



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN MADERAS

**“Efecto del Desgaste del Cuchillo en la Calidad de la
Unión Adhesiva”**

AUTOR: VIVEROS MUÑOZ, EDUARDO ANTONIO

PROFESORES PATROCINANTES: Bustos A., Cecilia

Moya., L Cesar

Lisperguer, M Justo

PROYECTO DE TITULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS
REQUISITOS PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL EN
INDUSTRIAS FORESTALES

Concepción, 2007

RESUMEN

Este estudio nace de la necesidad de evaluar el desgaste del cuchillo en un proceso de corte y así poder medir el efecto de este en la calidad de la unión adhesiva. Como influye el desgaste del elemento de corte en la materia prima procesada y en la formación de las uniones adhesivas.

Para el desarrollo de este estudio se utilizó la cepilladora regruesadora marca SCM, que se encuentra ubicada en el Centro de Desarrollo Integral del Mueble (perteneciente al CATEM, Centro de Alta Tecnología de la Madera de la Universidad del Bio Bio). En esta máquina se instaló el cuchillo M2 Acero rápido o HSS, solo un cuchillo en uso, los otros 3 se ocultaron en la máquina, para efecto de este estudio. Posteriormente se cepilló 30.000 metros lineales aproximadamente de madera de Pino radiata.

Los 30.000 metros lineales de madera se procesaron en 4 niveles, es decir, 200, 10.000, 20.000 y 30.000 metros lineales, en cada uno de estos niveles de cepillado, se midió el aumento de radio de desgaste del cuchillo medido en micrones. Este desgaste se midió a través de microscopía, y con estereo microscopio se tomaron las fotografías respectivas para la medición del desgaste del cuchillo. Finalmente con la ayuda de un analizador de imágenes, se realizó la medición del desgaste en 6 puntos del extremo del cuchillo, obteniéndose un promedio del radio de desgaste en micrones. Como es de esperar, a medida que se cepilla mayor cantidad de madera, el cuchillo se desgasta mucho más.

Para cada nivel de cepillado, se analizó según norma EN 204 la resistencia del cizalle en tracción de la unión adhesiva. Los resultados mostraron que existió una influencia del desgaste en la calidad de la unión adhesiva, sin embargo está no fue crítica, pues la resistencia de cizalle en tracción siempre superó los valores requeridos por la norma. La influencia del desgaste se hizo más evidente cuando las uniones adhesivas fueron sometidas a acondicionamientos más severos.

En relación a los adhesivos en estudio, un PVA y un EPI, este último presentó uniones adhesivas de mayor resistencia al cizalle en tracción que el adhesivo PVA.

1.- INTRODUCCION

Dentro de los procesos de conversión mecánica secundaria de la madera es incuestionable la importancia de las uniones adhesivas de cualquier índole, dado el alto costo que representa la utilización de adhesivos para la fabricación de éstas y los procesos que se deben llevar a cabo para la preparación de las superficies a encolar. Por lo anterior nace la necesidad de controlar y mejorar los factores más influyentes dentro del proceso de fabricación de uniones. Tratando de encontrar nuevas alternativas para mejorar la calidad del producto.

En el proceso de cepillado se requiere de un amplio conocimiento de las variables de funcionamiento y de las condiciones de operación, éstas se traducen en un mejoramiento de la calidad de los productos, en el aumento del aprovechamiento de la materia prima y en la disminución en los costos de elaboración.

La madera sometida a procesos de conversión mecánica secundaria constituye sólo un bajo porcentaje de las exportaciones forestales, sin embargo son las que conllevan proporcionalmente a un mayor valor agregado y son las que tienen una mayor perspectiva de desarrollo. Dentro de éstos, una gran cantidad de productos son sometidos a un proceso de cepillado.

El proyecto planteado tiene como objetivo, evaluar el efecto del desgaste del cuchillo en la calidad de la unión adhesiva. Para esto se cepilló madera de pino radiata hasta los 30000 metros lineales, con el fin de provocar un desgaste del elemento de corte.

El proceso de cepillado consto de 4 partes, 200, 10000, 20000, y 30000 metros lineales procesados. En cada una de estas etapas se medió el desgaste del cuchillo y se realizaron los ensayos necesarios según norma EN 204, para medir la resistencia al cizalle en tracción en la calidad de la unión adhesiva. A continuación se plantearán los objetivos para así seguir con el desarrollo del tema propuesto.

1.1.- Objetivo general

- Analizar el efecto del desgaste del filo de un elemento de corte en la calidad de la unión adhesiva del Pino radiata

1.2.- Objetivos específicos

- Evaluar el desgaste del filo del elemento de corte en función de metros lineales de cepillado
- Analizar el comportamiento de la resistencia de uniones adhesivas a diferentes niveles de desgaste del filo del elemento de corte

2.- ANTECEDENTES GENERALES

2.1.- Antecedentes Generales de la Especie

El Pino radiata D. Don es la especie introducida más importante del país, las principales plantaciones se encuentran entre la V y X regiones, pero la principal zona es la VIII (Torres, 1971). Es una especie nativa de California EEUU, perteneciente a la familia Pinaceae, de 25 a 30 metros o más de altura, árbol de fácil identificación por sus acículas delgadas de color verde oscuro brillante y sus característicos conos leñosos de base asimétrica. Presenta una gran diferencia entre albura (blanco amarillenta) y duramen (rozado), anillos de crecimiento muy notorios y anchos, con paso gradual entre madera de primavera y verano (Torres, 1971), esto último le da un vetado característico y muy decorativo para los muebles barnizados al natural y para revestimientos, tanto interiores como exteriores de casas, pero en este último caso debe protegerse con pintura.

En relación a sus propiedades físicas, la estabilidad y homogeneidad del pino radiata se incrementa con la edad de los árboles. Esta especie es considerada una madera moderadamente liviana (450 kg/m³), por lo que es utilizada de preferencia en cajones y jabas reemplazando al álamo. Esta madera seca con facilidad y no se agrieta ni tuerce mayormente con los cambios de su humedad (INFOR, 1986).

Los avances tecnológicos y silviculturales han convertido al pino radiata en una de las especies de mayor demanda en el mundo por las múltiples posibilidades de uso que brinda. Dada la importancia económica que alcanzado en el país, hoy los esfuerzos apuntan a lograr su máximo aprovechamiento y están muy diversificados. Los productos más importantes son celulosa, papel, madera aserrada, tableros de fibra y partículas, entre otros usos finales. Estos y otros productos han encontrado acogida en mercados muy diversos, como países europeos, asiáticos y americanos.

