



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Relación del estado superficial con la calidad de las
uniones en madera laminada encolada de *Pinus Radiata*
D.Don.

Patrocinante: Sr. Aldo Rolleri.

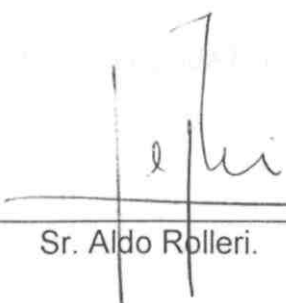
Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para
optar al Título de **Ingeniero en
Maderas.**

FRANCISCO JOSÉ ORTÚZAR TRONCOSO
VALDIVIA
2008

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Aldo Rolleri	6,0
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera	4,6
Informante:	Sr. Héctor Cuevas	5,3

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.

Dedicado a las generaciones presentes y futuras.

Dedicado a mi Madre, Sonia Troncoso Villarroel, quien me ha enseñado que cada paso es importante, que me ha enseñado a estar presente en cada movimiento, y la entrega en él.

A mi familia, Mi abuela, mis tíos, mi hermana, y todos aquellos quienes tuvieron una palabra para encaminar mi energía, y amor hacia las cosas que hago.

A la memoria de Mario Valenzuela, Hilda Fuentealba, Sonia León.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos, cuanto me apoyaron y estuvieron presentes en mi desarrollo como estudiante.

A los amigos entrañables que me apoyaron a la distancia en cada paso que di, y a los amigos que se hicieron en el camino. A ellos mis agradecimientos, por la importante e inmensa entrega de amistad, la que me permitió estar lejos de casa.

A las numerosas familias de Valdivia que me abrieron sus puertas, para ser uno de más de ellos, llenando el vacío inmenso de estar lejos del hogar.

A toda la comunidad universitaria, auxiliares, secretarias, ayudantes, técnicos, y profesores, por su entrega y dedicación para con la formación de todos quienes elegimos nuestra casa de estudio.

Al inmejorable recuerdo de las instalaciones cuidadas por todos, y disfrutadas en caminatas, conversaciones, reflexiones, y actividades.

A la ciudad de Valdivia que siempre ha demostrado que somos sus hijos, y nos ha cuidado a lo largo de la historia.

A los sentimientos y emociones que inundaron cada día de mi estadía en Valdivia. El amor conocido, la pena, la tristeza, el dolor, la alegría, las fuerzas y el júbilo.

A mi familia que inculco el amor por el estudio, la entrega, y la responsabilidad para asumir el desafío de formarse para ser profesional.

Algunas palabras;

La ciencia de la madera, específicamente el conocimiento que generamos para la sociedad, debe estar cargado de un fuerte código ético. Debemos buscar en cada conocimiento una nueva raíz que asegure el desarrollo sostenible.

La utilización responsable de material químico, como adhesivos, permite asegurar un medio ambiente sostenible en el tiempo.

El desarrollo tecnológico, principalmente la investigación, debe seguir avanzando en una línea científico-ética, donde el principal componente no sea solo el económico o el productivo, debe agregarse también el medio ambiente.

El fuerte dilema desarrollo-medio ambiente, plantea la necesidad de un nuevo paradigma en este tema. Un planteamiento, que asegure la producción de bienes, necesarios para el ser humano, pero a la vez una producción responsable.

En la formación futura, para llegar al tan esperado desarrollo sustentable, necesitamos identificar los principios de un conocimiento pertinente, capaz de abordar los problemas globales y fundamentales, superando así, el conocimiento fragmentado propio de la división en disciplinas.

	ÍNDICE DE MATERIAS	Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MARCO TEÒRICO	3
2.1	Madera laminada encolada	3
2.2	Calidad superficial	6
2.2.1	Rugosidad superficial	3
2.2.2	Parámetros que afectan la rugosidad superficial	10
2.3	Adhesivos	11
2.4	Relación entre la rugosidad y la adhesión de dos superficies	12
2.4.1	Factores que afectan la adhesión de dos superficies	13
3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	15
3.1	Materiales	15
3.1.1	Madera	15
3.1.2	Adhesivo	15
3.1.3	Normas y Equipos	16
3.2	Método	16
3.2.1	Obtención de tablillas con superficie variable	16
3.2.2	Preparación de probetas a base de tablillas	18
3.2.3	Ensayo de cizalle a través del adhesivo	20
3.2.4	Criterios para el análisis de resultados	21
4.	RESULTADO Y DISCUSIÓN	22
4.1	Determinación de la calidad superficial y la influencia de la velocidad de rotación	22
4.2	Determinación de la resistencia al cizalle de probetas elaboradas	25
4.3	Determinación de los mejores estados superficiales que aseguren una buena adhesión.	28
5.	CONCLUSIONES	30
6.	BIBLIOGRAFIA	31
	ANEXOS	33
	1 <i>Abstract and Keywords</i>	34
	2 Valores R_a y R_z obtenidos por método de contacto en tablillas cepilladas	36
	3 Valores de tensión de ruptura por cizalle, contenido de humedad y densidad	40

	ÍNDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1	Descripción de los parámetros de rugosidad	8
Figura 2	Tablillas de 300x60x23 (mm) antes de maquinado	17
Figura 3	Proceso de maquinado de tablillas	17
Figura 4	Parámetros R_z de rugosidad superficial	18
Figura 5	Probeta de tablillas encoladas por ambas caras	18
Figura 6	Probeta formada por cinco tablillas, nomenclatura y posterior prensado	19
Figura 7	Probetas de ensayo cizalle (mm)	21
Figura 8	Influencia de la velocidad de rotación sobre la rugosidad superficial. Primera experiencia	23
Figura 9	Influencia del espesor de viruta sobre la rugosidad superficial	23
Figura 10	Influencia de la velocidad de rotación sobre la rugosidad superficial. Primera experiencia	24
Figura 11	Influencia de la velocidad de rotación sobre la rugosidad superficial. Segunda experiencia	25
Figura 12	Procesos definidos en la experiencia	25
Figura 13	Porcentaje de probetas para ensayo	26
Figura 14	Porcentaje de probetas para ensayo de resistencia al cizalle	26
Figura 15	Gráfico de Cajas y Bigotes	27
Figura 16	Esquema gráfico tipos de adhesiones	

		28
	ÍNDICE DE CUADROS	
Cuadro 1	Ventajas y desventajas de la madera laminada	5
Cuadro 2	Especificaciones técnicas del adhesivo OXILITE 6254	15
Cuadro 3	Especificaciones técnicas del catalizador FR-6054	16
Cuadro 4	Descripción de parámetros de maquinado	17
Cuadro 5	Condiciones de operación	19
Cuadro 6	Características de preparación de probeta formada por tablillas para la obtención de probetas de cizalle	20
Cuadro 7	Matriz de diseño general	21
Cuadro 8	Rugosidad superficial (μm), velocidad de rotación (min^{-1}), Velocidad de avance (m/min), ángulo de fibra y espesor de viruta (mm). Primera experiencia	22

Cuadro 9	Rugosidad superficial (μm), velocidad de rotación (min^{-1}), ángulo de fibra y espesor de viruta. Segunda experiencia	24
Cuadro 10	Valores de tensión de ruptura por cizalle paralelo en (Kg/cm^2)	27

Dedicado a las generaciones presentes y futuras.

Dedicado a mi Madre, Sonia Troncoso Villarroel, quien me ha enseñado que cada paso es importante, que me ha enseñado a estar presente en cada movimiento, y la entrega en él.

A mi familia, Mi abuela, mis tíos, mi hermana, y todos aquellos quienes tuvieron una palabra para encaminar mi energía, y amor hacia las cosas que hago.

A la memoria de Mario Valenzuela, Hilda Fuentealba, Sonia León.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos, cuanto me apoyaron y estuvieron presentes en mi desarrollo como estudiante.

A los amigos entrañables que me apoyaron a la distancia en cada paso que di, y a los amigos que se hicieron en el camino. A ellos mis agradecimientos, por la importante e inmensa entrega de amistad, la que me permitió estar lejos de casa.

A las numerosas familias de Valdivia que me abrieron sus puertas, para ser uno de más de ellos, llenando el vacío inmenso de estar lejos del hogar.

A toda la comunidad universitaria, auxiliares, secretarias, ayudantes, técnicos, y profesores, por su entrega y dedicación para con la formación de todos quienes elegimos nuestra casa de estudio.

Al inmejorable recuerdo de las instalaciones cuidadas por todos, y disfrutadas en caminatas, conversaciones, reflexiones, y actividades.

A la ciudad de Valdivia que siempre ha demostrado que somos sus hijos, y nos ha cuidado a lo largo de la historia.

A los sentimientos y emociones que inundaron cada día de mi estadía en Valdivia. El amor conocido, la pena, la tristeza, el dolor, la alegría, las fuerzas y el júbilo.

A mi familia que inculco el amor por el estudio, la entrega, y la responsabilidad para asumir el desafío de formarse para ser profesional.

Algunas palabras;

La ciencia de la madera, específicamente el conocimiento que generamos para la sociedad, debe estar cargado de un fuerte código ético. Debemos buscar en cada conocimiento una nueva raíz que asegure el desarrollo sostenible.

La utilización responsable de material químico, como adhesivos, permite asegurar un medio ambiente sostenible en el tiempo.

El desarrollo tecnológico, principalmente la investigación, debe seguir avanzando en una línea científico-ética, donde el principal componente no sea solo el económico o el productivo, debe agregarse también el medio ambiente.

El fuerte dilema desarrollo-medio ambiente, plantea la necesidad de un nuevo paradigma en este tema. Un planteamiento, que asegure la producción de bienes, necesarios para el ser humano, pero a la vez una producción responsable.

En la formación futura, para llegar al tan esperado desarrollo sustentable, necesitamos identificar los principios de un conocimiento pertinente, capaz de abordar los problemas globales y fundamentales, superando así, el conocimiento fragmentado propio de la división en disciplinas.

RESUMEN EJECUTIVO

Se estudia la influencia de la calidad superficial producto del cepillado en tablillas de *Pinus radiata* D.Don, sobre la rugosidad superficial, para obtener superficies que permitan relacionar la calidad de la unión en madera laminada encolada. Los resultados de la rugosidad obtenida por método de contacto, y validando los parámetros R_z y R_a , permite contribuir al conocimiento de la especie *Pinus radiata* D.Don, madera de alto interés comercial en Chile.

Las condiciones de maquinado es un tema estudiado y comprobado. La variación las velocidades de rotación o la velocidad de avance modifican las superficies. Los resultados permiten determinar que en los procesos de maquinado, específicamente la variación en la velocidad de rotación, afecta notoriamente la calidad de la rugosidad superficial, manteniendo constante la velocidad de alimentación (V_f). El efecto de la variación en la velocidad de rotación de la herramienta genera un deterioro importante en la calidad de la superficie, donde además juegan un papel fundamental variables inherentes a la madera, y variables de los procesos de transformación.

La relación entre la rugosidad superficial y la cantidad de adhesivo es un tema estudiado, pero de poca relevancia. Los resultados en esta investigación, y después de realizado el ensayo de resistencia al cizalle, en dos ocasiones, muestran que las tablillas encoladas con resorcinol-fenol-formaldehído, no logran el valor de resistencia al cizalle para madera de *Pinus radiata* D.Don. El estudio de la influencia que puede tener la cantidad de adhesivo, y su relación con la calidad de una superficie, genera respuestas, independiente de no lograr los valores de resistencia mínimos, ya que las probetas ensayadas, no presentan porcentaje de falla de madera. Las uniones, por tanto se piensa, fallan en la línea de cola, por lo tanto esta falla pone de manifiesto que no puede determinarse la relación entre la resistencia al cizalle y la rugosidad superficial de la madera, pero si permite identificar las variables que participan en el proceso.

Palabras claves: superficie, cepillado, rugosidad, adhesivo, pino radiata,

Abstract and Keywords

The influence of the slats brushing is studied for the *Pinus radiata D.Don*, applied on surface roughness, in order to obtain surfaces that give us its relation with the joint quality on laminated stuck down wood. The results of the roughness obtained by a method of contact, and validating the parameters Rz and Ra, contributes to the knowledge of the specie *Pinus radiata D.Don*, wood of a high commercial interest in Chile. There are also identified the concepts involved in a responsible investigation, which permits an identification of the variables involved in the wood conversion processes.

The schemed conditions are a studied and verified issue. The variation in the rotation speed or in the advance speed, do modify the surfaces. The result determinate that, during the schemed process, specifically the variation of the rotation speed when keeping the feed speed (V_f) constant, affects notoriously the quality of the surface roughness. The effect of the variation on the rotation speed of the tool generates an important deterioration to the quality of the surface.

The relation between the surface roughness and the quantity of adhesive is a studied issue, but of a little relevancy. The results in this investigation, and once the essay of resistance, during two events, showed that the slats stuck down with resorcinol-fenol-formaldehido, do not achieve the value of resistance to the cizalle for wood of *Pinus radiata D.Don*. The study of the influence that could have the quantity of adhesive added, and its relationship with the quality of a surface, generates some answers, independently of not achieving the minimal values of resistance, due to the tested burettes, do not present percentage of wood fails. The joints, therefore, they fail in the tail line, therefore this fail brought up that can not be determinate the relationship between the resistance and the surface roughness of the wood, but it does permits to identify the variables that do participate in the process, doing this way.

