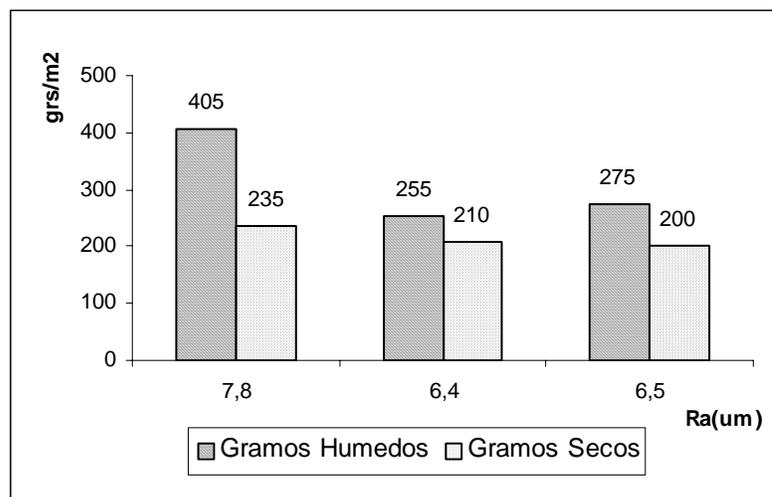


Figura 4. Diferencias de gramaje en un barniz nitrocelulósico después de su absorción y curado en cara tangencial con tres rugosidades de superficies lijadas con granos (120,150,180) respectivamente.

Si comparamos entre las caras radiales y tangenciales en cada nivel de lijado no encontramos una relación clara. Al parecer las caras tangenciales produjeron mas rugosidad que las radiales pero hay que considerar que la materia prima disponible para el estudio no era la mas adecuada para generar caras 100% radiales o viceversa. La interacción de la anatomía-maquinado no es clara en este estudio, la rugosidad es comandada por los granos de lijado fuertemente.

Los cuadros 2 y 3 muestran la relación existente entre la rugosidad y el espesor del film aplicado mediante método HVLP, tanto en caras radiales como tangenciales. El cuadro 2 es respecto a las muestras con caras radiales donde se aplico barniz a las tres superficies generadas con granos de lija (120, 150, 180) con rugosidades R_a (7, 6,4, 5,5). Se puede observar que hay mayor espesor de barniz a medida que la rugosidad disminuye a pesar que el gramaje seco disminuyo desde superficies lijadas con grano 120 a superficies lijadas con grano 180.

Cuadro 2. Resumen promedio de los principales parámetros obtenidos en la dirección radial de la madera, con el método de aplicación HVLP.

Radial HVLP			
Lijado	Ra (um)	grs. seco	Espesor (um)
120	7	220gr/m2	25,6
150	6,4	245gr/m2	29,2
180	5,5	160gr/m2	34

El cuadro 3 muestra las caras tangenciales donde se aplico barniz a las tres superficies generadas con granos de lija (120, 150, 180) con rugosidades R_a (7.8, 6.4, 6.5). Se puede observar que hay mayor espesor de barniz a medida que la rugosidad disminuye, a pesar que el gramaje seco disminuyo desde superficies lijadas con grano 120 a superficies lijadas con grano 180.

Cuadro 3. Resumen promedio de los principales parámetros obtenidos en la dirección tangencial de la madera, con el método de aplicación HVLP.

Tangencial HVLP

Lijado	Ra (um)	grs. seco	Espesor (um)
120	7,8	235gr/m2	24,1
150	6,4	210gr/m2	31,8
180	6,5	200gr/m2	59

Ambos cuadros 2 y 3 concuerdan que la rugosidad superficial generada por el maquinado de lijado comanda los valores de espesor independiente del gramaje seco obtenido. No hay una relación promedio clara entre las exposiciones anatómicas y los valores de espesor.