2.2.- Fundamentos teóricos

2.2.1.- Definición de cepillado

Se define cepillado como un proceso de corte periférico o rotatorio de reducción, transformación y preparación de superficies lisas por cortes intermitentes de cuchillos que generan virutas. Las caras de las piezas son alisadas determinándose dimensiones específicas en espesores y anchos. Esto generalmente se realiza contra sentido de avance, de tal forma que los cuchillos corten paralelo al grano. (Frola, 1990)

2.2.2.- Teoría de corte periférico

El corte periférico es un proceso de corte rotatorio en el cual la madera es removida en forma de viruta individual, esta viruta es formada por la acción intermitente de cuchillos en la madera colocadas en un porta cuchillos en movimiento rotatorio. Por lo tanto la superficie resultante esta constituida por una serie de marcas de cuchillos individuales generada por la acción sucesiva de cada cuchillo.

El corte periférico tiene dos opciones de corte:

- En oposición; rotación contra el sentido del avance
- A favor; rotación en el sentido de avance. (Bon Paul y Marín, 1996)

2.3.- Variables que Influyen en el Proceso de Cepillado

Dentro del proceso de cepillado se distinguen cuatro variables importantes

- Madera
- Herramienta de corte
- Máquina
- Operación

2.3.1.- Madera

Los factores inherentes a la madera que inciden principalmente en el cepillado son:

- **Contenido de humedad**

Este influye en una menor o mayor resistencia que opone la madera a ser cepillada, lo cual redundaría también en la calidad superficial de la madera. Una humedad muy alta en la madera, tiene el efecto de presentar una menor resistencia al ser maquinaada, además que lubrica y disipa calor en la zona de contacto de la madera con los cuchillos, lo que incide en un menor desgaste de éstos, pero no presenta una buena terminación. En cambio con un contenido de humedad (CH) bajo el punto de saturación de las fibras presenta mejor calidad superficial, es más estable, aunque una madera muy seca puede ocasionar un desgarramiento de las fibras por acción de los cuchillos. Por lo tanto es aconsejable cepillar madera a un CH cercano al CH de equilibrio, si es que se desea obtener una buena calidad superficial o una buena unión. (Aravena y Arias, 1998)

- **Especie**

Generalmente las coníferas, conocidas como maderas blandas, se cepillan con menor dificultad que las latifoliadas conocidas como maderas duras. (Aravena y Arias, 1998)

- **Densidad**

El esfuerzo de corte está ligado directamente con la densidad de las especies, esto se debe a que la madera más densa presenta una mayor resistencia al cepillado y viceversa.

- **Nudos y dirección de las fibras**

En maderas con fibras oblicuas y con presencia de nudos, el cepillado se dificulta ya que se produce un violento arranque de fibras. Una manera de evitar el desgarro de éstas, es cepillar en sentido de la fibra. (Aravena y Arias, 1998)

- **Variación dimensional**

Cuando la madera se encuentra subdimensionada se producen defectos en esta ya que los cuchillos no alcanzan a entrar en contacto con la madera, los cargadores y rodillos, no presionan bien, originándose zonas sin cepillar.

La sobredimension causa efectos de atascamiento de la madera en los rodillos cargadores y cabezales de corte. (Aravena y Arias, 1998)

2.3.2.- Parámetros de la herramienta de corte.

Los principales parámetros de los cuchillos con respecto a la herramienta son tres ángulos que definen la relación al tipo de corte a obtener:

- **Angulo de Incidencia o libre (α)**

Está comprendido entre los valores de 1° y 25°. Una variación de este ángulo incide en el roce entre el dorso del filo del cuchillo y la madera:

- A mayor ángulo, menor roce entre la herramienta y la madera.
- A menor ángulo, mayor roce entre la herramienta y la madera

- **Angulo de perfil (β)**

Ángulo comprendido entre la cara del cuchillo y el dorso de este. Sus valores comprenden entre 20° y 75°. Su variación afecta en la resistencia mecánica del filo del cuchillo, por lo que a mayor ángulo mayor resistencia.

- **Angulo de Ataque (γ)**

Ángulo comprendido entre el valor 5° y 40°. Su variación produce un cambio en el esfuerzo realizado por el cuchillo al variar el área de contacto entre este y la madera; a menor ángulo de ataque, mayor área de contacto. (Ramos, 2002).

- **Pérdida de filo**

La pérdida de filo de los cuchillos ocasiona imperfecciones en el cepillado, debido a que no arranca viruta, sino que se aplasta. El afilado de los cuchillos es muy importante si se quiere obtener una superficie libre de imperfecciones, es por esto que el uso del jointer es recomendable para obtener un buen afilado.

Es importante considerar la calidad del filo del cuchillo, ya que su desgaste produce consecuencias tales como:

- Imperfecciones en el cepillado, debido a que no arranca la viruta sino que se aplasta.
- Un aumento en el esfuerzo de corte
- El mayor esfuerzo genera una mayor fricción y temperatura, tanto en la madera como en la herramienta, produciendo en esta última un mayor desgaste, por lo que el proceso se torna mas violento.
- El uso de cuchillos gastados genera picaduras y rupturas en el elemento de corte.

Por las razones mencionadas anteriormente, la técnica de cepillado debe ser la adecuada y el trabajo realizado meticulosamente. (Frola, 1990)

2.3.3.- Máquina

- **Velocidad de corte**

Al aumentar esta velocidad, se incrementa la fuerza de corte requerida para desalojar la cantidad de viruta. Existe un cambio en la resistencia de la madera al modificarse la velocidad de deformación de ella. La resistencia de la madera varía por cambios locales de temperatura en la pieza, y al modificarla se generan cambios en las condiciones de roce, en la cara de la herramienta y la madera. (Bon Paul y Marín, 1996)

- **Diámetro del cabezal**

Al aumentar el diámetro del cabezal se produce un incremento en el avance por diente, por lo que la longitud del paso aumenta, lo que incide en una disminución de la calidad superficial de la madera. (Bon Paul y Marín, 1996)

- **Nº de cuchillos**

A mayor número de cuchillos mejora la calidad del cepillado, debido a que aumentan los golpes por pulgadas y el avance por diente disminuye, dando origen a un paso de menor longitud. El número de cuchillos que efectivamente trabajan en una misma órbita es lo que determina la velocidad óptima de funcionamiento de la máquina. (Frola, 1990)

- **Jointer**

Es una piedra rectificadora blanda que va montada en un dispositivo en la máquina que iguala las órbitas de los cuchillos, permitiendo una mayor duración de las herramientas y una mejor calidad. (Frola, 1990).

Trabajar sin jointer puede producir los siguientes problemas:

- Imprecisión en el afilado
- Errores de operación en el afilado
- Imprecisión natural del disco de afilado
- Montaje manual de los cuchillos

Por lo que trabajar sin jointer produce un cepillado irregular, dando como resultado una calidad superficial deficiente.