Key words: surface, brushing, roughness, adhesive, pin radiata.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la madera, específicamente la remanufactura del pino radiata en Chile, muestra tendencias significativas en el ámbito de la exportación. La exportación de productos con valor agregado plantea la incorporación de nuevas tecnologías, sumado a ello la investigación. La incorporación de estas tecnologías no siempre facilita la reducción de costos, o hace más rentable una actividad, por lo mismo es necesario entender con profundidad los procesos de conversión de la madera para lograr calidad en un producto final.

Esta profundización de los procesos, debido al desarrollo de productos de mayor elaboración, potencia sin duda nuevos mercados, y así el crecimiento de novedosos procesos. Pero este beneficio para la industria y el consumidor, genera una o varias contraposiciones que deben ser identificadas y analizadas.

En la industria de la madera, los procesos de conversión han alcanzado un desarrollo exponencial, encontrando en ella la industria de laminados. La madera laminada encolada es un material versátil, que se forma con piezas de madera, unidas con adhesivo, por sus extremos o por sus caras, de tal manera que las fibras queden paralelas al eje del elemento. De esta forma se pueden obtener elementos, que no estén limitados en sus dimensiones, ni en sus formas.

Este trabajo estudia el efecto de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial, y la relación de éstos, con tres gramajes aplicados a las superficies estudiadas.

Las condiciones de maquinado es un tema estudiado y comprobado. La variación de las velocidades de rotación o la velocidad de avance modifican las superficies. En este trabajo se mantendrá una de ellas constante, y se caracterizará la superficie a través de método de contacto, tratando de comprobar que los parámetros R_z y R_a entregan valores claramente definidos, y decisivos.

La relación entre la rugosidad superficial y la cantidad de adhesivo es un tema estudiado, pero de poca relevancia. Comprobar la influencia que puede tener la cantidad de adhesivo, y su relación con la calidad de una superficie, genera respuestas para la industria y para su contraparte. El beneficio que podría traer una **disminución** en el uso del adhesivo resorcinol fenolformaldehído, significaría un gran avance. Simplemente identificar su utilización en la industria, y su participación en la elaboración de laminados, permite entender el alcance de una investigación responsable.

Objetivo general

Evaluar y cuantificar la calidad superficial producto del cepillado en madera de *Pinus radiata* D.Don con la finalidad de identificar los mejores estados superficiales que aseguren una buena adhesión y a su vez evaluar la aplicación de tres gramajes para identificar la relación entre la calidad de la superficie y la cantidad de adhesivo.

Objetivos específicos;

Se evaluará la rugosidad por método de contacto en tablillas de *Pinus radiata* D.Don, para determinar la influencia de los cambios de tres condiciones de cepillado sobre la rugosidad superficial.

Se evaluará la unión de tres superficies encoladas, a través del ensayo de resistencia al cizalle paralelo.

Se buscará establecer relaciones entre las tres rugosidades superficiales finales obtenidas en los procesos de cepillado, y las tres cantidades de adhesivo aplicado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Madera laminada encolada

La madera laminada encolada es un material versátil, que se forma con piezas de madera, unidas con adhesivo, por sus extremos y caras, de manera tal que las fibras queden paralelas al eje del elemento (Pérez *et al.*, 2001).

Lo Corporación de la Madera (Corma) en su compendio de directrices para enseñanza en Ingeniería (2003), detalla que dependiendo del elemento de unión, se tendrán diferentes tipos de madera laminada. Si el elemento de unión es clavo, será madera laminada clavada, si es perno, será madera laminada apernada, y si es por medio de cola adhesiva, esta se denominara madera laminada encolada, las cuales son más conocidas como “madera laminada”, y a estas nos referiremos en este estudio.

Según Cuevas (1980) y Pérez *et al.* (2001), las especies utilizadas frecuentemente en la fabricación de madera laminada encolada corresponden a coníferas, aunque puntualmente es posible construir maderas laminadas de latifoliadas, con la única salvedad de verificar su compatibilidad con los adhesivos de uso frecuente en esta industria.

El pino radiata, especie conífera, según las estadísticas del Instituto Forestal del 2005, citado por Vega *et al.* (2007), es la especie más importante en la Industria de la madera en Chile, con una superficie plantada de 1,4 millones de hectáreas, que corresponde al 67,8% del total de la superficie de plantaciones en el país. De esto, se desprende la importancia que tendría una especie como pino radiata en la elaboración de madera laminada encolada.

Este importante aspecto del pino radiata, genera condiciones para su trabajo, y el desarrollo de nuevos productos, sumando a ello una industria de transformación secundaria, donde se enmarca la fabricación de maderas laminadas. Pero este escenario según Vega *et al.* (2007), debe acompañarse necesariamente de estudios que permitan determinar las condiciones de corte y consumo de energía adecuadas para lograr altos niveles de producción y calidad, de acuerdo con el uso final del producto.

La fabricación de maderas laminadas encoladas es un proceso industrialmente sencillo, pero sometido a rigurosos controles durante su elaboración. Básicamente consiste en utilizar tablillas de madera secadas adecuadamente, sometidas a un cepillado y posteriormente encoladas y sometidas a presión hasta alcanzar una pieza de las dimensiones deseadas (Cuevas, 1980).

De esta forma, asegura Pérez *et al.* (2001), se pueden obtener elementos, que no están limitados en cuanto a su sección transversal, longitud o forma. Por razones de secado y economía, fundamentalmente, se ha llegado a la conclusión de que el espesor de las láminas no debe ser inferior a 19 (mm) ni sobrepasar los 50 (mm).

Si las láminas son paralelas al plano de flexión del elemento, se dice que la laminación es "horizontal" y cuando estas son normales al plano neutro de flexión se dice que la laminación es "vertical".

En Chile, en el año 1964, con el propósito de introducir en el país nuevas aplicaciones para la madera, el Instituto Forestal (INFOR) realizó la primera construcción, científicamente controlada, de una estructura de madera laminada. En 1967, se construye la Capilla de los Padres Franceses de Viña del Mar, también bajo la supervisión del INFOR. La mayor obra realizada en esta primera etapa, en nuestro país, fue la construcción de la ex sede del INFOR, en la comuna de La Reina, con una superficie construida de 9.025 (m²). Como un factor de desarrollo para la industria nacional cabe destacar la importancia que tuvo la planta piloto de INFOR, que inició su producción en 1983 y que en 1984 alcanzó a producir un total de 56.4 (m³). (Pérez *et al.*, 2001; Corma, 2003).

En el Cuadro 1 se pueden observar las ventajas y desventajas descritas por Pérez *et al.* (2001) y la Corporación de la Madera (Corma 2003), luego de realizadas varias experiencias con maderas laminadas encoladas. Es importante resaltar el aspecto económico en la elaboración de madera laminada encolada, ya que en la elaboración de estos elementos se pueden utilizar tablas cortas y angostas, o el uso de láminas de menos calidad, logrando así un eficiente uso del material que no tiene otra utilización.

Además de esto, la elaboración de madera laminada genera elementos estructurales con características y propiedades propias logrando una baja razón peso/resistencia, lo que disminuye los costos en relación a su puesta en servicio, además de sus características deseables de resistencia al fuego.

En relación a sus desventaja Pérez *et al.* (2001), señala que los elementos laminados son mas costosos que la madera sin laminar, aunque debido a las exigencias de protección al medio ambiente, en particular el bosque nativo, estos elementos son efectivos para luces superiores a los 4,6 (m). Sobre este mismo punto Corma (2003), señala además que alrededor del 50% es perdida en la fabricación de madera laminada encolada, debido a las uniones de extremos, terminaciones y consideraciones de diseño. Pérez *et al.* (2001) y Corma (2003) coinciden que el adhesivo esta condicionado al uso que se le va a dar al elemento laminado. Así, los adhesivos que se requieren para estructuras que serán utilizados al exterior, son costosos en comparación con los de uso interior, ya que en Chile hay que importarlos.

Se suma a estas desventajas que los elementos laminados pueden ser de gran longitud y gran curvatura, por lo que su manipulación, embarque y transporte incide en el costo final del elemento de madera (Corma, 2003). A esto, añade Pérez *et al.* (2001), debería sumarse el costo de elaborarlas en fabricas industrializadas, ya que no es conveniente fabricarlas en obra, lo que implicaría la necesidad de equipos (horno de secado, sierra huincha, cepilladoras, entre otras), además de técnicas especiales, por tanto, la necesidad de mano de obra calificada.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de la Madera Laminada

Ventajas	Desventajas
El adhesivo permite el uso de Tablas cortas y angostas que, unidas eficientemente, pueden conformar piezas estructurales de cualquier espesor, largo, ancho y de forma no restringidas.	Muy a menudo son muy pesadas respecto al uso que se les da.
El espesor de las Tablas, menor que 50 (mm), permite secarlas fácilmente, al contenido de humedad deseado, antes de usarlas, con menos defectos de secado y, por lo tanto de la estructura misma.	Comparadas con la madera sin laminar, son más costosas, especialmente en vigas rectas; en vigas curvas no hay comparación. El factor económico comprende tres rubros: Adhesivo, Mano de Obra y Madera. Lo más caro es la madera, luego está la mano de obra y, por último el adhesivo.
El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia con la consiguiente economía, y utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación (mayor esfuerzo unitario). Además, es posible usar combinaciones de distintas especies.	El factor pérdida durante su fabricación es bastante elevado, alrededor de 50%, tanto en madera como en adhesivo, debido a las uniones de extremos, terminaciones y consideraciones de diseño.
La madera laminada permite diseñar elementos que son prácticos y artísticos, en los cuales la sección transversal puede variar con los esfuerzos a que queda sometido el elemento. El elemento terminado no necesita estar oculto o tener una caja de ubicación, como es el caso de otras construcciones debido a que es estéticamente agradable.	El adhesivo debe estar condicionado al uso que se le va a dar al elemento. Así, los adhesivos que se requieren para estructuras que van al exterior son de elevado costo. En Chile hay que importarlos.
Sus grandes dimensiones en la sección transversal, la hacen más resistentes al fuego. Estas construcciones se queman más lentamente y resisten la penetración de calor. Esto no significa que la madera laminada no sea combustible, el avance de la carbonización es muy lento (0,8 mm/min.).	Se necesita, para su fabricación, de equipos y técnicas especiales. Los equipos son caros. Se debe conocer el proceso de fabricación y contar con mano de obra especializada.
Los elementos laminados tienen una baja razón peso / resistencia., por lo cual pueden ser levantados y puestos en servicio con un bajo costo, además de necesitar muy poco de la sección transversal para autosoportarse.	No siempre se pueden producir en obra, lo cual implica un costo adicional para transporte que, a veces, llega a ser elevado, especialmente cuando los elementos son grandes.
	Elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manipular, embarcar y transportar lo que incide en el costo final del elemento de madera.

De acuerdo a estudios realizados por el Instituto Forestal (INFOR), y materializado en el texto “LVL vigas de chapas laminadas confeccionadas con pino radiata y eucaliptos nitens”, publicado en Abril de 2007, entre los elementos denominados madera laminada encolada podemos encontrar en el mercado, y de acuerdo al fuerte crecimiento en sus indicadores de producción y demanda en los productos denominados de ingeniería en madera (PIM), cuyo nivel de producción creció desde

los 1,8 millones de (m³) en 1996 a 3,5 millones de (m³) en el 2003, el producto llamado LVL (laminated veneer lumber), cuyas principales aplicaciones se dividen en estructurales y no estructurales, entre otros: puertas, ventanas, vigas doble T, dinteles, portones, entre otros. Cabe mencionar que una de las grandes fortalezas del LVL radica en la aplicación industrial de trozas de bajo diámetro, obteniendo altos índices de rendimiento de materia prima (mayores a 55%).

Los elementos denominados de ingeniera en madera, corresponden a una mezcla óptima de ingeniería y recurso maderero, condición que les aporta apreciable estabilidad dimensional, alta resistencia y excelente confiabilidad. Estos productos se encuentran en la etapa inicial de crecimiento del ciclo de vida de los productos, en un nivel inferior al que presentan los tableros OSB, la madera aserrada clasificada mecánicamente y las vigas laminas, producto que por cierto ya se elaboran y comercializan en el país.

El LVL, corresponde a un conjunto de láminas secas de madera, generalmente de 3,2 (mm) de espesor, dispuestas en la misma orientación de las fibras, adheridas y densificadas con ayuda de adhesión, presión, y temperatura. Sus principales aplicaciones se encuentran como envigados de piso o entrepiso, como un solo elemento, o bien formando parte de las alas de las vigas doble T.

2.2 Calidad superficial

Para el caso de madera laminada encolada, es decir, un producto de transformación secundaria, el concepto de calidad superficial, esta estrechamente relacionado con las condiciones de maquinado al que será expuesta la madera. En el caso del pino radiata, según Aguilera y Vega (2004), el problema se presenta en el desconocimiento de cuáles deben ser las condiciones en las que debe trabajar una maquina de manera tal que la rugosidad superficial de la madera permita la aplicación de otros productos de terminación. Así mismo. Los autores señalan que el ajuste inadecuado de las condiciones de maquinado, ya sea en cepilladoras o moldureras, además de generar una calidad superficial inapropiada, desgastara la herramienta de corte, con un consumo de energía excesiva (Aguilera y Vega, 2004)

Este problema, donde se atribuye a las condiciones de maquinado gran responsabilidad en la calidad superficial de la madera, esta también relacionada con factores endógenos de la madera. El problema fundamental, descrito por Vega y Aguilera (2005) es el desconocimiento de los rangos adecuados para las condiciones del corte con el objeto de lograr un correcto maquinado. Este problema, señalan, está dado principalmente por la heterogeneidad de la materia prima, y la característica de mayor incidencia son; La anisotropía de la madera, las grandes variaciones de la densidad, ancho de los anillos anuales y el ángulos de las fibras, dentro de una misma pieza, y entre piezas del mismo árbol.