4.5 Algunas propiedades de apariencia y mecánicas

En las figuras 5 y 6 se puede apreciar la relación entre el brillo obtenido por un barniz nitrocelulósico, el espesor de este y los estados superficiales (R_a) generados por los distintos lijados tanto en caras radiales como tangenciales.

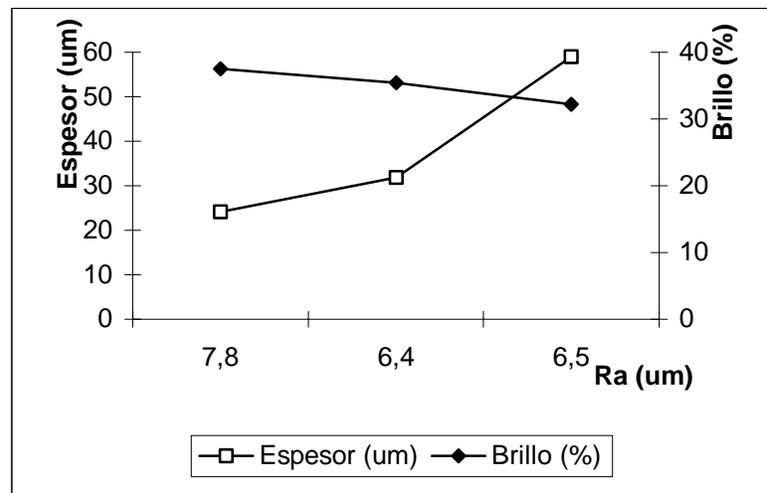


Figura 5. Efecto del lijado de tres granos de lijado, en la dirección tangencial de la madera en el espesor de barniz y el brillo.

La figura 5 muestra como al disminuir la rugosidad R_a (7,8 - 6,4 - 6,5) a medida que aumenta el grano de lijado (120, 150, 180) en la cara tangencial, el espesor del film de barniz aumenta pero el brillo disminuye. Esto se puede explicar porque el barniz

Sellolac es de terminación mate y al aumentar el espesor de este el efecto se acentúa.

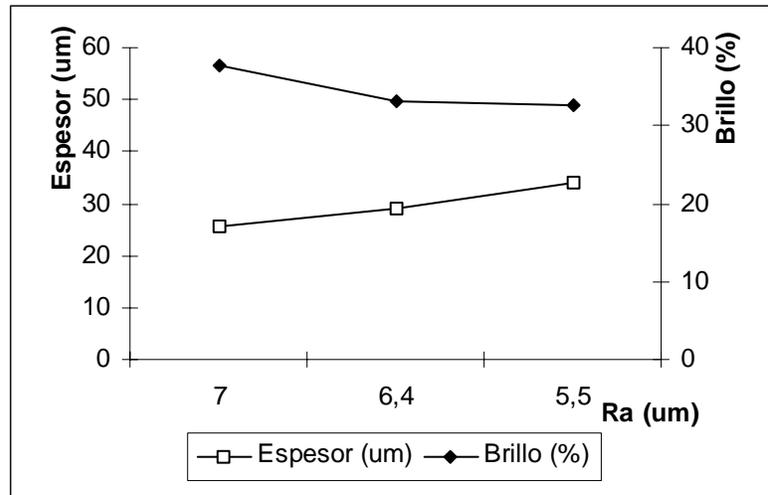


Figura 6. Efecto del lijado de tres granos de lijado, en la dirección radial de la madera en el espesor de barniz y el brillo.

La figura 6 muestra como al disminuir la rugosidad Ra (7 - 6,4 - 5,5) a medida que aumenta el grano de lijado (120, 150, 180) en la cara radial, el espesor del film de barniz aumenta pero el brillo disminuye. Esto se puede explicar porque el barniz Sellolac es de terminación mate y al aumentar el espesor de este el efecto se acentúa.

Al comparar ambas exposiciones anatómicas no se observan diferencias significativas en el brillo entre las caras tangenciales y radiales.