2.3.4.- Operación

- **Velocidad de avance**

La velocidad de avance viene condicionada por la máquina, generalmente 2,3, y hasta 4 tipos de velocidades. Se puede decir que una velocidad menor origina una superficie de mejor acabado superficial, en cambio cuando se trabaja con velocidades altas, el cepillado tiende a no ser bueno. (Frola, 1990)

- **Altura de corte**

Esta es dada por el operador y se regula subiendo o bajando la guía de la mesa de entrada. Se puede señalar que una excesiva altura produce un gran esfuerzo de corte que se traduce en desgarros de fibras y una mala calidad superficial, por otro lado una altura muy pequeña no siempre asegura una superficie completamente cepillada.

- **Dirección de corte**

La madera debe ser cortada en sentido paralelo a las fibras. En máquinas cepilladoras con avance manual el operador debe poseer la pericia para poder orientar la pieza en la dirección correcta, en cambio en las cepilladoras con avance continuo y que además procesan piezas de grandes dimensiones, resulta casi imposible tener esta precaución.

- **Ajuste de funcionamiento**

Antes de la puesta en marcha de la maquina, el operador debe regular todos los mecanismos de presión, cargadores, rodillos, mesa de entrada y salida, etc, con el propósito de que este funcionando en forma óptima, para esto se debe pasar algunas piezas de prueba, con el objeto de hacer los ajuste necesarios.

- **Alimentación**

La alimentación de madera por parte del operador debe ser en forma constante, para darle continuidad al proceso e impedir atochamientos que puedan generar quemaduras de cepillo, causadas por la rotación del elemento de corte en alguna sección de la pieza detenida. (Bon Paul y Marín, 1996)

2.4.- Antecedentes de los Adhesivos

2.4.1.- Adhesivo tipo PVA

Son adhesivos a base de acetato de polivinilo, con vida útil elevada lo que permite que se comercialicen ya preparados. Su color es lechoso, por lo que comercialmente se le denomina cola blanca, sin embargo, cuando fragua el adhesivo se vuelve transparente, no produciendo ningún tipo de mancha en la madera.

El fraguado se realiza desde el estado de solución hasta el estado de formación de películas por pérdidas de humedad. A medida que se va evaporando el agua, las partículas del adhesivo se van juntando hasta formar un film homogéneo, cohesivo y transparente.

Para hacer elástica la cola es necesario añadir cargas tales como las de harina de cereal (que el fabricante de cola ya suministra en la preparación). Se puede aumentar la resistencia a la humedad mezclando la cola con colas resistentes a la humedad (como puede ser mezclando con cola de urea-formaldehído al 10%). (Hernández, 2003)

El gramaje a emplear puede oscilar entre 150 y 200 gr/m² de superficie a encolar.

La sencillez de utilización de estas colas, unidas a la resistencia mecánica y elasticidad (que se consigue con la adición de cargas), hace que sean las típicas colas de carpintero, utilizables para la unión y ensambles de piezas.

2.4.2.- Adhesivo tipo EPI o Isocianatos

Son adhesivos que poseen un alto grado de resistencia al calor y a la humedad. Se trata de una dispersión en base a agua y utiliza catalizador isocianato de tipo MDI (metileno diisocianato).

Los isocianatos son productos químicos altamente reactivos, lo que en gran parte explica su efectividad en las aplicaciones adhesivas; por consecuencia, se debe tener especial cuidado al manipular este tipo de adhesivos, para evitar el contacto con agentes que puedan combinarse con el grupo isocianato.

Este tipo de adhesivo fragua muy rápido gracias a la cantidad de catalizador que utiliza en su preparación, esto hace además que sea un adhesivo de alto costo por lo que en la industria nacional se ha insertado muy lentamente. (Skeits, 1966).

2.4.3.- Teoría de la adhesión

Toda materia está constituida por átomos y moléculas, las que están unidas entre sí fundamentalmente por fuerzas de naturaleza eléctrica. La técnica del encolado se basa en este principio y utiliza estas fuerzas para crear una unión entre dos cuerpos sólidos.

En elementos no porosos la unión será función sólo de las fuerzas de atracción que tendrán las moléculas de la superficie de los sustratos sobre las del adhesivo. Por ser la madera un elemento poroso existe una penetración del adhesivo mientras este permanezca en estado líquido. En la unión se manifiestan dos tipos de fuerzas; aquella con que el adhesivo se adhiere a la superficie, *adhesión*, y la fuerza con que se unen las moléculas de adhesivo entre sí, *cohesión*. El efecto de la penetración del adhesivo en la madera se traduce en la diferenciación de tres zonas; la parte de madera impregnada de adhesivo de uno de los sustratos, la capa de adhesivo o línea de cola, y la parte de madera impregnada de adhesivo del otro sustrato.

En cuanto a las fuerzas desarrolladas y según los conceptos actuales de la teoría de la adhesión, se puede distinguir entre la adhesión específica y mecánica. (Henkel, 2004)

2.4.3.1.- Adhesión específica

Es la que se refiere a las fuerzas eléctricas que resultan de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar de la madera y los grupos activos polares del adhesivo. (Hernández, 2004)

2.4.3.2.- Adhesión mecánica

Está dada por la forma de unión entre el sustrato y el adhesivo y corresponde a un anclaje mecánico del adhesivo en la madera. Se basa en que el adhesivo se introduce en los poros de las dos superficies a unir de madera y después, por fraguado, el adhesivo se convierte en un sólido de gran cohesión, anclado fuertemente en ambas piezas. Luego se pueden observar ramificaciones, dedos de cola, en la madera.

Según este principio, la calidad del encolado depende de la rugosidad de las superficies de madera, del número de poros que contenga y estén abiertos (limpios) y de lo que profundice el adhesivo (permeabilidad de la madera). (Hernández, 2004)

2.5.- Factores que Influyen en el Resultado Final de una Unión Adhesiva

2.5.1.- De la madera

Las propiedades de la madera que afectan el encolado son varias y relativas a cada especie, siendo las de mayor influencia la densidad y el contenido de humedad; sin embargo, cuando se requieren uniones de larga vida útil es importante considerar otros factores como: hinchamiento, contracción, ph, impurezas o sustancias que dificulten la penetración del adhesivo. (Henkel, 2004)

- **Densidad**

Entre otras razones que hacen ver la importancia que tiene la densidad de la madera en el resultado final de una unión adhesiva, se puede indicar el hecho de que en las especies menos densas, existe un mayor volumen de espacio libre que permite la entrada del adhesivo, facilitando una buena adhesión mecánica.

Se puede comprobar también que a mayor densidad encontramos mayores variaciones volumétricas al cambiar el contenido de humedad, lo que produce tensiones que en el caso de elementos encolados deben ser soportadas por las uniones encoladas.