Todas estas variables afectan fuertemente los resultados en términos de la potencia de corte, esfuerzos de corte y la calidad superficial.

En la comprensión de los procesos que generan superficies es crucial la relación entre la calidad de la superficie y su comportamiento funcional. Esta comprensión puede lograrse a través de una técnica adecuada de caracterización de las

superficies. Los métodos para analizar superficies se basan en su caracterización por medio de medidas convencionales (altura promedio, distancia entre la cresta más alta y el valle más bajo, etc. Guerrero (2003))

La caracterización de las superficies comentadas por Guerrero, es precedida por el maquinado o trabajo de la madera, el cual representa normalmente, según Aguilera y Vega (2004), un proceso casi lineal, donde se requieren diversas máquinas cada una realizando una operación específica para obtener un producto determinado. Por ello, para cada máquina y cada herramienta será necesario determinar las condiciones adecuadas según la productividad demandada y al mismo tiempo generar un producto de calidad.

Para Precision Divices Inc PDI (1998), citado por Roller (2003), el maquinado de una superficie nominal a una superficie real induce la forma, la ondulación y la rugosidad. La forma o 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. La ondulación muestra las irregularidades más grandes entre las crestas y los valles en la longitud de muestreo. La rugosidad nos muestra las irregularidades más pequeñas y finamente separadas a lo largo de una longitud de muestreo de la superficie maquinada.

A esto añade, que para la comprensión de una superficie, debe ser definida ésta, como una frontera que separa un objeto de otro. Esta superficie nominal supuesta no incluye la rugosidad superficial. Cuando la superficie nominal se altera producto de un cepillado, por ejemplo, la superficie resultante es la que llamamos superficie real (Roller 2003).

Guerrero (2003), planteará que en la industria de la madera, específicamente en aquellas que trabajan con superficies, la identificación de aspectos operacionales, lo que se suma a lo descrito por Vega *et al.* (2007), Aguilera y Vega (2004), y Vega y Aguilera (2005), permite, por ejemplo mejorar los parámetros de corte, disminuir los consumos de energía, detectar eventuales fallas de maquinado (tales como vibraciones, malas sujeciones, etc.) y encontrar situaciones de trabajo que den como resultado superficies aptas para la aplicación de adhesivos y recubrimiento de superficies, logrando de esta forma una mayor calidad en el producto final.

Finalmente, y considerando lo expuesto, debe existir en cualquier proceso una visión que considere las necesidades del mercado, las que estarán definidas según Schey (2000) en términos de función, desempeño, restricciones de tiempo, costos y otros criterios. Las especificaciones que no cumplan con las necesidades del consumidor conducen, finalmente a fallas del producto en el mercado, pero las especificaciones innecesariamente estrictas implican un costo elevado y falta de competitividad. Por lo tanto, no se necesita un exceso en el desempeño ni una vida desmedida, pero el primero debe optimizarse.

En consecuencia siempre hay un punto más allá del cual el desempeño no se puede mejorar económicamente. Schey (2000)

2.2.1 Rugosidad superficial

En estudios realizados por Vega y Aguilera (2004a), y citado por Vega et al. (2007) la rugosidad superficial esta definida como un parámetro de respuesta en el cepillado de una especie.

Para Östman (1983), citado por Rolleri (2003), la definición estándar de la rugosidad se representa con los parámetros R_a y R_z . El autor señala que R_a es la distancia media del perfil a la línea promedio, este también se llama desviación de la media aritmética y se define como la profundidad promedio de todas las profundidades entre el perfil superficial y la línea principal. Se determina como la altura de un rectángulo con longitud (l_m) y la misma área entre el perfil superficial y la línea promedio, observado en la fórmula 2 de la Figura 1. Según estudios realizados por Hiziroglu (1996), citado por Rolleri (2003), R_z es la distancia promedio entre las 5 crestas más altas y los 5 valles más profundos en la longitud de muestreo (l_e), observada en la fórmula 1 de la Figura 1. Ambos parámetros son medidos en (μm).

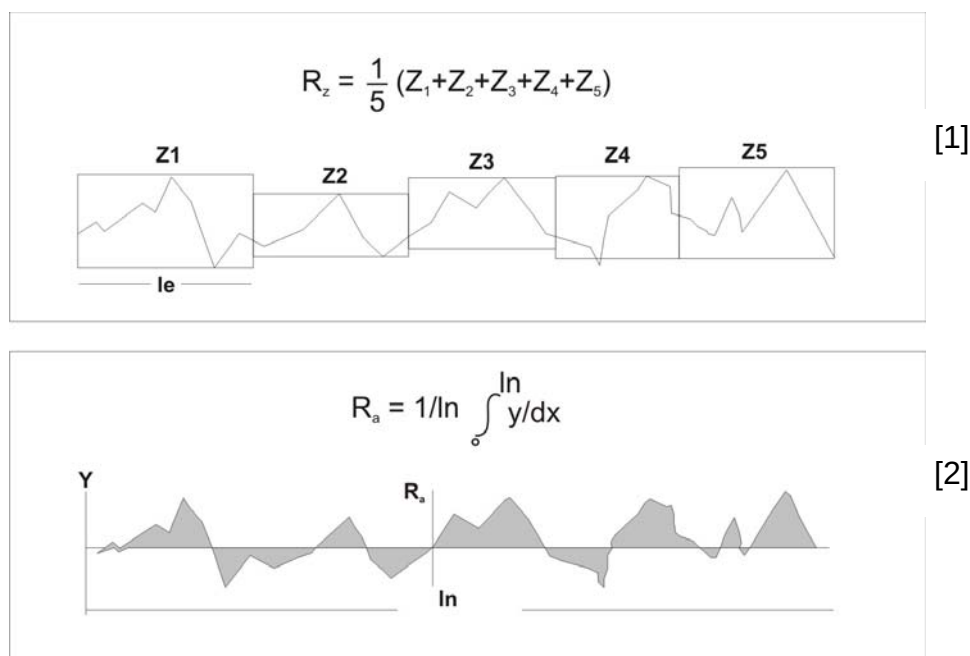


Figura 1. Descripción de los parámetros de rugosidad.

La importancia de controlar el estado superficial de la madera lo indica Lemaster y Dornfeld (1982), citado por Aguilera y Vega (2004), esta dado por la rugosidad superficial, ya que ésta va a estar directamente relacionada con el uso que se le quiera dar a una pieza. Además, agregan que un control efectivo de la calidad de la superficie permite asegurar un ensamblado correcto de las piezas y determina la aplicación de adhesivo y productos de terminación.

El perfil de rugosidad, según Rolleri (2003), y basado en un análisis microscópico, contiene elementos que ayudan a hacer una buena interpretación de las

características superficiales de un sustrato. La rugosidad de una superficie nos definirá como esta superficie trabaja si se pone en contacto con otra superficie.

Para caracterizar un perfil de rugosidad encontramos en el, según Roller (2003)

- Una altura: la altura del perfil se considera positiva sobre la línea promedio y negativa bajo ella.
- La cresta: se define por ser el punto de altura máximo dentro de la región muestreada.
- El valle: es análogo a la cresta del perfil.

Este perfil de rugosidad generado, tiene una directa relación con el material removido producto del maquinado, el cual es caracterizado a través de otro concepto conocido como espesor de viruta. Según Zivimaa (1950), citado por Vega *et al.* (2007), este producto es variable en cuanto a su espesor, debido a que el elemento cortante, y productor de este material, se encuentra en movimiento rotacional, por lo tanto es conveniente calcular el espesor de viruta promedio.

Para Vega y Aguilera (2005), algunos estudios indican claramente que existe una relación entre el espesor de viruta y la rugosidad superficial obtenida, siendo esta relación de tipo proporcional.

Una desventaja de esta relación, espesor de viruta-rugosidad superficial, estaría dada por los altos consumos de energía y la disminución de la vida útil de la herramienta de corte, esto para espesores de viruta pequeños, y rugosidades menores (Aguilera y Vega, 2004).

Para el cálculo del espesor de viruta promedio (e_m) se utiliza actualmente la metodología empleada por Kivimaa (1950), Koch (1964) y Boucher y Méausoore (2003), citado por Vega *et al.* (2007). Esta metodología, consiste en calcular el e_m considerando la fórmula 3;

$$e_c = \left(\frac{V_f}{Z * N} \right) * \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [3] \quad (\text{mm})$$

Donde:

- e_c = espesor de viruta (mm)
- N = velocidad de rotación (min-1)
- V_f = velocidad de alimentación (m/min)
- a_p = profundidad de corte (mm)
- Z = número de cuchillos
- D = diámetro del cabezal (mm)

Finalmente el espesor de viruta, afirmara Vega y Aguilera (2004), es un buen indicador de la calidad superficial resultante de los procesos de maquinado, ya que integra una serie de condiciones de corte en conjunto.

2.2.2 Parámetros que afectan la calidad superficial

Existen múltiples factores que afectan la calidad superficial, de acuerdo a Koch (1972), citado por Vega (2004). Estas se pueden diferenciar en como tres grandes factores; Un primer factor relacionado directamente con la madera, un segundo factor relacionado con la herramienta de corte, y por último uno relacionado con el proceso de corte.

Estos tres factores, definidos posteriormente como variables independientes al proceso, o variables dependientes del proceso, se interrelacionan para generar distintos estado y calidades superficiales.

Madera

Dentro de los factores identificados por Koch (1972), citados por Vega (2004), diferentes factores inherentes a la madera, afectan los procesos de maquinado.

La anatomía de la madera, enunciados por Mariam, *et al.* (1958), y citados en el mismo trabajo de Vega (2004), presenta un comportamiento, dado exclusivamente por el carácter anisotrópico de la madera, el que influenciará especialmente sobre la transformación mecánica, sumado a las características heterogéneas de diámetros de traqueídas, espesores de paredes celulares, tamaño de vasos, entre otros. Por estas condiciones, dadas principalmente en maderas de interés comercial, es de suma importancia conocer las características y propiedades de cada especie al momento de transformarlas en productos comerciables.

Otra característica intrínseca de la madera, y que incide en la transformación de esta, es el contenido de humedad, donde diversos autores, coinciden en que un mayor contenido de agua presente en la célula, disminuye el requerimiento energético en su transformación, ya que la resistencia que presenta la estructura celular ante la herramienta de corte disminuye.

Sumado a estas dos propiedades, existe en la madera una propiedad que tiene estrecha relación con el comportamiento físico-mecánico que presenta una especie, hablamos de la densidad. Según Carmona *et al.* (2000) ésta es una propiedad que nos dará la relación de resistencia que puede presentar la madera en el momento de su transformación. También, asegura que su variabilidad es un factor que puede ser determinante en su comportamiento frente a procesos de transformación. La madera de pino radiata específicamente, presenta gran variabilidad entre especies, e incluso dentro de un mismo árbol.

La definición de la densidad esta en función del contenido de humedad con la que se evalúa, además de la densidad real, que es la cantidad de materia contenida en una unidad de volumen expresada como la masa (Kg) dividida por su volumen (m^3). Para efectos tecnológicos, solo se emplean dos densidades. Densidad anhidra, y densidad básica.

Herramienta de corte

Los factores de la herramienta de corte se clasifican en aquellos que forman parte de la naturaleza de elemento de corte, y los que inherente a la herramienta en si (Pezoa, 2006). Estos factores inherentes a la herramienta, según Pezoa (2006), corresponden a; Geometría del diente, definida por los tres ángulos, respecto de la dirección del corte, la velocidad de corte (V_c), expresada en (m/s), el diámetro de la sierra (D), expresada en (mm), y el número de dientes de la herramienta de corte (Z).

Proceso de corte

Entre los factores que influyen en la calidad de la superficie, los factores propios del proceso de corte, según Pezoa (2006), éstos quedan definidos como la velocidad de alimentación (V_f), expresada en (m/mm) y la profundidad de corte, que corresponde a la penetración que alcanza la herramienta de corte en la madera, con uno o más de sus dientes, generalmente expresada en (mm).

2.3 Adhesivo

Las resinas fenol-formaldehído constituyen un tipo de polímero sintético termoestable con una amplia variedad de aplicaciones (Alonso, 2002)

Greiner (2002), citado por Alonso (2002), asegura que el consumo mundial de estos polímeros en el año 2001 alcanzó los 2,9 millones de toneladas métricas, lo que da la idea de la importancia de este sector productivo.

Autores como Petra (2001) y McCurdy (2002), citados por Alonso (2002), muestran que el 30% de la demanda mundial de fenol en el 2001 se destinó a la producción de resinas fenol-formaldehído. Las estimaciones de la demanda de fenol entre los años 2001 y 2006, aseguran los mismos autores, suponen un crecimiento anual de entre un 0,4 y un 2% para los principales mercados; Estados Unidos, Europa Occidental, y Japón, en contraste con el crecimiento anual esperado para ese mismo periodo en el suroeste y centro de Asia, y en el este de Europa con un 3,3 % y un 5,7%, respectivamente.