Cuadro 4. Resumen promedio de los principales parámetros obtenidos en la dirección tangencial de la madera, con el método de aplicación HVLP.

Radial HVLP

Lijado	Ra (um)	Adherencia *
120	7	4
150	6,4	4
180	5,5	4

Los cuadros 4 y 5 muestran el efecto de la rugosidad en la adherencia obtenida por le barniz nitro celulósico Sellolac-mate, tanto en las caras radiales como tangenciales. Se puede observar en ambos cuadros que los niveles de adherencia son iguales obteniendo una puntuación 4 de un puntaje máximo de 5. Una puntuación 5 significa buena adherencia en cambio acercándonos al 0 empeora

Cuadro 5. Resumen promedio de los principales parámetros obtenidos en la dirección radial de la madera, con el método de aplicación HVLP.

Tangencial HVLP

Lijado	Ra (um)	Adherencia *
120	7,8	4
150	6,4	4
180	6,5	4

5 CONCLUSIONES

-La rugosidad en la madera en este estudio manifiesta estar comandada por el tipo de grano usado en el lijado.

-La exposición anatómica muestra cierta influencia, las caras tangenciales produjeron una mayor rugosidad que las radiales.

-A mayor rugosidad mayor consumo de barniz nitrocelulósico Sellolac-mate

-La rugosidad en la madera producto del lijado tiene un efecto sobre el espesor final del tratamiento superficial.

-Indirectamente la rugosidad determina el nivel de brillo del acabado superficial

6 BIBLIOGRAFIA

- Infante, T.R. 2002. Pinturas y Barnices. Actas. Seminario Conocimientos sobre protección de la madera; Nuevas Opciones, Nuevos Productos, Nuevos Mercados.11-12 oct. valdivia, Chile.
- Corma, 2005. Industria del mueble en Chile. INTERNET:
<http://www.Lignum.cl/articulos/repmuebles66.pdf> Octubre, 2005
- Hinojosa, M .Reyes.2003. La rugosidad de superficies: Topometría.
Revista Vol. IV, No. 11.
- Hiziroglu, 2005. Propiedades de la superficie. INTERNET:
<http://www.okstate.edu/ag/asanr/fore/people/faculty/hiziroglu.html>
Septiembre 9, 2005
- Lignum, 2005. Industria del mueble desafíos. INTERNET
<http://www.estrategia.cl/histo/200311/10ambito/muebles.htm> Octubre 13, 2005
- Lemaster, R.; B. Klmacki; D. Dornfeld. 1982. Analysis of acoustic Emission in Slow Speed Wood Cutting. WOOD Science. 15(2):150-160
- López, G., E 2005. Caracterización de superficies maquinadas por medio de Parámetro de rugosidad. INTERNET: <http://www.elopez@uanl.mx>
- Niemz, P.; R. Juacida; A. Aguilera. 1997 Tecnología de muebles. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile, facultad de Ciencias Forestales, Instituto de tecnología de productos Forestales. 115p.
- Nutsch, W. 2000. Tecnología de la Madera y el mueble. Trad. por José Company. 13ª ed. España, Reverté S. A.
- Rolleri, A. 2003. Caracterización de superficies de paneles base-madera por métodos de contacto y no contacto. Tesis doctoral. Universidad de Gottingen.10 p.
- Vignote, S., F. Jiménez. 2000. Tecnología de la madera. 2ª Edición. Madrid-España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General Técnica, Centro de publicaciones.109p.

ANEXO

Resumen de rugosidad promedio

En el cuadro 6 y 7 se aprecian los valores de rugosidad promedio para los dos planos de la madera estudiados.

Cuadro 6

grano de lija	PARAMETROS DE RUGOSIDAD			
	RA	RQ	RY	RZ
120	6,1	7,8	52,3	43,4
150	5,0	6,4	42,6	35,8
180	5,1	6,5	44,3	37,0

Cuadro 7

grano de lija	PARAMETROS DE RUGOSIDAD			
	RA	RQ	RY	RZ
120	5,5	7,0	47,1	38,7
150	5,0	6,4	44,9	37,1
180	4,3	5,5	39,7	31,8

Propiedades mecánicas y de apariencia del barniz Sellolac mate.