Este efecto sumado a la relación existente entre densidad y volumen de espacio libre, se traduce en que para especies de mayor densidad, las condiciones y factores que influyen en la formación de la unión deberán ser tratados de manera que permitan la obtención de una unión de mayor resistencia que la necesaria en una especie menos densa. (Henkel, 2004)

- **Contenido de humedad**

La sensibilidad de cada tipo de adhesivo respecto al contenido de humedad de la madera es diferente, pudiendo señalarse como norma el hecho de que la madera debe poseer contenidos de humedad que estén bajo el punto de saturación de las fibras para obtener buenas uniones. La explicación de este requisito se basa en que uniones de mejores características se logran en parte, gracias a la absorción del adhesivo por la madera. Es así como con contenidos de humedad sobre el punto de saturación de las fibras, una gran parte de la solución del adhesivo permanecerá en la línea de cola, produciéndose uniones de poca resistencia. Bajo estas condiciones, muchos adhesivos en el proceso de endurecimiento no formarán una película homogénea y continua, sino que endurecen formando una masa que se desintegra fácilmente, y sin buenas propiedades adhesivas.

Cabe agregar que la madera, con humedad sobre el punto de saturación de las fibras, al ser puesta en servicio encontrará su humedad de equilibrio contrayéndose, provocando tensiones que pueden hacer fallar la unión.

Por el contrario, al encolar madera con contenidos de humedad demasiado bajos, o bien al encolar madera anhidra también se genera una unión defectuosa causada por uno o la combinación de los siguientes fenómenos:

- Absorción exagerada del adhesivo producto de la gran cantidad de espacios libres en la madera. A veces este efecto se ve acompañado por una desaparición de la línea de cola, no constituyéndose la unión o bien formándose una unión muy débil.
- Fallas del encolado cuando la madera puesta en servicio alcanza humedad de equilibrio hinchándose.
- Al absorber la madera humedad del ambiente, el adhesivo también puede absorber parte de esta humedad, cambiando las propiedades que tenía estando fraguado.

Como condición general, es necesario mencionar que cuanto más delgada sea la madera a encolar, más preciso deberá ser el control de la humedad de ésta. El contenido de humedad óptimo de la madera que será encolada es entre 8 – 12 %. (Hernández, 2004)

2.5.2.- Del adhesivo

De la correcta manipulación de un adhesivo depende muchas veces el éxito del encolado. Suponiendo que se haya elegido bien el tipo de adhesivo para la función que se desea, y siguiendo siempre las instrucciones del fabricante, debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones para conseguir un correcto funcionamiento del adhesivo.

El endurecimiento del adhesivo debe ser observado como un proceso de conversión desde el estado de solución al estado de formación de película. En él es fundamental la pérdida del medio portador. (Henkel, 2004)

- **Tiempo abierto**

Una vez aplicado el adhesivo sobre la madera inevitablemente transcurre un período de tiempo hasta la aplicación de las condiciones para el fraguado, presión y temperatura. Este período llamado tiempo de reunión se compone de dos partes: tiempo de reunión abierto, entre el esparcido y la unión de los sustratos y tiempo de reunión cerrado, entre la unión de sustratos y la aplicación de las condiciones para el fraguado. (Henkel, 2004)

- **Formación de piel**

Los adhesivos termoplásticos expuestos libremente al medio ambiente, tienen tendencia a formar rápidamente una piel (nata) superficial. Esta piel ya no es redispersable y puede ocasionar problemas, obstrucción en el sistema aplicador, falta de uniformidad en la aplicación, baja humectación del sustrato. Se recomienda por los fabricantes de adhesivos mantener siempre cerrado el envase cuando no se utilice, lo que además ayudará a evitar la contaminación del adhesivo con agentes externos. (Henkel, 2004)

- **Viscosidad**

Para mantener una viscosidad adecuada el adhesivo debe mantenerse entre 18 y 20° C de temperatura evitando de este modo un fraguado al interior del envase que aumente la viscosidad a valores inmanejables para un buen esparcido.

Dependiendo del sistema de aplicación del adhesivo, éste requerirá de una determinada viscosidad, para lo cual el fabricante recomendará o ajustará la viscosidad de acuerdo a las necesidades derivadas de su uso. (Henkel, 2004)

- **Aplicación y espesor de la capa de adhesivo**

Una buena unión no va ligada a una gran cantidad de adhesivo aplicado. Cada aplicación requiere de un espesor determinado, recomendándose una cantidad de alrededor de 150 a 200 gr/m². En general las uniones finas, de poco espesor, además de ahorrar adhesivo, dan mayor resistencia final, menos riesgos de coloraciones y fraguado más rápido. (Carrasco, 2005)

- **Limpieza**

Cuando deba cambiarse el adhesivo, es necesaria una limpieza a fondo de todas las partes en contacto con éste, puesto que en ocasiones puede haber problemas de incompatibilidad al utilizar otros adhesivos.

La limpieza para este adhesivo suele realizarse sin dificultad con agua fría, aunque a veces pueda ser necesaria agua caliente, incluso con algo de detergente. Esto es válido también para los momentos de detención del equipo, producido durante paradas de máquina extensas como por ejemplo: cambio de turno, mantención de equipos o períodos de tiempo más prolongados. (Carrasco, 2005)

2.5.3.- Del tipo de prensado

El utilizar como factores de fraguado la temperatura conjuntamente con la presión, tiene una serie de ventajas sobre el utilizar sólo presión. Entre ellas se pueden señalar como las más importantes: la reducción del tiempo de prensado y la posibilidad de aplicar una menor cantidad de adhesivo.

- **Presión**

La aplicación de presión es en ciertos casos la única condición ajena al adhesivo y a la madera que se utiliza para lograr la unión. Algunas de las condiciones que se deben cumplir para lograr una buena unión son:

- Un completo contacto entre las superficies de los sustratos.
- El aire y parte del adhesivo que quedaba en la zona a unir, debe aflorar en los bordes de la línea de cola.
- Debe producirse una línea de cola fina, de igual espesor en toda la superficie a unir.

- Deben observarse, microscópicamente, dedos de cola en las células de la madera.

La presión aplicada a los elementos que se desean unir debe permanecer durante gran parte del fraguado. En algunos casos el fraguado continúa aún después del prensado. (Henkel, 2004)

- **Temperatura**

Gran parte de los adhesivos requieren de temperaturas superiores a las del medio ambiente para lograr una unión de óptimas características. El efecto de aplicar temperatura se traduce en la disminución de la tensión superficial y de la viscosidad, lo cual facilita la penetración del adhesivo en la madera. Además, produce una evaporación del medio portador (solvente del adhesivo), evita la formación de punto blanco, que es el fenómeno que ocurre en los adhesivos de PVA debido a las bajas temperaturas, y acelera las reacciones físico químicas que conducen al fraguado del adhesivo. (Henkel, 2004)

3.- ANTECEDENTES GENERALES SOBRE DESGASTE DE CUCHILLOS

3.1.- Desgaste de la Herramienta de Corte

Cuando la herramienta de corte pierde sus cualidades cortantes, se produce una distorsión de la fuerza resultante de corte y un aumento de su magnitud. En efecto, un mayor desgaste implica una mayor resistencia del elemento de corte y un mayor consumo de potencia de corte. Una herramienta desafilada, al generar mas trabajo mecánico, generara mas roce y por consecuencia mas calor. El calor generado hace aumentar la temperatura en la herramienta y en la madera, afectando las propiedades mecánicas del material de la herramienta, aumentando su fluencia y pérdida de rigidez. La herramienta pierde así de una manera mas acelerada su dureza y su estabilidad, afectando la calidad de corte. El desgaste produce un corrimiento del punto de concentración de la fuerza.