Las resinas fenólicas son sin duda el primer consumidor de fenol y su mercado se encuentra en clara expansión (Alonso, 2002). En este sentido la sustitución o disminución de fenol, se presentaría como una alternativa atractiva, desde distintos puntos.

Los adhesivos, considerando este mercado, y su expansión, deben ser formulados específicamente, según diversos autores. La formulación para el caso de maderas laminadas encoladas, deben ser elaborados para maderas duras o maderas blandas, incluyendo agentes específicos o con propiedades de funcionamiento regulables para situaciones específicas de maquinado (Vick, 1996)

En elementos constructivos que prestarán servicio en lugares cubiertos y no húmedos se pueden usar adhesivos de caseína de buena calidad y colas sintéticas a base de urea. No obstante, las colas de urea no son recomendables cuando las temperaturas ambientes sean superiores a las de una habitación para lugares más húmedos, donde el equilibrio higroscópico de la madera alcance el 20%, las colas sintéticas a base de formaldehído resorcinol resultan efectivas. En estructuras inmersas en agua, o que han de estar expuestas al medio ambiente durante mucho tiempo, deben emplearse colas de resorcinol, fenol o melamina (Poblete, 1978; Cuevas, 1980).

Los adhesivos para uso interior deben ser utilizados cuando se espera que el contenido de humedad de la madera, en condiciones de servicio, no exceda de 16% durante períodos prolongados o repetitivos, o bien si la madera se trata químicamente después del encolado (Norma chilena oficial 2148.Of89, 1989).

Los adhesivos para uso exterior deben ser utilizados cuando se espera que el contenido de humedad de la madera, en condiciones de servicio, exceda de 16% durante períodos prolongados o repetitivos de servicio. Si se realiza un tratamiento químico de la madera, antes o después del encolado, deben emplearse adhesivos de uso exterior (Norma chilena oficial 2148.Of89, 1989).

2.4 Relación entre la rugosidad y la adhesión de dos superficies.

Según Poblete (2001), la adhesión es la condición en la cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas de naturaleza eléctrica. Cuando se trata de madera, un elemento poroso, existe una penetración del adhesivo mientras este permanece en estado líquido. El mismo autor señala, que durante la penetración del adhesivo, donde éste pasa de su estado líquido a sólido, se puede observar el fenómeno denominado interfase, identificándose en el, tres fuerzas fundamentales para que ocurra. La primera de estas tres fuerzas se denomina, fuerza de cohesión, y corresponde a la fuerza desarrollada entre las moléculas del adhesivo. Esta fuerza solo se forma en la línea de aplicación o línea de cola. Poblete (2001), denomina a la segunda de estas fuerzas como fuerza de adhesión específica, la cual es de naturaleza electroquímica, y se desarrolla entre una molécula del adhesivo y una molécula de la madera. Por ultimo, señala, la fase tres es denominada adhesión mecánica, la cual corresponde a una penetración del adhesivo en la madera mientras se encuentra en estado líquido, en otras palabras esta fuerza es un anclaje mecánico del adhesivo después del fraguado. Estas tres fuerzas influyen directamente sobre la resistencia de la línea de cola e indirectamente sobre la adhesión mecánica.

Las fuerzas intermoleculares de atracción entre adhesivo y la madera se verán influenciadas por variables de la madera; como densidad, pH y contenido de humedad y del adhesivo; pH, viscosidad y tiempo de reunión (Poblete, 2001).

Considerando además la rugosidad de la superficie, dada por la naturaleza de la madera, el adhesivo debe tener características que permita una buena impregnación en la estructura de la madera (Guerrero, 2003). La aplicación del adhesivo en una

superficie, dirá Richter *et al.* (1995) ocurre cuando el ángulo de contacto, es decir, el ángulo de caída del adhesivo en relación a la superficie de la madera son cercanos a cero. El proceso de adhesión es completado cuando el adhesivo líquido adquiere su forma sólida a tal punto que la unión resista eficazmente maquinados posteriores, solo ahí, podemos decir que las superficies están efectivamente adheridas (Vick, 1996).

Como resultado de esta unión Poblete (2001), distingue tres zonas: una porción de madera intacta, una zona impregnada con el adhesivo y una línea de cola o película donde solo se encuentra el adhesivo.

Las condiciones físicas y químicas de la superficie del adherendo es sumamente importante para obtener una unión satisfactoria. Las superficies de la madera deberán presentar características morfológicas apropiadas para obtener rendimientos satisfactorios a la hora de reprocesar maderas con el objetivo de realzar su valor comercial. Las uniones estructurales durables entre la madera y el adhesivo, se desarrollan no sólo cuando un adhesivo se impregna en la célula, sino que también cuando un adhesivo se propaga entre las paredes de la célula permitiéndose así, enlaces moleculares entre el adhesivo y las hemicelulosas y entre adhesivo y celulosas de la madera (Poblete, 2001).

Sumado a esto (Vick 1996; Poblete 2001), aseguran que si la impregnación de un adhesivo es lo suficientemente profunda en la madera y si el adhesivo es lo suficientemente rígido al fraguar, entonces la fuerza producto de esta unión, excede la fuerza de la madera como material sólido, produciéndose así un nuevo material con características propias. Así las tres fuerzas que actúan en una unión se creen importantes para la formación de enlaces entre los polímeros de los adhesivos y las estructuras moleculares de la madera.

2.4.1 Factores que afectan la adhesión de dos superficies

La adhesión de dos superficies esta estrechamente relacionada con la encolabilidad, la que según varios autores, tiene en la densidad el factor de mayor relevancia, pues las menores resistencias de la unión encolada se obtienen con maderas de densidades mas bajas, según Bassett (1960); Skeist (1966); Poblete (1978), citado por Carmona *et al.* (2000), lo mismo comenta Williams (1994). Pizza (1983), citado por el mismo autor, atribuye a las maderas de densidades bajas, la capacidad de absorber el adhesivo, generándose uniones pobres y fallas en la línea de cola, mas que en la adhesión mecánica.

En maderas con densidades altas, asegura Bassett (1960), citado por Carmona *et al.* (2000), también se producen adhesiones débiles debido fundamentalmente a la mala transferencia de adhesivo entre los sustratos o a un excesivo escurrimiento lateral al momento de aplicar presión.

Las características microscópicas de las maderas duras (alta densidad) y maderas blandas (baja densidad), influye a la hora de considerar la cantidad de adhesivo y la dirección que tomara este dentro de la célula. Las maderas blandas en su mayoría

coníferas y pino radiata en el caso de este estudio presentan un 90% de células del tipo traqueídas, con funciones conductoras y de sostén. Estas células se comunican a través de punteaduras aeroladas de gran tamaño, entre 6 y 30 μm , que son determinantes tanto en la facilidad de impregnación del adhesivo como en su secado. El resto de células que conforman la madera de coníferas son las células de parénquima que tienen funciones de almacenamiento. Su contenido protoplasmático permanece durante varios años después de su formación. Y las células secretoras de canales resiníferos que tienen como función segregar resina al canal resinífero, pero fundamentalmente su función es de defensa y protección contra agentes patógenos. Vignote y Jiménez (2000)

En las maderas duras en su mayoría latifoliadas la estructura es mas complicada, pues existe una mayor especialización de las células, así las funciones conductoras las realizan las células llamadas vasos y las de sostén, las células de fibras. Los vasos constituyen entre el 5 y el 60% del volumen de la madera, está formado por células sin contenido protoplasmático, dispuestas axialmente, cuya característica principal es que las paredes transversales están disueltas total o parcialmente de forma que existe una comunicación perfecta entre células, produciendo así un desplazamiento libre del adhesivo en los vasos. La comunicación transversal se realiza a través de punteaduras aeroladas, si se comunican con fibras o traqueídas, o simples si se comunican con parénquima. Vignote y Jiménez (2000)

Otro factor que influye en la adhesión de dos superficies son las variaciones dimensionales por cambios en los contenidos de humedad, las que producen tensiones que deben ser soportadas por las uniones encoladas, determinándose la ruptura en la línea de cola antes que en el sustrato (Carmona *et al.*, 2000).

Vick (1996), menciona además, que el secado de la madera deteriora las condiciones físicas de las superficies forzando la extracción de agua desde el interior al exterior. El mismo autor asegura también, que las superficies de la madera pueden ser químicamente alteradas por contaminantes químicos, incorporación de hidrófobos, oxidación por la aplicación de calor, impregnación con preservantes, y otros productos químicos.

Desafortunadamente, comenta Richter *et al.* (1995) algunas de estas condiciones en la superficie son difíciles de detectar. El deterioro físico y la contaminación química interfieren con la aplicación y la penetración del adhesivo, además de interferir en el proceso de fraguado y con el posterior resultado de la unión

En maderas con altos contenidos de extraíbles resinosos y aceitosos la funcionalidad del adhesivo se ve mermada ya que estos contenidos a altas temperaturas se difunden por las células al exterior concentrándose y bloqueando la penetración del adhesivo. Estos compuestos resinosos y aceitosos funcionan como hidrófobos, es decir, repelen el agua. La mayoría de los adhesivos contienen agua como medio portador, por consiguiente no humedecen, no fluyen y no penetran superficies cubiertas por estos compuestos. Como vemos los tratamientos que se realizan para

darle mayor valor a la madera, muchas veces afectan la calidad superficial de ésta y afectando así las propiedades físicas y químicas de la madera (Vick, 1996).

Para Williams (1994) el conocimiento especial y la adecuada aplicación de estos procesos aseguran una buena humectación y penetración del adhesivo a la hora de encolar y producir así nuevos productos dando mayor funcionalidad a la madera como material estructural.

En relación a factores de proceso, la experiencia ha probado que un maquinado efectivo mejora la superficie asegurando uniones de calidad. Los maquinados con herramientas desafiladas, o con una mala mantención generan superficies intrínsecamente débiles, provocando una impregnación imperfecta resultando de una unión débil o de mala calidad.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

La madera utilizada para realizar esta investigación es *Pinus radiata* D.Don, de humedad constante, considerándose en su mayoría una orientación de la fibra de 0°.

La madera de *Pinus radiata* D.Don presenta una humedad promedio de 15,4%, humedad recomendada para la utilización del adhesivo resorcinol-fenol-formaldehído en madera laminada estructural.

La madera de *Pinus radiata* D.Don utilizada en esta investigación presenta una densidad básica promedio de 0,395 (g/cm³). La variación de densidad en la madera utilizada para esta investigación fue entre 0,281 y 0,588 (g/cm³). No se diferencia claramente entre madera temprana y madera tardía.

3.1.2 Adhesivo

El adhesivo utilizado para la investigación corresponde a OXILITE 6254, resina de resorcinol-fenol-formaldehído, especialmente formuladas para madera laminada estructural.

Los gramajes considerados en la investigación serán acordes a los aplicados en la industria en combinación con las dadas por el fabricante (OXIQUIM). Gramaje 1: 300 (g/m²). Gramaje 2: 500 (g/m²). Gramaje 3: (700 g/m²).

Cuadro 2. Especificaciones técnicas del adhesivo Oxilite 6254

Propiedades	Rango especificado
Aspecto	Líquido viscoso café rojizo
Contenido de sólidos (%)	56,0 – 60,0
Viscosidad Brookfield (cpc)	1000 – 3000

Catalizador

El catalizador utilizado en la mezcla adhesiva para la investigación es el catalizador FR-6044 utilizado para acelerar el fraguado de resinas resorcinol-fenol-formaldehído.

Cuadro 3. Especificaciones técnicas del catalizador FR-6044.

Propiedades	Rango especificado
Aspecto	Polvo café
Pureza	99% min.

3.1.3 Normas y Equipos

El maquinado final de las piezas se obtuvo mediante un corte ortogonal en maquina TUPÍ con motor de 4 (kW) de potencia máxima, velocidad de rotación del eje de entre 4200 y 8000 (rpm), y un carro de avance automático de 4 velocidades de alimentación, para esta investigación, velocidad constante de 22 (m/min). Como herramienta de corte, se utilizó un cabezal con dos cuchillos de carburo de tungsteno con perfil recto con la siguiente geometría; ángulo de incidencia de 17°, ángulo de perfil de 45,5° y ángulo de ataque de 27,5°. El cabezal posee las siguientes dimensiones; D: 122, B: 60, d: 40 (mm). Los cuchillos son de 60x30x3 (mm).

Para la confección de probetas se utiliza como referencia la Nch 2148. Of89, Madera laminada encolada estructural-Requisitos e inspección. Esta norma establece los requisitos mínimos que se deben cumplir en la producción de madera laminada encolada estructural, incluyendo madera, adhesivo, proceso de laminación, tamaños y tolerancia. Establece además, los procedimientos de inspección y ensayos, el proceso de control de calidad a desarrollar. Esta norma será la referencia mas cercana para la determinación de la relación entre rugosidad y cantidad de adhesivo, dejando claro que esta norma no aplica a la experiencia realizada.

Para la medición de la rugosidad superficial se utilizó un rugosímetro de contacto tipo stylus modelo Mitutoyo SJ-210. Este aparato realiza un recorrido a través de las superficies de las probetas. Electrónicamente filtra el perfil obtenido y por medio de métodos numéricos obtiene el valor de la rugosidad.