En el cuadro 8 se encuentran los valores promedio del brillo obtenidos a las probetas, con el método de aplicación HVLP de barniz.

Cuadro 8

Lija 120	Espesor (um)	Lija 150	Espesor (um)	Lija 180	Espesor (um)
120211	36,0	150111	17	18011	29
120212	44,0	150112	17	18012	17
120213	48,0	150113	42	18013	28
Promedio =	42,7		25,3		25
120221	19,0	150121	32	18021	54
120222	23,0	150122	29	18022	57
120223	22,0	150123	25	18023	76
Promedio	21,3		28,7		62,3
120241	19,0	150131	13	18031	26
120242	6,0	150132	9	18032	32
120243	6,0	150133	12	18033	27
promedio	26,1		11,3		28
120251	5,0	150141	68	18041	21
120252	35,0	150142	47	18042	24
120253	32,0	150143	39	18043	13
Promedio	24,0		51,3		19,3
120261	22,0	150151	28	18051	41
120262	31,0	150152	30	18052	32
120263	32,0	150153	32	18053	26
Promedio	28,3		30		33
120271	39,0	150161	29	18061	24
120272	9,0	150162	36	18062	63
120273	13,0	150163	63	18063	84
Promedio	20,3		42,7		57
120281	28,0	150171	23	18071	70
120282	24,0	150172	27	18072	63
120283	25,0	150173	25	18073	84
Promedio	25,7		25		72,3
120291	25,0	150181	19	18081	40
120292	23,0	150182	32	18082	56
120293	18,0	150183	37	18083	66
Promedio =	22,0	Promedio =	29,3	Promedio =	54,0

En el cuadro 9 se encuentran los valores de adherencia

Cuadro 9

evaluación de la propiedad de adherencia método de aplicación HVLP					
lijado 120		lijado 150		lijado 180	
probeta	evaluación	probeta	evaluación	probeta	evaluación
30r	5	2	5	17	4
28	4	4	5	14	5
29	5	9	5	12	5
23	4	10	4	13	5
27	5	6	5	16	5
21t	4	7	5	19	5
25	5	1	5	11	5
26	5	3	5	15	4
24	4	8	5	20	5
22	5	5	4	18	5

* Pauta de evaluación de impacto: 0-5. Siendo 5 la mejor evaluación.

En los cuadros 10 al 15 se pueden apreciar los valores promedios del consumo de barniz alcanzados para el sistema de aplicación HVLP, para los distintos granos de lijado de las maderas y en las dos direcciones de la madera considerados.

Cuadro 10

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac lijado 120				2ª mano de aplicación de barniz HVLP		
plano	peso i	peso seco	variación	peso seco	variación	variación total
28/r	259,97	261,18	1,21	267,57	6,39	7,6
30/r	276,11	276,17	0,06	279,58	3,41	3,47
23	272,86	272,97	0,11	276,48	3,51	3,62
29	225,4	225,83	0,43	229,13	3,3	3,73
27	253,24	253,95	0,71	257,06	3,11	3,82
21/t	285,19	286,28	1,09	289,09	2,81	3,9
25	245,1	246,54	1,44	249,75	3,21	4,65
26	242,26	243,84	1,58	247,45	3,61	5,19
24	238,82	240,14	1,32	243,54	3,4	4,72
22	272,28	273,67	1,39	277,07	3,4	4,79