En algunos casos el desgaste se puede producir por corrosión, cuando las maderas poseen agentes químicos que actúan directamente sobre los componentes del filo. Generalmente este efecto no es significativo, siendo la abrasión el efecto más importante.

Los diferentes tipos de aceros utilizados en la industria del aserrío están sometidos a varios tipos de desgaste mecánicos como son: abrasión, corrosión, fatiga, fricción, etc.

La pérdida de filo es producto de fenómenos que implican todos estos procesos en si, pero para este caso solo nos fijamos en el roce sobre el cuchillo, vale decir, es por fricción lo que produce fatiga en el material y este se desgasta. (Ramos, 2002)

3.2.- Desgaste de cuchillos

Numerosas investigaciones que tienden a describir el proceso de deterioración de la arista de corte frente al tiempo efectivo de corte han sido realizados, pues esta es una variable que condicionará en gran medida la calidad superficial de la madera trabajada.

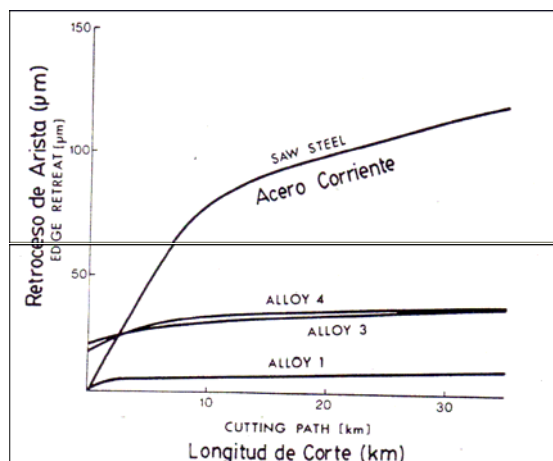


Figura 1: Desgaste del diente v/s longitud de madera cortada. (Apraiz, 1961) (alloy: aceros aleados)

En la figura 1 se muestra el desgaste para diferentes materiales en función de la longitud de corte. Observamos que el proceso del desgaste de los aceros en general tiene dos fases; una primera en la cual el desgaste es rápido y una segunda fase caracterizada por un desgaste más lento en donde éste tiende a estabilizarse alrededor de un cierto valor.

El desgaste es una de las características más importantes en las herramientas de corte. En general interesa que las herramientas, a pesar del continuo roce, no experimenten desgaste importante. Prácticamente se observa que, en general, los materiales mientras más duros son, tienen mayor resistencia al desgaste. Esto sin embargo, es verdad, sólo dentro de ciertos límites.

En la resistencia al desgaste de los aceros en general, se ha comprobado que un factor muy importante es su micro estructura. El rendimiento que se obtiene con los aceros al carbono o de baja aleación, se puede mejorar mucho si en ella aparece distribuido uniformemente carburos de gran dureza.

La gran resistencia al desgaste de los aceros rápidos, es debida a la presencia de esas partículas de carburo, que para alcanzar los mejores resultados es necesario que estén en una matriz de gran resistencia. El problema de fabricación de herramientas de corte con gran resistencia al desgaste consiste en elegir aceros que después del temple y revenido cumpla con esas condiciones. Para obtener mejores resultados, hay que combinar la composición con los tratamientos térmicos, para conseguir una adecuada y generalmente incompleta disolución de los carburos, de forma que obtengamos la microestructura conveniente.

3.3.- Ángulos de corte

En el proceso de cepillado el arranque de viruta es realizado específicamente por el cuchillo. Este elemento de corte cuando entra en contacto con la madera forma tres ángulos tal como se presenta en la figura 2:

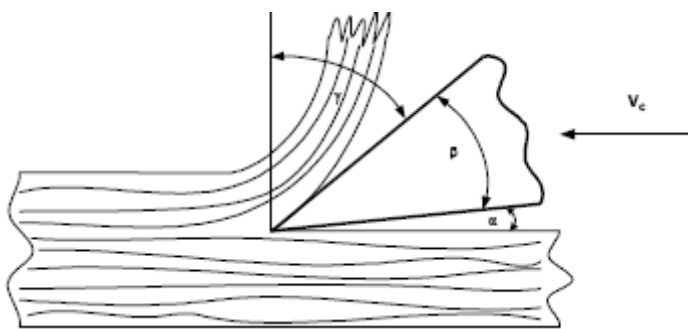


Figura 2: Esquema sobre cuchillo en contacto con la madera

Donde el *ángulo* α , es el ángulo de alivio o de incidencia. Con valores entre 1 y 25° este ángulo evita la fricción entre la parte posterior de la herramienta y el material. Este ángulo surge entre la madera que se va a cortar y el lado del elemento de corte que participara en el trabajo.

El *ángulo* β , es el ángulo de perfil. Sus valores están entre 20 y 75°, da a la herramienta su robustez y su capacidad de absorber cargas de impacto.

El *ángulo* γ es el ángulo de ataque. Sus valores están entre 5 y 40°, éste causa la formación de la viruta y es el responsable del estado de la superficie obtenida y del nivel de energía absorbida por el corte. (Ramos, 2002)

3.4.- Medición de desgaste

En la figura 3 se aprecia el radio de desgaste inicial (ρ_0) que se encuentra presente en todo el elemento de corte. Cuando este último se desgasta y llega a una etapa en que el cuchillo comienza afectar el proceso y la calidad de los productos, se dice que el elemento de corte a llegado a un desgaste máximo ρ_{max} (figura 3).

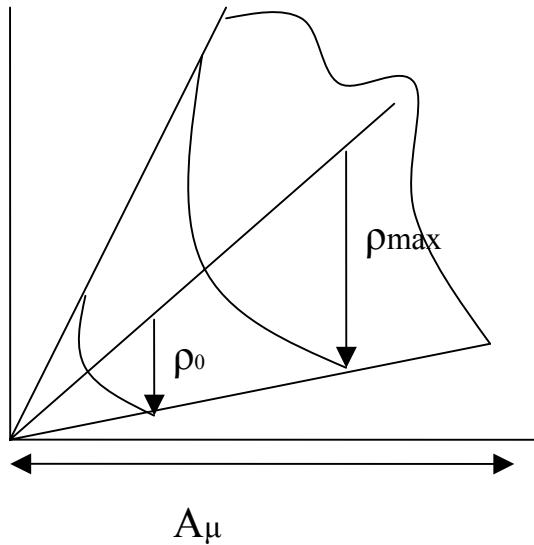


Figura 3: esquema del radio de desgaste del cuchillo

A_μ : corresponde a la diferencia que da el ancho inicial del cuchillo respecto al ancho del cuchillo desgastado (valor en micrones).