La viscosidad del adhesivo fue controlada en el momento del encolado, utilizando el método Brookfield y de acuerdo a las condiciones del ensayo (usillo R4) el valor 2760 (cpc) se encuentra dentro del rango normal para su aplicación.

3.2 Método

3.2.1 Obtención de tablillas con superficie variable

La madera fue dimensionada y cepillada para obtener tablillas de 300 (mm) de largo por 60 (mm) de ancho y un espesor de 23 (mm) (figura 5). Las tablillas fueron cepilladas, según las condiciones del Cuadro 2 para obtener una tablilla final con tres superficies claramente diferenciadas.

Cuadro 4. Descripción de parámetros de maquinado

Parámetros de acción	Nivel	Unidad	Parámetros de medición	Unidad	Constantes	Nivel
Velocidad de rotación	4.200, 6.000 8.000.	r/min	Rugosidad superficial Rz	um	Ancho de corte	50 mm
Velocidad de avance	22	m/min	Rugosidad Ra	um	Profundidad de corte	2 mm
Ángulo de las fibras	0°	grados			Nº cuchillos	2



Figura 2. Tablillas de 300*60*23 (mm) antes de maquinado.

Las tablillas, una vez dimensionada entran al proceso de maquinado, donde se les modificará la superficie. Para la selección de las condiciones de maquinado, se tomará como base las velocidades de rotación y de avance, lo cual generará niveles variables de los espesores de viruta. En esta investigación se modificará la velocidad de rotación, manteniendo constante la velocidad de avance.



Figura 3. Proceso de maquinado de las tablillas.

Con la combinación de ambas velocidades, de rotación variable y de avance constante, se analizan 3 tratamientos diferentes, con 3 repeticiones cada uno, y 1 repetición de prueba. Para cada tratamiento se mide la rugosidad superficial utilizando el parámetro “R_z”, el cual representa la media de los valores absolutos de las alturas de las cinco crestas del perfil más altas y de las profundidades de los cinco valles del perfil más bajos dentro de una longitud dada (figura 4).

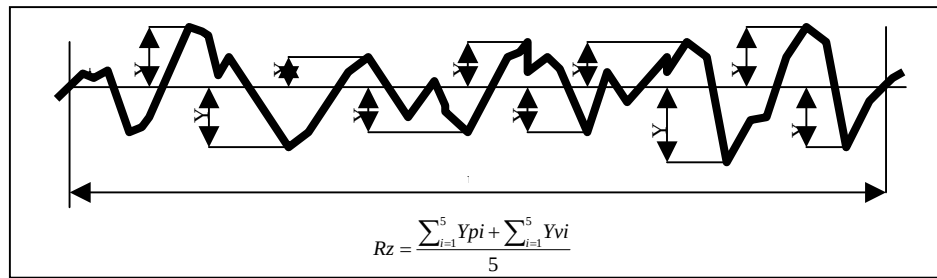


Figura 4. Parámetro R_z de rugosidad superficial.

Paralelamente se medirá el parámetro R_a , que corresponde a la distancia media del perfil a la línea promedio, también llamada desviación de la media aritmética.

Posterior a estos tratamientos, las tablillas se acondicionaron por 7 días en la cámara de climatizado con las siguientes características; 65% de humedad relativa del aire y 25° Celsius, para posteriormente medir nuevamente los estados superficiales y asegurarse que no había variación después del tratamiento.

3.2.2 Preparación de probetas a base de tablillas

Para obtener la probeta final para el ensayo de cizalle se confeccionó una probeta de mayor tamaño conformada por cinco tablillas, según Nch 2148. Of89, encoladas en ambas caras y prensadas (figura 5).



Figura 5. Probeta de tablillas encoladas por ambas caras.

En proceso de encolado de las tablillas consideran los intervalos entre la mezcla y el esparcido, el esparcido, el tiempo de ensamblado, la presión de ensamblado temperatura y tiempo de curado del adhesivo, según las recomendaciones establecidas por el productor del adhesivo.

El ingrediente sólido para la mezcla del adhesivo fue determinado por su peso, y el ingrediente líquido, por su volumen. La mezcla final del catalizador + adhesivo fueron calculadas en función del gramaje a utilizar en la investigación, determinado como el extremo menor menos 100 (g) y el extremo mayor más 100 (g), estos valores en referencia a los entregados por el fabricante. Finalmente los gramajes de aplicación se determinaron en; 300 (g/m²)- 500 (g/m²) – (700 g/m²).

Mezcla adhesiva

Oxilite 6254 : 100 partes en peso
 Catalizador : 20 partes en peso
 Tiempo de agitación : 15 min. a 750 – 1000 rpm.

Cuadro 5. Condiciones de operación.

Condiciones	Rango recomendado
Esparcido (g/mt ²)	400 – 600
Post life R-6044 (min.)	50 – 80
Encolado	Ambas caras
Presión prensa (Kg/cm ²)	5 – 12

Considerando estos gramajes, se realizaron los cálculos de aplicación detallados a continuación;

Tablilla; 0,30 largo X 0,06 ancho = 0,019 (m²).

$$\begin{array}{ccc} 300 \text{ (g)} & \longrightarrow & 1 \text{ (m}^2\text{)} \\ 5,7 \text{ (g)} & \longleftarrow & 0,019 \text{ (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$5,7/2 = 2,85 \text{ gramos por cada cara}$$

Según el cálculo, la aplicación por cada cara a encolar es de 2,85g en cada cara a ser adherida. La tablilla, antes del encolado, es tarada en una balanza con sensibilidad de 0,1g y posteriormente se pesa con el adhesivo hasta obtener el valor mencionado. Con los siguientes gramajes se realizó el mismo procedimiento.

$$\begin{array}{ccc} 500 \text{ (g)} & \longrightarrow & 1 \text{ (m}^2\text{)} \\ 9,5 \text{ (g)} & \longleftarrow & 0,019 \text{ (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$9,5/2 = 4,75 \text{ g/cara}$$

$$\begin{array}{ccc} 700 \text{ (g)} & \longrightarrow & 1 \text{ (m}^2\text{)} \\ 13,3 \text{ (g)} & \longleftarrow & 0,019 \text{ (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$13,3/2 = 6,65 \text{ g/cara}$$



Figura 6. Probeta formada por 5 tablillas, nomenclatura y posterior prensado.

El tiempo de prensado es de 10 (min) indicado por el fabricante, y la presión será de 10 (Kg/cm²) máximo valor alcanzado por la prensa Bürkle. La aplicación del adhesivo manual con brocha.

Cuadro 6. Características de preparación de la probeta formada por tablillas para la obtención de probetas de cizalle.

Nomenclatura de la estructura	PxMxGx
Medidas	300 (mm) de largo, 60 (mm) ancho.
Espesor de las tablillas (5 tablillas)	19 (mm).
Tipo de resina Catalizador	OXILITE 6254 Resorcinol Fenol Formaldehído. FR-6044.
Presión	10 (Kg/cm ²).
Tiempo prensado	10 (min).
Tiempo de climatizado	7 días a 65% de H.R y 25°C
Fraguado	6 días.

3.2.3 Ensayo de cizalle a través del adhesivo

Para evaluar la calidad de la unión encolada en función de los tres gramajes aplicados se realiza el ensayo de resistencia al cizalle. Este ensayo determina la resistencia al cizalle en la línea de encolado y el porcentaje de falla de madera en el área cizallada.

Este ensayo se aplica además; para evaluar la calidad de nuevos adhesivos antes de usarlos en la producción, para verificar la eficacia de adhesivos con diferentes componentes y para el control diario de calidad de uniones de láminas y cantos.

El método se basa en someter a cizalle el plano de encolado con una carga de dirección paralela a la fibra de la madera que se incrementa gradualmente, hasta llegar al punto de falla de la probeta.

El parámetro que se mide en este ensayo es la tensión de ruptura por cizalle paralelo (R_{cz}) a las fibras, la cual se calcula de acuerdo a la fórmula [4].

$$R_{cz} = \frac{Q}{A} \quad \frac{(Kg)}{(cm^2)} \quad [4]$$

En que:

Q = Carga de rotura, en (Kg)

A = Área total del plano de falla, en (cm²)

R_{cz} = Tensión de ruptura por cizalle, en (Kg/cm²)

Cada probeta es marcada con la nomenclatura $P_xM_xG_x$ de modo que se pueda identificar el elemento del cual fue cortado. El número de probetas a ensayar es de 5. Dos líneas de encolado exterior y una línea de encolado central. La probeta para el ensayo del cizalle, presenta las dimensiones; 50 (mm) de altura, 50 (mm) de ancho y 19 (mm) de espesor, este espesor debido al proceso de maquinado a que fue sometida anteriormente la tablilla. El área cizallada es de 22 (cm²).

Cuadro 7. Matriz diseño general.

Gramaje/ Maquinado	G1 (300g)	G2 (500g)	G3 (700g)
M1 (4.200 rpm)	PxG1M1	PxG2M1	PxG3M1
M2 (6.000 rpm)	PxG1M2	PxG2M2	PxG3M2
M3 (8.000 rpm)	PxG1m3	PxG2M3	PxG3M3

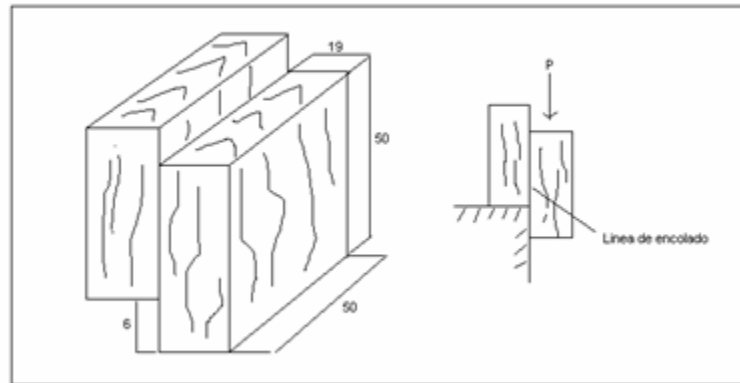


Figura 7: Probeta ensayo Cizalle (mm).

3.2.4 Criterios para el análisis de los resultados

El ensayo de cizalle a través del adhesivo, establece que el registro de datos debe incluir el contenido de humedad de la madera (CH), la carga de rotura (CR), el área cizallada (AC), el cálculo de la tensión de rotura por cizalle (TR), y el porcentaje de madera fallada en el área sometida a cizalle (% MF).

En el caso del estudio la eficiencia de la línea de encolado deberá ser igual o mayor a la resistencia al cizalle de la especie *Pinus radiata* D.Don tratada en la investigación. Para esto se obtendrá una muestra aleatoria de la madera utilizada en la investigación, a la cual, se le realizará el ensayo de cizalle para determinar su resistencia. El valor promedio de las muestras ensayadas de *Pinus radiata* D.Don será el parámetro para la medición de la eficiencia de la línea de encolado en las probetas encoladas para la investigación.

El promedio de los porcentajes de falla de madera en el área cizallada, calculado con todas las probetas ensayadas debe ser igual o mayor que 70%.

Al interpretar los valores, las probetas que tengan valores de resistencias menores que el promedio requerido y presentan valores de madera fallada iguales o mayores que 75%, pueden ser excluidas del cálculo del promedio total. Sin embargo, no más de un 20% de las probetas ensayadas pueden ser excluidas, en caso contrario se deberá repetir el ensayo.

Finalmente para identificar cuales son los mejores estados superficiales que aseguren una buena adhesión y un rango mas específico de resorcinol-fenol-formaldehído se relacionaran los resultados obtenidos en la medición de la rugosidad superficial (R_z), y los valores resistencia al cizalle (Kg/cm^2) obtenidos en los ensayos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de la calidad superficial y la influencia de la velocidad de rotación.

Una vez realizada la experiencia en dos oportunidades, en las cuales se repitieron los parámetros de maquinado descritos en material y método, se midió la rugosidad superficial de las muestras para evaluar la relación que tuvo el proceso de maquinado, en este caso la variación de la velocidad de rotación, sobre la rugosidad superficial. Además, el análisis considero la influencia del espesor de viruta sobre la calidad de las superficies, dado el carácter integrador de esta variable, ya que considera la interacción de la velocidad de rotación, velocidad de avance, profundidad de corte, diámetro de la herramienta y numero de cuchillos.

En el análisis de los datos, la influencia que tienen los cambios en las condiciones de maquinado, son consistentes con la bibliografía, considerando además que el espesor de viruta es un buen indicador de la calidad superficial.

El cambio en las velocidades de rotación, manteniendo constante la velocidad de alimentación genera importantes diferencias en la calidad de la superficie. En la figura 8 se puede apreciar que para pino radiata, un incrementando de la velocidad de rotación disminuye la rugosidad superficial, considerando este parámetro de madera aislada, con ángulo de fibra de 0°.

Si se considera la interacción de los parámetros de corte en el análisis de los resultados obtenidos se puede entender la importancia del efecto del espesor de viruta sobre la rugosidad superficial. Esta influencia puede verse en la figura 9. El índice de correlación para esta variable ($r^2 = 0,9623$), indica que existen buenos índices de relación entre estas dos variables. De esta manera, los espesores de viruta pequeños indican valores bajos de rugosidad superficial, después de realizado el maquinado de la madera.