Cuadro 11

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac (HVLP) lijado 120					2ª mano de barniz	
plano	peso i	peso húmedo	peso seco	variación P H	P húmedo	variación t
28/r	259,97	262,06	261,18	2,09	274,17	14,2
30/r	276,11	276,86	276,17	0,75	283,28	7,17
23	272,86	273,27	272,97	0,41	280,18	7,32
29	225,4	226,02	225,83	0,62	233,13	7,73
27	253,24	254,76	253,95	1,52	260,26	7,02
21/t	285,19	287,28	286,28	2,09	291,68	6,49
25	245,1	248,25	246,54	3,15	253,25	8,15
26	242,26	245,44	243,84	3,18	251,25	8,99
24	238,82	241,64	240,14	2,82	247,05	8,23
22	272,28	275,08	273,67	2,8	280,68	8,4

Cuadro 12

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac (HVLP) lijado 150				2ª mano de aplicación de barniz HVLP		
plano	peso i	peso seco	variación	peso seco	variación grs.	variación total
17/r	272,14	273,87	1,73	277,47	3,6	5,33
14	267,61	268,97	1,36	271,67	2,7	4,06
12	231,63	233,84	2,21	236,73	2,89	5,1
13	265,66	267,67	2,01	271,07	3,4	5,41
16	265,78	267,97	2,19	270,47	2,5	4,69
19t	275,58	277,07	1,49	279,47	2,4	3,89
11	266,46	267,96	1,5	270,67	2,71	4,21
15	262,02	264,07	2,05	266,67	2,6	4,65
20	275,53	277,07	1,54	279,88	2,81	4,35
18	262,74	264,66	1,92	266,76	2,1	4,02

Cuadro 13

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac (HVLP) lijado 150					2ª mano de barniz	
plano	peso i	peso húmedo	peso seco	variación p H	P húmedo	variación T
17/r	272,14	275,87	273,87	3,73	279,07	6,93
14	267,61	270,97	268,97	3,36	272,67	5,06
12	231,63	236,24	233,84	4,61	237,94	6,31
13	265,66	269,87	267,67	4,21	272,27	6,61
16	265,78	270,37	267,97	4,59	271,37	5,59
19	275,58	278,77	277,07	3,19	280,28	4,7
11	266,46	269,87	267,96	3,41	271,37	4,91
15	262,02	266,07	264,07	4,05	267,77	5,75
20	275,53	278,16	277,07	2,63	281,28	5,75
18	262,74	266,26	264,66	3,52	267,27	4,53

Cuadro 14

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac lijado 180				2ª mano de aplicación de barniz HVLP		
plano	peso i	peso seco	variación	peso seco	variación grs.	variación total
5/r	296,51	297,29	0,78	299,29	2	2,78
2	269,35	270,87	1,52	272,97	2,1	3,62
4	242,12	243,04	0,92	245,94	2,9	3,82
9	262,62	264,56	1,94	266,56	2	3,94
10	268,71	269,77	1,06	270,67	0,9	1,96
6/t	256,71	258,26	1,55	260,26	2	3,55
7	239,61	241,54	1,93	243,74	2,2	4,13
1	268,28	269,67	1,39	271,87	2,2	3,59
3	268,69	270,87	2,18	272,87	2	4,18
8	254,36	256,66	2,3	258,76	2,1	4,4

Cuadro 15

aplicación 1ª mano de barniz Sellolac (HVLP) lijado 180					2ª mano de barniz	
plano	peso i	peso húmedo	peso seco	variación P H	P húmedo	variación T
5/r	296,51	298,68	297,29	2,17	300,49	3,98
2	269,35	275,57	270,87	6,22	274,17	4,82
4	242,12	244,24	243,04	2,12	247,25	5,13
9	262,62	265,87	264,56	3,25	267,87	5,25
10	268,71	271,07	269,77	2,36	271,08	2,37
6/t	256,71	259,76	258,26	3,05	261,96	5,25
7	239,61	243,44	241,54	3,83	245,44	5,83
1	268,28	275,17	269,67	6,89	273,17	4,89
3	268,69	272,77	270,87	4,08	274,27	5,58
8	254,36	259,16	256,66	4,8	260,46	6,1