ρ_0 : es el radio inicial de desgaste, con el cual se forma el arco circunferencial del filo inicial del cuchillo

ρ_{max} : radio formador del arco circunferencial del filo desgastado del cuchillo.

El desgaste del filo se produce por el roce que éste tiene con la madera que está trabajando; luego, ρ_0 , el radio inicial de desgaste del filo del elemento de corte y sabiendo que este valor va creciendo y convirtiéndose en un ρ_{max} , radio final de desgaste, por lo que ya no le permite seguir trabajando en las condiciones deseadas,

entonces estamos en presencia de un $\Delta \rho$, este indica el aumento del radio de desgaste por efecto de corte. El $A\mu$, corresponde a la diferencia que da el ancho inicial del cuchillo respecto al ancho.

Tenemos lo siguiente:

$$\rho_{\max} = \rho_0 + \Delta \rho \quad \text{luego,}$$

$\Delta \rho = \rho_{\max} - \rho_0$ donde, $\Delta \rho$ es el aumento del radio de desgaste por efecto de corte.

Para obtener este radio de desgaste, se tiene la siguiente formula (Grogorov, 1990):

$$\Delta P = \left(\frac{A\mu * \operatorname{tg}(\beta/2)}{1 - \operatorname{sen}(\beta/2)} \right) = \rho_{\max} - \rho_0$$

El ángulo del filo del cuchillo para acero rápido esta dado por $\beta = 40^\circ$, medido experimentalmente. (Grogorov, 1990)

3.5.-Consecuencias del Desgaste

3.5.1.- Pérdida de filo

En el caso de los cuchillos la pérdida del filo trae consecuencias negativas (mencionados anteriormente en parámetros de la herramienta de corte 2.3.2)

3.5.2.-Consumo de potencia

Una cuchilla recién reparada no es completamente aguda, sino que incluye pequeñas irregularidades del afilado. Durante las primeras etapas del corte, el filo de la cuchilla esta sujeto a desgaste. Esto es debido a que una mayor cantidad de material toma parte en la deformación, al mismo tiempo la fricción se incrementa lo que implica un incremento de requerimientos con respecto a la energía o fuerza consumida; así avanza el proceso de desgaste. (González y Sepúlveda, 2006)

3.5.3.- Calidad superficial

El efecto del desgaste de la herramienta es una disminución de la calidad superficial de la madera a medida que el desgaste aumenta, esto es debido principalmente a que el proceso de corte propiamente tal tiende a ser reemplazado por un desgarramiento de la fibras a causa del redondeado o incremento del radio del filo de la herramienta. (González y Sepúlveda, 2006)

3.5.4.-Composición química del material

Debido al trabajo que realizan las maquinas cepilladoras, los cuchillos que estas utilizan son especiales para la actividad que desarrollan, ya que estos son sometidos a distintas sollicitaciones de resistencia mecánica al ejercer el corte. Por este motivo los cuchillos en general están compuestos por un tipo de Aceros Aleados (Alloys), éste tiene mejores características que el acero original. Cada tipo de componente aporta a la aleación una característica especial y su exacta cantidad y balance determinan la calidad de la aleación para cada propósito. (González y Sepúlveda, 2006)

Los elementos que se encuentran por lo general son:

- **Cromo:** Mejora la dureza y previene el oxido.
- **Tungsteno :** Retiene la dureza del metal a altas temperaturas
- **Manganeso :** Aumenta la resistencia al desgaste
- **Molibdeno :** Aumenta la resistencia y reduce la deformación térmica
- **Vanadio :** Aumenta la tanto resistencia como el “efecto resorte”
- **Carbono :** Permite dureza y forma del cuchillo

En la forma americana existen dos tipos de aceros aleados para fabricar cuchillos cepilladores que son:

- *M2 : Acero rápido o HSS*, con una composición "relativa" de una serie de elementos químicos en donde esta aleación presenta altos niveles dureza y muy buena resistencia al desgaste a altas temperaturas de laminación, disminuyendo de esta

forma los esfuerzos de resistencia al corte. Dependiendo del tipo y de la utilización del cuchillo estos componentes químicos varían en porcentaje.

- Tungsteno 6.0%
 - Carbono 0.75%
 - Cromo 7.8%
 - Manganeso 1.0%
 - Molibdeno 5.0%
 - Vanadio 2.0%
 - Wolframio 6.0%
-
- D2: Acero con alto contenido de Carbono y Cromo, el cuchillo de calidad HSS o M2 es de menor calidad que el de D2, pero tiene un comportamiento de elasticidad mayor, porque no es tan quebradizo, se recomienda para el cepillado de maderas duras o secas.
 - Tungsteno 6.0%
 - Carbono 1.5%
 - Cromo 12 %
 - Manganeso 1.0 %
 - Molibdeno 6.0 %
 - Vanadio 2.5 %
 - Wolframio 14-18 %

La gran diferencia que existe entre estos dos tipos de aceros radica principalmente en las distintas cantidades de cromo, molibdeno y Wolframio, en cuanto al porcentaje de carbono la diferencia es menor. Ante esta perspectiva, se puede decir que el desgaste de los cuchillos cepilladores, dependerá en gran medida a la presencia y al porcentaje de algunos de los componentes que lo conforman. Los posibles fenómenos de alta temperatura como la corrosión caliente que podría afectar el cuchillo implica un cambio de la morfología y análisis elemental del cuchillo. (González y Sepúlveda, 2006)

4.- METODOLOGÍA

4.1.- Materia Prima

Se utilizaron 87 piezas de 2"x4"x2.4 m y 166 piezas de 2"x4"x4 m, equivalente a 4,5 m³ de Shop 2, secada en cámara al 12% de contenido de humedad.

4.2.- Evaluación del desgaste del filo del elemento de corte

Para el proceso de cepillado se utilizó una máquina cepilladora SCM (Italia) con una potencia de 6,5 hp y velocidad de avance de 12 (m/min). Se dispusieron 4 cuchillos en el cabezal de la máquina cepilladora, tres de los cuales quedaron ocultos, y el cuarto fue el que se utilizó para el análisis del desgaste.

4.2.1.- Proceso de Cepillado

Para la evaluación del desgaste del filo del elemento de corte se consideraron 4 etapas de evaluación, a 200, 10000, 20000 y 30000 metros lineales. La velocidad de avance considerada para cada una de estas etapas fue de 12 m/min. La profundidad de cepillado fue 1 mm. La figura 4 muestra el proceso de cepillado de las piezas de madera.



Figura 4: proceso de cepillado de las piezas de madera.