Cuadro 8. Rugosidad superficial (μm), velocidad de rotación (min^{-1}), Velocidad de avance (m/min), ángulo de fibra y espesor de viruta (mm). Primera experiencia

N	Vf	e_m	0°	R_z	R_a
4200	22	0,043	x	30,31	5,19
6000	22	0,030	x	27,38	4,52
8000	22	0.022	x	26,64	4,47

N = velocidad de rotación (min^{-1})
Vf = velocidad de avance (m/min)
 R_z = rugosidad superficial (μm)
 R_a = rugosidad superficial (μm)
0° = ángulo de la fibra
 e_m = espesor de viruta (mm)

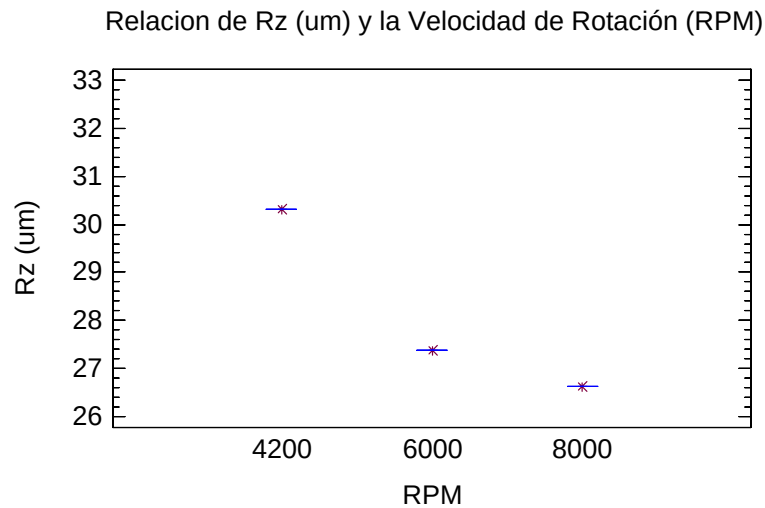


Figura8. Influencia de la velocidad de rotación sobre la rugosidad superficial. Primera experiencia.

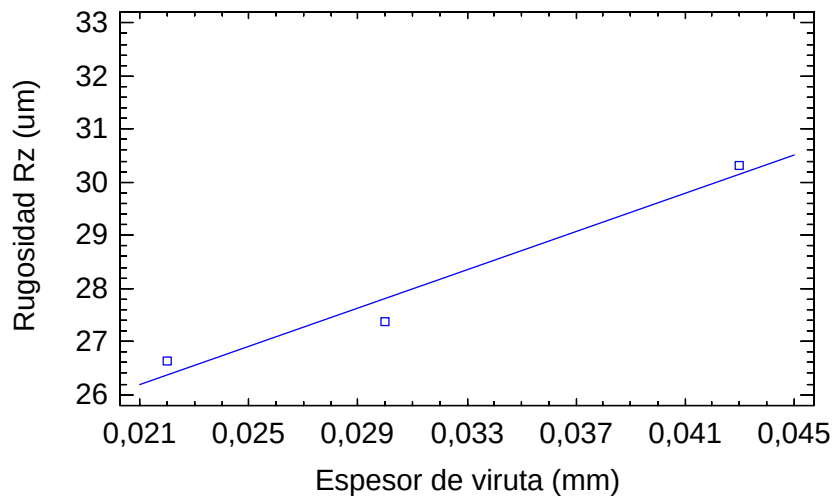


Figura 9. Influencia del espesor de viruta sobre la rugosidad superficial.

En la segunda experiencia realizada, manteniendo las mismas variables de maquinado, velocidad de avance constante y velocidad de rotación variable, los resultados coinciden con la primera experiencia. En la figura 10 se puede apreciar que para pino radiata, un incrementando de la velocidad de rotación disminuye la rugosidad superficial, considerando este parámetro de madera aislada, con ángulo de fibra de 0°.

Si se considera, nuevamente la interacción de los parámetros de corte en el análisis de los resultados obtenidos se puede entender la importancia del efecto del espesor de viruta sobre la rugosidad superficial. Esta influencia puede verse en la figura 11. El índice de correlación para esta variable ($r^2 = 0,9937$), indica que existen buenos índices de relación entre estas dos variables. De esta manera, los espesores de viruta pequeños indican valores bajos de rugosidad superficial, después de realizado el maquinado de la madera.

Cuadro 9. Rugosidad superficial (μm), velocidad de rotación (min^{-1}), ángulo de fibra y espesor de viruta. Segunda experiencia

N	Vf	e_m	0°	R_z	R_a
4200	22	0,043	x	32,35	5,80
6000	22	0,030	x	29,97	5,26
8000	22	0,022	x	28,02	5,18

N = velocidad de rotación (min^{-1})
 V_f = velocidad de avance (m/min)
 R_z = rugosidad superficial (μm)
 R_a = rugosidad superficial (μm)
 0° = ángulo de la fibra
 e_m = espesor de viruta (mm)

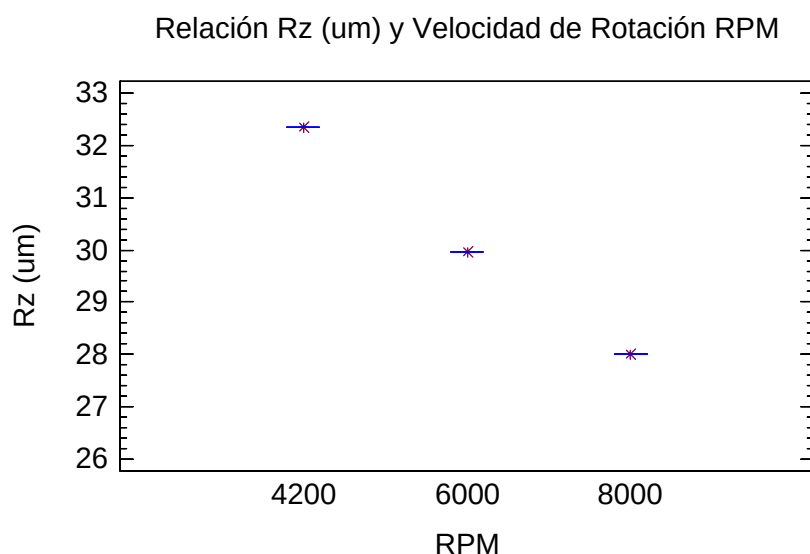


Figura 10. Influencia de la velocidad de rotación sobre la rugosidad superficial. Segunda experiencia.

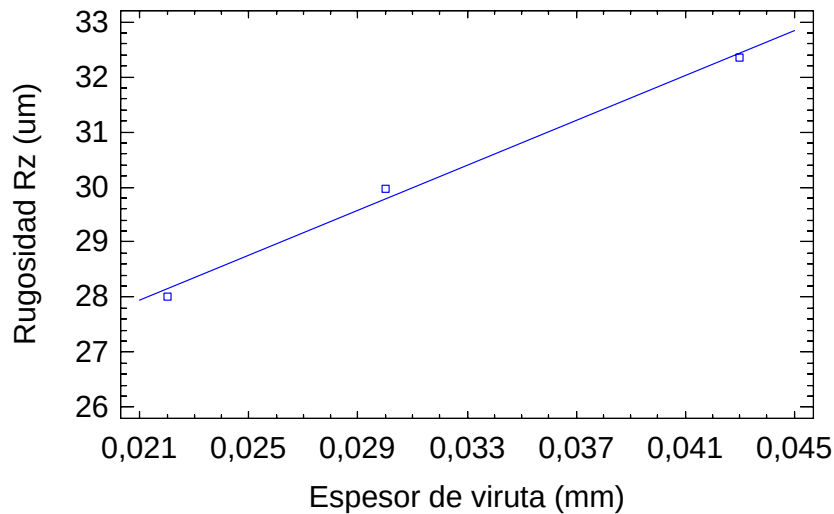


Figura 11. Influencia del espesor de viruta sobre la rugosidad superficial.

Si bien estos parámetros, velocidad de avance constante y de rotación variable indican claramente sus efectos sobre la calidad de las superficies, según Aguilera y Vega (2004), no podría concluirse su efecto si se trataran de manera aislada, independiente de si se mantiene uno de ellos constante en el análisis.

4.2 Determinación de la resistencia al cizalle de las probetas elaboradas

Se determinó, y después de realizado el ensayo de resistencia al cizalle, en dos ocasiones, que las tablillas encoladas con resorcinol-fenol-formaldehído, no logran el valor de resistencia al cizalle para madera de *Pinus radiata* D.Don determinado en 99,75 (Kg/cm²).

En una primera instancia se realizó el ensayo, y dado los resultados observados en la ejecución de la experiencia, se definieron 4 procesos claramente diferenciados en la realización de la experiencia.

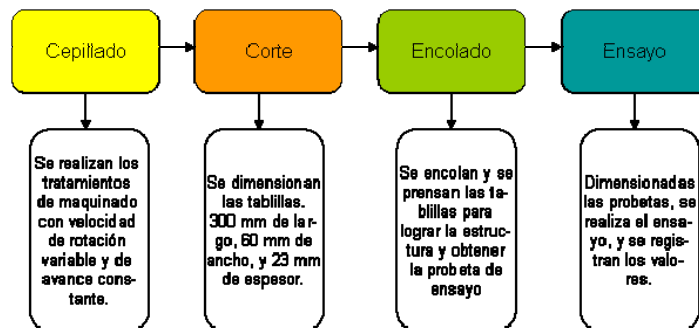


Figura 12. Procesos definidos en la experiencia.

Realizada la experiencia por primera vez, se determinó que más del 75% de las probetas, no superaron el ensayo de resistencia al cizalle, por esto y según el punto 3.1.4, se realizó nuevamente la experiencia para aislar las variables que pudieron influir en el proceso cepillado-corte-encolado-ensayo (CCEE).

Realizada la experiencia por segunda vez, midiendo y controlando todas las variables del experimento, y tomando en consideración las variables que pudieron afectar la primera experiencia, se confeccionaron 62 probetas a base de 5 tablillas cada una. De estas 62 probetas 57,83% tuvieron problemas de unión después de completar el proceso cepillado-corte-encolado (CCE). Solo el 40,8% presentó características adecuadas para cepillado-corte-encolado-ensayo (CCEE) ver figura 13.

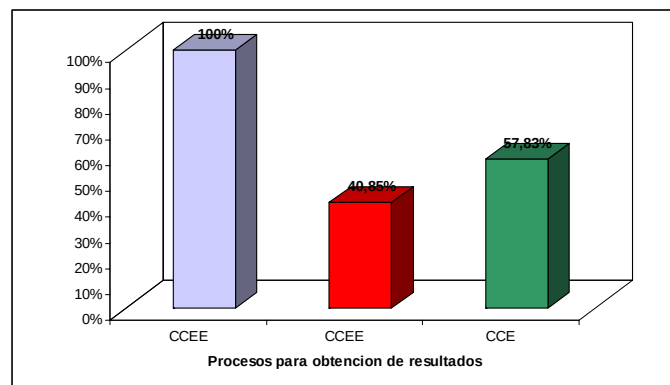


Figura 13. Porcentaje de probetas para ensayo

De este 40.8% se confeccionaron 52 probetas para el ensayo de resistencia al cizalle, de las cuales 5,76% corresponden a T1 (4200 rpm-300 g/m²). El 13,46% corresponde a T3 (4200 rpm-700 g/m²). El 38,46% corresponde a T4 (6000 rpm-300 g/m²). El 13,46% corresponde al T6 (6000 rpm- 700 g/m²). El 21,15% corresponde al T7 (8000 rpm-300 g/m²). El 5,76% corresponde al T9 (8000 rpm- 700 g/m²). Los tratamientos con 500 g/m² (T2, T5, T8) pertenecen en su totalidad al 57,83% de las probetas que presentaron problemas antes de cepillado-corte-encolado-ensayo, estos valores pueden verse en la figura 14.

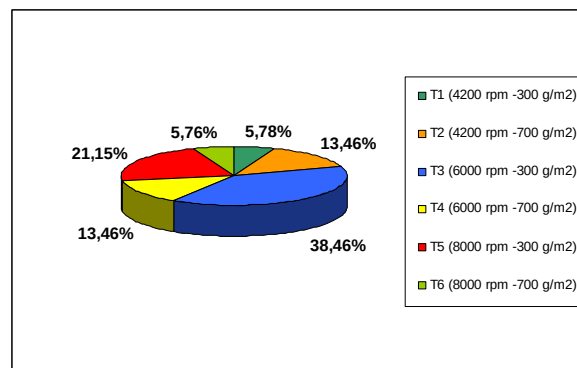


Figura 14. Porcentaje de probetas para ensayo de resistencia al cizalle

El 57,83% excluido, no cumple con las especificaciones del punto 3.1.4, ya que este exige que las probetas que tengan valores de resistencia menores que el promedio y presenten valores de madera fallada igual o mayores que 75% pueden ser excluidas, y este 57,83% no logra llegar a la etapa de ensayo, por lo cual no tiene valores de resistencia, ya que la unión falla al momento del corte de la probeta, sin aplicarse mas presión que la fuerza de la sierra.

Realizado el ensayo de tracción paralela el 40,8%% de la probetas que terminaron el proceso no lograron el valor de tensión de ruptura por cizalle para *Pinus radiata* D.Don, (99,75 Kg/cm²) utilizado en la investigación, y no presentan porcentaje de falla de madera. El 100% de las probetas falla en la línea de cola.

Luego de estas determinaciones, los resultados obtenidos son analizados y posteriormente concluyentes, por lo cual no se realizan más repeticiones de la experiencia. Los valores obtenidos en el ensayo de resistencia al cizalle se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Valores de tensión de ruptura por cizalle paralelo en (Kg/cm²).

M1G1	M1G2	M1G3	M2G1	M2G2	M2G3	M3G1	M3G2	M3G3
7,80	5,75	10,84	23,18		26,52	26,09		15,50
7,39		9,23	22,02		13,30	9,43		6,34
5,61		7,70	21,43		11,39	9,11		3,05
		7,48	20,39		8,39	7,30		
		6,84	18,11		6,07	7,09		
		6,34	15,70		4,77	7,09		
		4,80	14,68		2,45	5,43		
			13,80			5,25		
			12,32			4,25		
			11,02			4,25		
			7,93			3,02		
			6,43					
			5,89					
			5,77					
			4,75					
			4,18					
			4,11					
			2,86					
			2,07					
			0,77					

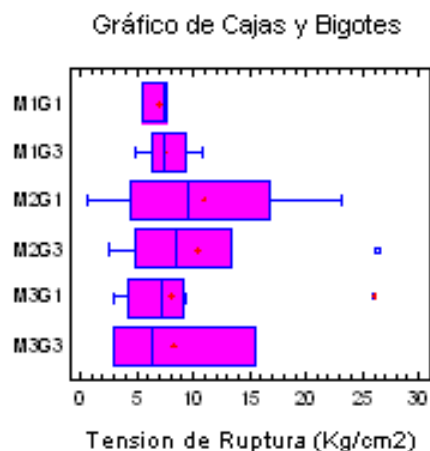


Figura 15. Gráfico de Cajas y Bigotes

El grafico de la figura 15, muestra la distribución de los valores de resistencia obtenidos en los ensayos. El punto colorido del centro muestra las medias para cada tratamiento. En el eje Y se identifican los maquinados con la cantidad de gramaje, previamente definido. En el eje X, los valores de tensión de ruptura obtenido en los ensayos.

En este caso, hay 1 punto externo y 1 punto externo lejano. La presencia de puntos externos lejanos puede indicar valores atípicos o una distribución altamente sesgada.

4.3 Determinación de los mejores estados superficiales que aseguren una buena adhesión.

Las probetas ensayadas, y con sus valores de resistencia en el cuadro 10, en el grafico de la figura 15, no presentan porcentaje de falla de madera. Las uniones fallan en la línea de cola, por lo tanto ésta falla pone de manifiesto que no puede determinarse la relación entre la resistencia al cizalle y la rugosidad superficial de la madera, independiente de no haber logrado los parámetros de tensión de ruptura para *Pinus radiata* D.Don.

Según los autores citados en esta investigación la adhesión es la condición en la cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas de naturaleza eléctrica. Cuando se trata de madera, un elemento poroso, existe además una penetración en la madera mientras el adhesivo permanece en esta líquido. En la probeta para realizar el ensayo de cizalle se pueden observar tres tipos de adhesión claramente diferenciados.

La cohesión que corresponde a la fuerza desarrollada entre las moléculas del adhesivo, formándose esta en la línea de aplicación o línea de cola. La adhesión específica de naturaleza electroquímica, se desarrolla entre las moléculas del adhesivo y las moléculas de la madera. Y la adhesión mecánica que es una penetración del adhesivo en la madera mientras se encuentra en estado líquido.

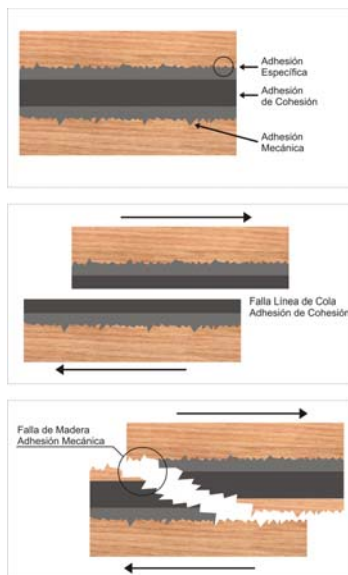


Figura 16. Esquema gráfico de los tipos de adhesiones.

Un porcentaje de falla de madera como el observado en esta investigación, hace pensar que ésta se origina en la adhesión de cohesión, es decir, falla la línea de cola. Al fallar la línea de cola, y de acuerdo a la teoría, los estados superficiales logrados a través de los tratamientos, no parecen influir en este caso la adhesión. En caso contrario, no existe en esta investigación modo alguno de medirlo o comprobarlo.

5. CONCLUSIONES

- El uso del método de contacto (rugosímetro de contacto tipo stylus modelo Mitutoyo SJ-210) para la determinación de la rugosidad superficial, demuestra ser una herramienta útil, ya que es posible determinar las calidades superficiales de elementos maquinados.
- En la determinación de la rugosidad superficial, y variando la velocidad de rotación los resultados obtenidos concuerdan con el objetivo, es decir generar tres superficies distintas y claramente definidas. El aumento de la velocidad de rotación produce superficies menos rugosas para velocidades de avances constantes, en este caso 22 m/min.
- El espesor de viruta es un buen indicador de la rugosidad superficial, por lo mismo, es un parámetro a tener en cuenta en la medición de ésta variable. El espesor de viruta mostró una clara relación con la rugosidad resultante de los procesos de maquinado. Una mejora en la calidad superficial, esta íntimamente relacionada con valores bajos de espesor de viruta.
- En la evaluación de las uniones, se logró identificar el proceso para la obtención de madera laminada encolada, y las variables que participan en ella. No se logra obtener valores de resistencia superiores o iguales a los de pino radiata, logrando valores bajo el parámetro establecido en el estudio como óptimos para la realización de un análisis estadístico.
- La relación de la rugosidad superficial, determinada por R_z y la calidad de la unión, determinada por la tensión de ruptura medida en (Kg/cm^2) , por tanto, no es posible ser determinada.
- Durante la investigación se logra identificar de manera teórica, las variables de la madera y del adhesivo. Para comprender la relación entre las resinas resorcinol-fenol-formaldehído y las superficies de *Pinus radiata D. Don*, se cree, es necesario controlar, he incorporar dentro del análisis, todas las variables de la madera y del adhesivo, en especial, la variable de la densidad, identificando relaciones entre densidades bajas, medias, y altas. Se cree además, que es importante incorporar en un análisis de estas características las variables propias del adhesivo, y como estas pueden influir en las variables propias de la madera.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, R. M 2002. Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo “resol” con sustitución parcial del fenol por lignosulfonatos modificados. Memoria para optar al grado de doctor. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas. Madrid, España. pp 10-15.
- Aguilera, A.; Vega, M. Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *Pinus radiata* D. Don. Bosque (Valdivia). [online]. dic. 2004, vol.25, no.3, p.25-32. INTERNET:
<http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002004000300003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0717-9200.
- Carmona R.; Espinoza, F.; Bull C. Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de *Pinus radiata* D. Don. INTERNET.
http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a6.pdf.
Volumen 14-15: N°1-2,.1999-2000 (p. 55-63).
- Corporación de la Madera (CORMA), 2003. Compendio de directrices para enseñanza en Ingeniería. Centro de transformación tecnológica de Pino Radiata. Proyecto CORFO-FONTEC. Noviembre. 272 pp.
- Cuevas, H. 1980. Publicación Docente N°4, Elementos constructivos en Madera Laminada y su proceso de fabricación. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 21 pp.
- Guerrero, E. 2003. Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. Sistemas Integrados de Manufactura, División de Ingeniería Mecánica, México. pp 62-68.
- Norma Chilena Oficial 2148.Of89. 1989. Madera laminada estructural; Requisitos e Inspección. INN-Chile. 39 pp.
- Pérez, V.; Valenzuela, P.; Cohen, M.; Pérez, E.; Pérez, R.; Ramírez, E.; Campos, A. Madera laminada. INTERNET:
http://web.usach.cl/~lab_made/MAderaLaminada1.htm#introduccion (Septiembre 10, 2004).
- Pobrete, H. 2001. Tableros de partículas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 177 pp.
- Richter, K.; C. Feist, W.; T.Knaebe, M. 1995. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Roughness characterization and stain performance. Forest products journal, Vol. 45, No 7/8. pp 91-97.
- Rolleri, A.; 2003. Characterization of wood-based panels surfaces by contact and non-contact methods. Memoria para optar al grado de doctor. The Faculty of

Forest Sciences and Forest Ecology of Georg-August-University Göttingen. Alemania, Göttingen. 146 pp.

Vega, M.; 2004. Comportamiento de madera de *Pinus radiata* D.Don frente a diferentes condiciones de fresado. Magíster Ingeniería Forestal, Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Ciencias Forestales. 223p.

Vega, M.; Aguilera, A.; Meausoone, P.J. Esfuerzos de corte y rugosidad superficial en el fresado de pino radiata y su relación con emisión acústica. Maderas, Cienc. tecnol. [online]. 2007, vol.9, no.2, p.161-169. INTERNET: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2007000200006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-221X.

Vega, M.; Aguilera, A. 2004. Determinación de la rugosidad superficial como parámetro de respuesta al cepillado de madera. *In*: Segundo Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Valdivia (Chile). pp 1-8.

Vega R, M.; Aguilera, A. Caracterización de la rugosidad superficial y de la energía de corte durante el maquinado de *Pinus radiata*. Bosque (Valdivia). [online]. 2005, vol.26, no.1, p.101-108. INTERNET: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000100010&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0717-9200.

Vignote Peña, S.; Jiménez, F. 2000. Tecnología de la madera. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. España.

Schey, J. 2000. Procesos de Manufactura. Tercera edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1003 pp.

Vick, C. 1996. Adhesive Bonding of Wood Materials. Capítulo 9. Estados Unidos. 24 pp.

Williams, S. 1994. Effect of Preweathering, Surface Roughness, and Wood Species On the Performance of Paint and Stains. USDA Forest Service. Vol 66, Nº 828 Enero. pp 109-121.

ANEXOS

Anexo 1
Abstract and Keywords

Abstract and Keywords

The influence of the slats brushing is studied for the *Pinus radiata D.Don*, applied on surface roughness, in order to obtain surfaces that give us its relation with the joint quality on laminated stuck down wood. The results of the roughness obtained by a method of contact, and validating the parameters Rz and Ra, contributes to the knowledge of the specie *Pinus radiata D.Don*, wood of a high commercial interest in Chile. There are also identified the concepts involved in a responsible investigation, which permits an identification of the variables involved in the wood conversion processes.

The schemed conditions are a studied and verified issue. The variation in the rotation speed or in the advance speed, do modify the surfaces. The result determinate that, during the schemed process, specifically the variation of the rotation speed when keeping the feed speed (V_f) constant, affects notoriously the quality of the surface roughness. The effect of the variation on the rotation speed of the tool generates an important deterioration to the quality of the surface.

The relation between the surface roughness and the quantity of adhesive is a studied issue, but of a little relevancy. The results in this investigation, and once the essay of resistance, during two events, showed that the slats stuck down with resorcinol-fenol-formaldehido, do not achieve the value of resistance to the cizalle for wood of *Pinus radiata D.Don*. The study of the influence that could have the quantity of adhesive added, and its relationship with the quality of a surface, generates some answers, independently of not achieving the minimal values of resistance, due to the tested burettes, do not present percentage of wood fails. The joints, therefore, they fail in the tail line, therefore this fail brought up that can not be determinate the relationship between the resistance and the surface roughness of the wood, but it does permits to identify the variables that do participate in the process, doing this way.

Key words: surface, brushing, roughness, adhesive, pin radiata.

Anexo 2
Valores R_a y R_z obtenidos por método de contacto en tablillas cepilladas

Tabla N° 1: Valores R_a y R_z en μm obtenidos por método de contacto en tablillas maquinadas a 4200 rpm.