4.2.2.- Medición de Desgaste de Cuchillos

En cada proceso se sacaron los cuchillos y mediante fotografías se midió el desgaste. Las fotografías digitales para los diferentes niveles de desgaste se obtuvieron mediante una cámara (MicroPublisher 3.3 RTV) instalada sobre un Estéreo microscopio (Olympus SZ61) y procesadas con la ayuda del programa Photoshop. La medición del desgaste se realizó con la ayuda del analizador de imágenes Wincell 5.1 A de Regent Instruments Inc (1999).

El nivel de desgaste correspondió al retroceso de la arista cortante (filo) en el dorso del cuchillo. El valor final del desgaste correspondió al promedio de las mediciones realizadas en el dorso del cuchillo para cada proceso de cepillado. Para este caso se midió el desgaste sólo en el dorso del cuchillo, que es donde se desgasta más el elemento de corte, producto del cepillado de madera. (González y Sepúlveda, 2006)

El cuchillo patrón para la medición de desgaste fue marcado en los extremos, y en el medio de este, tal como la muestra la *figura 5*. El marcado se realizó en un torno industrial, y luego se fotografió el cuchillo marcado con el fin de obtener la imagen inicial (sin desgaste). Para cada una de las etapas de evaluación de desgaste (200 a 30000 metros lineales), se procedió a fotografiar nuevamente el cuchillo con el fin de comparar el desgaste en cada una de estas etapas con la imagen inicial.

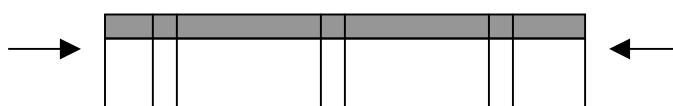


Figura 5: Esquema del marcado del cuchillo patrón.

4.2.4.- Medición del contenido de humedad y densidad de las piezas

Para calcular el %Ch y la densidad se siguieron los pasos según las normas chilenas Nch 176 (Determinación contenido de humedad y densidad) y Nch 44 (Inspección por atributos – tablas y procedimientos de muestreos), las mediciones y resultados esperados se consiguieron según estas normas. (Ver anexo 1.5)

Para cada una de las fotografías se procedió a medir el desgaste en 6 puntos (*figura 6*). Se obtuvo un promedio en micrones, para cada una de las etapas de cepillado.

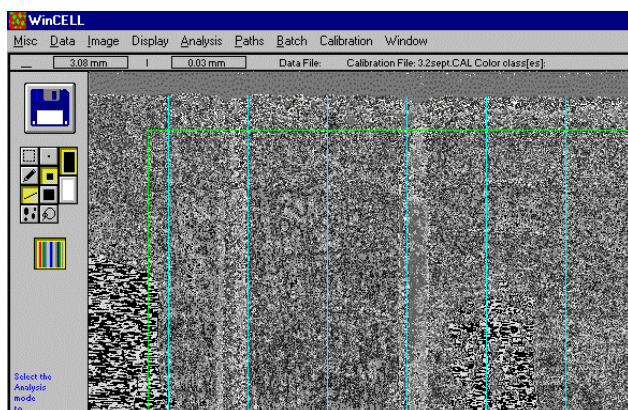


Figura 6: imagen de los puntos de medición del cuchillo

4.3.- Analizar el comportamiento de la resistencia de uniones adhesivas

4.3.1.- Evaluación de la resistencia de la unión adhesiva

- **Preparación de las muestras**

En cada una de las etapas de cepillado (200, 10000, 20000, y 30000 metros lineales) se extrajeron muestras al azar para la confección de probetas para medir la resistencia de la unión adhesiva.

Se evaluaron dos tipos de adhesivos, un adhesivo PVA D4 de dos componentes y un adhesivo de tipo isocianato EPI.

Las probetas para los ensayos respectivos fueron, según norma, 40 lamelas para cada tipo de adhesivo, es decir, 80 lamelas, y 240 lamelas en total para cada proceso de cepillado (200, 10.000, 20.000 y 30.000 metros lineales). Las dimensiones de cada lamela fueron de 5x20x150 mm.

Las lamelas se sacaron de la parte cepillada de las piezas procesadas y después se encolaron con 250 gr/m², por cada lamela, y con un prensado de 4 horas a temperatura ambiente.

El prensado se realizó en 7 prensas de tornillo. El número de total de probetas preparadas fue de 120.

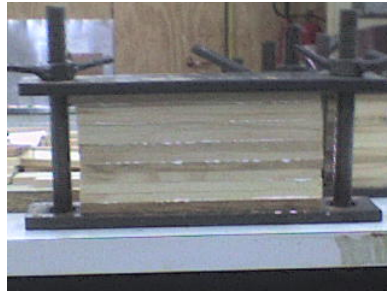


Figura 7: lamelas ya unidas en las prensas de tornillo con el adhesivo ya aplicado.

Se realizaron tres acondicionamientos de las probetas según norma EN-204 (ver anexo 1.4):

1. acondicionamiento 1: 7 días en atmósfera estándar
2. acondicionamiento 2: 7 días en atmósfera estándar, 3 horas en agua fría, y 7 días en atmósfera estándar
3. acondicionamiento 3: 7 días en atmósfera estándar, y 4 días en agua fría.

Las lamelas son llevadas a la Sierra Huincha para realizarles un corte en el centro de cada una de ellas por ambos lados, este corte está tabulado según norma EN 204, el corte llega justo hasta la línea de cola, tiene una separación entre corte de 1 cm y del centro a los extremos 8 cm.

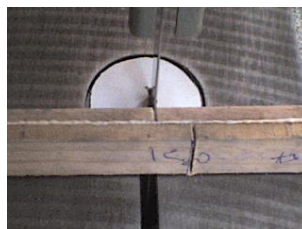


Figura 8: cortes de probetas en la Sierra Huincha para el ensayo de tracción

4.3.2.- Ensayos físicos mecánicos

Se realizaron ensayos de resistencia al cizalle en tracción, según norma EN204 para cada uno de las probetas confeccionadas para las etapas de cepillado en una máquina de ensayos mecánicos universal Instron de 5000 kg con una velocidad de carga 50 mm/min.

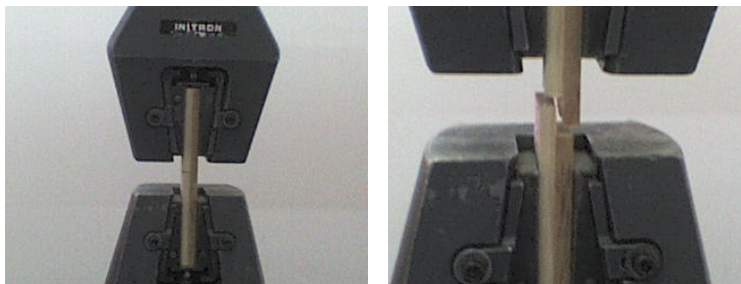


Figura 9: ensayo de cizalle en tracción

4.3.3.- Evaluación microscópica

Por cada tipo de adhesivo y por cada nivel de cepillado se obtuvieron muestras de 20x30 mm para ser analizadas microscópicamente. Cada una de estas muestras contenía en la parte central la unión adhesiva.