1	4,82	27,96	11	5,69	29,06	21	4,05	23,30	31	4,70	26,60
	5,06	30,86		5,56	31,78		3,84	21,36		4,51	24,32
	5,53	31,43		4,98	27,00		3,17	18,68		4,98	27,66
	5,14	30,08		5,41	29,28		3,69	21,11		4,73	26,19
2	4,88	36,28	12	4,65	25,83	22	4,97	30,36	32	7,54	44,82
	6,63	38,92		5,44	32,47		5,52	31,31		5,99	31,88
	5,71	34,87		5,80	34,61		3,55	22,00		6,32	35,21
	5,74	36,69		5,30	30,97		4,68	27,89		6,62	37,30
3	3,96	25,15	13	5,78	34,93	23	5,40	29,58	33	6,36	32,73
	4,66	26,48		6,14	33,12		3,22	20,26		4,84	28,16
	5,95	32,78		5,28	31,63		5,04	29,02		6,76	37,91
	4,86	28,14		5,73	33,23		4,55	26,29		5,99	32,93
4	4,67	33,08	14	5,46	29,97	24	8,60	63,63	34	6,02	39,01
	4,33	25,56		7,56	42,12		3,94	26,55		6,13	39,36
	4,91	27,93		6,11	34,40		5,69	34,91		5,34	29,76
	4,64	28,86		6,38	35,50		6,08	41,70		5,83	36,04
5	4,27	22,53	15	4,80	27,42	25	5,36	30,56	35	4,82	29,56
	5,08	26,80		5,74	30,75		5,96	31,33		4,62	25,82
	4,13	25,81		5,17	32,69		5,10	29,99		4,29	26,56
	4,49	25,05		5,24	30,29		5,47	30,63		4,58	27,31
6	6,81	39,97	16	4,34	23,68	26	5,86	36,31	36	5,54	31,05
	5,68	30,11		4,66	30,48		5,32	31,51		4,36	24,61
	5,18	28,62		3,76	21,29		6,37	36,47		6,01	34,92
	5,89	32,90		4,25	25,15		5,85	34,76		5,30	30,19
7	3,83	24,94	17	5,06	29,22	27	4,00	21,83	37	4,42	24,12
	4,96	32,79		5,62	31,84		5,24	33,83		5,16	25,45
	3,90	23,13		5,01	25,06		4,91	26,44		5,54	31,76
	4,23	26,95		5,23	28,71		4,72	27,37		5,04	27,11
8	5,17	30,65	18	5,56	26,92	28	4,51	27,51	38	5,58	31,95
	6,16	37,20		5,54	34,21		5,17	29,56		5,11	37,92
	4,90	27,89		4,39	26,75		4,81	25,90		5,55	32,45
	5,41	31,91		5,16	29,29		4,83	27,66		5,41	34,11
9	5,19	34,29	19	3,88	20,45	29	4,69	27,09	39	5,97	32,97
	3,89	25,93		4,26	26,78		5,48	33,51		4,37	27,34
	5,21	25,93		4,78	33,87		5,70	34,10		5,58	32,36
	4,76	28,72		4,31	27,03		5,29	31,57		5,31	30,89
10	5,84	33,47	20	3,86	22,89	30	5,32	27,32	40	4,16	22,75
	7,41	41,27		5,96	34,28		5,09	31,72		4,44	27,04
	5,80	35,68		5,94	31,90		5,14	28,02		5,29	31,52
	6,35	36,81		5,25	29,69		5,18	29,02		4,63	27,10
										R_a	R_z
										5,19	30,31

1	3,88	21,37	11	3,24	29,06	21	3,70	24,94	31	4,41	27,22
	3,71	26,47		2,90	31,78		5,73	33,02		6,50	31,62
	5,29	28,34		3,70	27,00		4,75	26,32		4,56	29,42
	4,29	25,39		3,28	29,28		4,73	28,09		5,16	29,42
2	4,78	26,70	12	5,55	25,83	22	4,24	24,47	32	5,50	25,48
	3,99	22,24		6,06	32,47		4,07	24,63		4,44	26,28
	3,87	23,31		4,44	34,61		4,58	24,03		5,07	25,88
	4,21	24,08		5,35	30,97		4,30	24,38		5,00	25,88
3	3,84	21,77	13	5,88	34,93	23	4,84	25,07	33	3,24	19,54
	5,49	30,55		4,12	33,12		4,92	30,95		3,17	17,99
	3,38	22,32		4,00	31,63		4,28	24,26		3,25	22,11
	4,24	24,88		4,67	33,23		4,68	26,76		3,22	19,88
4	5,73	30,28	14	4,66	29,97	24	5,05	31,57	34	5,14	28,08
	5,47	31,32		3,61	42,12		5,85	37,51		5,83	32,35
	4,58	25,71		3,57	34,40		5,72	31,44		4,23	23,50
	5,26	29,10		3,95	35,50		5,54	33,51		5,07	27,98
5	4,71	25,16	15	4,80	27,42	25	3,81	27,73	35	4,66	27,58
	4,47	26,38		5,74	30,75		4,82	27,56		5,35	30,35
	4,02	22,97		5,17	32,69		5,40	33,57		4,09	24,29
	4,40	24,84		5,24	30,29		4,68	29,62		4,70	27,41
6	4,97	30,08	16	4,00	28,08	26	3,33	19,06	36	3,14	23,49
	3,70	20,99		3,09	21,93		3,27	21,13		3,10	18,58
	3,25	25,81		3,95	30,95		3,80	24,17		4,49	27,73
	3,97	25,63		3,68	26,99		3,47	21,45		3,58	23,27
7	4,30	24,59	17	5,86	32,46	27	4,38	25,15	37	4,39	28,28
	4,28	25,39		5,49	22,22		4,85	28,31		5,36	30,66
	5,40	29,67		4,70	21,29		3,86	21,18		3,44	21,05
	4,66	26,55		5,35	25,32		4,36	24,88		4,40	26,66
8	5,56	34,40	18	4,18	27,03	28	4,07	24,57	38	4,94	29,77
	5,70	31,12		3,66	22,49		4,99	29,51		3,87	21,81
	5,65	29,84		6,97	23,50		5,20	28,82		2,93	17,95
	5,64	31,79		4,94	24,34		4,75	27,63		3,91	23,18
9	5,27	32,53	19	4,15	23,05	29	4,44	27,84	39	5,41	28,53
	5,70	34,50		4,47	26,30		4,78	29,86		4,40	29,13
	5,65	39,37		4,94	31,33		4,17	29,00		4,80	23,53
	5,54	35,47		4,52	26,89		4,46	28,90		4,87	27,06
10	5,81	33,98	20	3,63	22,82	30	4,88	25,24	40	2,85	17,64
	5,56	31,02		3,52	20,28		4,23	23,67		3,86	26,80
	5,83	31,76		4,12	33,41		5,08	33,86		1,20	25,34
	5,73	32,25		3,76	25,50		4,73	27,59		2,64	23,26
										Ra	Rz
										4,52	27,38

Tabla N° 3: Valores R_a y R_z en μm obtenidos por método de contacto en tablillas maquinadas a 8000 rpm.

1	4,98	27,63	11	6,34	33,44	21	4,15	24,78	31	5,32	33,26
	5,08	26,64		4,32	26,82		3,86	21,39		3,43	20,43
	4,79	26,37		3,19	19,27		3,73	22,14		3,65	21,89
	4,95	26,88		4,62	26,51		3,91	22,77		4,13	25,19
2	4,06	22,39	12	4,15	26,20	22	4,40	25,63	32	5,53	30,22
	4,88	26,48		4,71	28,53		4,34	24,19		5,39	52,36
	3,61	23,61		5,06	28,50		2,78	17,77		4,71	33,12
	4,18	24,16		4,64	27,74		3,84	22,53		5,21	38,57
3	4,07	24,42	13	4,69	27,94	23	4,36	24,94	33	3,56	23,03
	3,59	21,45		5,28	30,77		4,72	26,43		3,58	23,11
	3,52	19,75		4,36	24,98		4,94	28,39		5,12	28,80
	3,73	21,87		4,78	27,90		4,67	26,59		4,09	24,98
4	4,85	25,40	14	5,27	29,67	24	4,32	25,90	34	3,93	26,65
	5,28	27,82		3,80	22,43		4,36	24,64		4,52	28,82
	5,67	33,57		3,42	20,46		3,83	23,29		5,12	32,54
	5,27	28,93		4,16	24,19		4,17	24,61		4,52	29,34
5	4,01	26,38	15	4,87	27,62	25	3,30	30,92	35	5,08	32,59
	5,19	33,66		4,24	28,03		3,76	21,21		4,27	29,75
	4,77	32,65		5,11	28,84		2,49	14,08		3,15	22,13
	4,66	30,90		4,74	28,16		3,18	22,07		4,17	28,16
6	4,99	26,65	16	4,65	29,43	26	3,67	24,15	36	5,85	36,70
	4,51	29,10		5,31	43,12		5,30	35,82		5,46	35,32
	4,45	25,50		4,07	23,20		4,44	26,59		3,60	23,29
	4,65	27,08		4,68	31,92		4,47	28,85		4,97	31,77
7	4,09	23,55	17	5,32	30,91	27	2,88	18,25	37	5,73	37,24
	5,20	29,73		4,35	33,78		2,69	17,90		4,61	29,21
	5,46	29,49		4,21	24,64		3,82	21,41		4,92	26,93
	4,92	27,59		4,63	29,78		3,13	19,19		5,09	31,13
8	5,07	25,40	18	4,60	29,14	28	4,65	29,39	38	4,27	24,51
	3,40	19,18		5,92	24,28		4,22	25,50		4,13	23,43
	3,77	22,71		5,86	37,02		5,08	29,70		4,01	22,83
	4,08	22,43		5,46	30,15		4,65	28,20		4,14	23,59
9	3,41	22,74	19	5,11	31,62	29	4,23	22,51	39	5,22	30,19
	5,16	36,29		4,87	29,04		3,38	21,44		5,14	34,04
	4,35	35,55		5,99	33,05		3,85	22,30		3,97	28,91
	4,31	31,53		5,32	31,24		3,82	22,08		4,78	31,05
10	3,00	25,47	20	5,25	29,35	30	5,55	34,14	40	5,11	29,62
	4,29	23,54		4,84	28,43		3,26	18,20		4,27	25,35
	4,51	28,57		5,54	30,03		4,88	27,41		4,04	28,35
	3,93	25,86		5,21	29,27		4,56	26,58		4,47	27,77
										R_a	R_z
										4,47	26,64

Anexo 3
Tensión de ruptura (Kg/cm^2)
Contenido de Humedad (%)
Densidad (g/cm^3)

Tabla 1. Valores tensión de ruptura obtenidos en ensayo de cizalle a probetas 50x50x19 mm. en Kg/cm²

M1G1	M1G2	M1G3	M2G1	M2G2	M2G3	M3G1	M3G2	M3G3
7.80	5.75	10.84	23.18		26.52	26.09		15.50
7.39		9.23	22.02		13.30	9.43		6.34
5.61		7.70	21.43		11.39	9.11		3.05
		7.48	20.39		8.39	7.30		
		6.84	18.11		6.07	7.09		
		6.34	15.70		4.77	7.09		
		4.80	14.68		2.45	5.43		
			13.80			5.25		
			12.32			4.25		
			11.02			4.25		
			7.93			3.02		
			6.43					
			5.89					
			5.77					
			4.75					
			4.18					
			4.11					
			2.86					
			2.07					
			0.77					

Tabla 2. Valores obtenidos a través de ensayo para obtener humedad de Pinus Radiata D.Don en porcentaje.

Probetas	Ps	Ph	C.H	Probetas	Ps	Ph	C.H
P1	39,63	45,78	15,52	P19	44,88	51,74	15,29
P2	41,90	48,82	16,52	P20	45,85	52,33	14,13
P3	39,72	45,87	15,48	P21	44,59	51,57	15,65
P4	46,51	53,57	15,18	P22	48,52	55,99	15,40
P5	46,65	53,78	15,28	P23	48,45	56,16	15,91
P6	44,85	51,62	15,09	P24	40,23	46,43	15,41
P7	43,12	50,33	16,72	P25	45,1	52,03	15,37
P8	45,99	53,02	15,29	P26	42,61	49,66	16,55
P9	45,24	52,06	15,08	P27	41,2	47,54	15,39
P10	46,56	52,92	13,66	P28	44,56	51,38	15,31
P11	42,66	49,29	15,54	P29	46,72	54,23	16,07
P12	48,38	56,19	16,14	P30	42,18	48,73	15,53

P13	45,42	52,02	14,53	P31	49,91	57,84	15,89
P14	48,78	56,51	15,85	P32	47,89	55,48	15,85
P15	45,09	51,78	14,84	P33	48,78	56,29	15,40
P16	39,4	45,5	15,48	P34	47,2	54,18	14,79
P17	44,98	51,83	15,23	P35	46,49	53,87	15,87
P18	44,76	51,76	15,64	P36	46,1	53,42	15,88
Media							15,47

Tabla 3. Valores obtenidos a través de ensayo para determinar densidad de *Pinus Radiata* en g/cm³.

Probetas	Ps	Vh	Densidad	Probetas	Ps	Vh	Densidad
P1	39,63	62,5	0,57	P19	44,88	62,5	0,39
P2	41,9	62,5	0,49	P20	45,85	62,5	0,36
P3	39,72	62,5	0,57	P21	44,59	62,5	0,40
P4	46,51	62,5	0,34	P22	48,58	62,5	0,28
P5	46,65	62,5	0,33	P23	48,45	62,5	0,29
P6	44,85	62,5	0,39	P24	40,23	62,5	0,55
P7	43,12	62,5	0,44	P25	45,1	62,5	0,38
P8	45,99	62,5	0,35	P26	42,61	62,5	0,46
P9	45,24	62,5	0,38	P27	42,55	62,5	0,46
P10	46,56	62,5	0,34	P28	42,49	62,5	0,47
P11	42,66	62,5	0,46	P29	44,56	62,5	0,40
P12	48,38	62,5	0,29	P30	46,72	62,5	0,33
P13	45,42	62,5	0,37	P31	42,18	62,5	0,48
P14	48,78	62,5	0,28	P32	49,91	62,5	0,25
P15	45,09	62,5	0,38	P33	47,89	62,5	0,30
P16	39,4	62,5	0,58	P34	48,78	62,5	0,28
P17	44,98	62,5	0,38	P35	47,2	62,5	0,32
P18	44,76	62,5	0,39	P36	46,49	62,5	0,34
Media				0,395			