En cada ensayo realizado se tomaron 3 probetas por cada tipo de adhesivo, para evaluar la penetración de adhesivo y desgarro de células. Como una evaluación adicional se considero un análisis con microscopía de epifluorescencia para el adhesivo de tipo PVA, ya que a simple vista con el microscopio no se observaba bien la penetrabilidad de este adhesivo.

Para la obtención de las muestras se utilizó un micrótopo marca *Microm*, con un rango de corte de 15 a 60 μm . Las probetas son dispuestas sobre el porta muestras de éste y se aplicó agua con un pincel en la superficie a cortar, luego se limpia la superficie hasta eliminar todo tipo de impurezas visibles de la superficie. Se efectuó cortes entre 35-40 μm para todas las muestras obtenidas.

Podemos observar la interacción adhesivo madera y las superficies de unión microscópicamente, se realizaron 3 cortes transversales a la línea de cola. Para el caso de las probetas con adhesivo PVA se observaron mediante microscopía con luz de epifluorescencia, con un aumento de 10x, 20x, y 40x. Para el caso de las EPI con microscopía normal, usándose un aumento de 20x para el análisis de las fotografías. Se espera ver el efecto del elemento de corte y la penetración de los dos tipos de adhesivos. Por cada tipo de adhesivo se realizaron 3 muestras aleatorias en cada proceso de cepillado, donde se le realizaron 3 cortes con microtomo como se explicaba anteriormente, se tomaron una serie de fotos para tener una idea clara de comparación y diferencia entre ellas.

4.3.4.- Experimento Factorial

Para determinar que factores influyen (metros lineales, acondicionamientos, y adhesivos) en la resistencia al cizalle, se realizó un experimento factorial. Se entiende por este, la investigación de todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o replicas del experimento. En la tabla 1 se muestran los factores y niveles considerados en este estudio. Para este caso se utilizó un experimento factorial 2x3x4.

Tabla 1: factores y niveles para el experimento factorial.

Factor	Niveles
Adhesivo	PVA
	EPI
Acondicionamientos	Acond1
	Acond2
	Acond3
Metros lineales	200
	10000
	20000
	30000

5.- ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentará, analizará y discutirá como aumenta el radio de desgaste $\Delta \rho$ con respecto a los metros lineales cepillados.

5.1.- Evaluación del desgaste del filo del cuchillo

En la figura 10 se aprecia el efecto de la longitud de cepillado en el desgaste del elemento de corte.

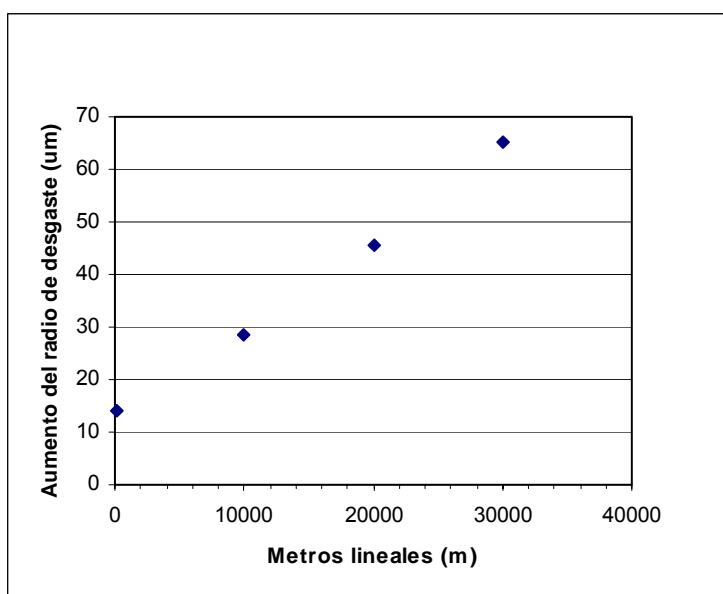


Figura 10: efecto de la longitud de cepillado en el desgaste del elemento de corte.

Se observa que a los 200 metros lineales de cepillado se obtuvo 14,21 micrones de radio de desgaste, para los 10000 metros lineales 28,36 micrones, para los 20000 metros lineales 45,39 y para los 30000 metros lineales 65,24 micrones de radio de desgaste.

Entre los 200 y los 10000 metros lineales se observó un aumento del desgaste prácticamente lineal. Sin embargo, por sobre los 10000 metros lineales se pierde esta proporcionalidad.

El desgaste producido a los 30000 metros lineales fue de un 350% mayor, que el que se produjo a los 200 metros lineales.

6.- EVALUACION DE LA CALIDAD DE LA UNION ADHESIVA

6.1.- Resistencia al cizalle

Se obtuvo valores promedios, para la resistencia al cizalle en tracción de la línea de cola y los porcentajes promedios de falla de madera y del adhesivo, para los tres acondicionamientos requeridos por la norma EN 204. La tabla 2 presenta los resultados promedios de resistencia al cizalle en tracción para los adhesivos PVA y EPI para los tres tipos de acondicionamiento. En general, los valores promedios entregados están sobre los mínimos exigidos por la norma EN 204.

Se observó que la resistencia al cizalle de la línea de cola va disminuyendo conforme se cepilló más metros lineales de madera.

Tabla 2: valores promedios de resistencia al cizalle en tracción en función de los metros lineales de cepillado para los tres acondicionamientos.

Acondicionamiento 1					
Longitud de cepillado (m)					
	200 (m)	10000(m)	20000(m)	30000(m)	EN 204
Adhesivo	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	N/mm2
PVA	22,00 (DE:5.15)	21,64 (DE:3.14)	21,52 (DE:6.36)	21,47 (DE:7.58)	10
EPI	24,86 (DE:8.28)	22,33 (DE:4.86)	22,20 (DE:5.17)	22,02 (DE:5.20)	

Acondicionamiento 2					
Longitud de cepillado (m)					
	200 (m)	10000(m)	20000(m)	30000(m)	EN 204
Adhesivo	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	N/mm2
PVA	27,10 (DE:3.70)	24,02 (DE:3.80)	22,01 (DE:7.02)	17,46 (DE:3.90)	8
EPI	27,70 (DE:5.06)	24,04 (DE:4.12)	23,34 (DE:8.12)	22,38 (DE:7.18)	

Acondicionamiento 3					EN 204
Longitud de cepillado (m)					
	200 (m)	10000(m)	20000(m)	30000(m)	
Adhesivo	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	Resistencia N/mm2	N/mm2
PVA	17,47 (DE:5.12)	17,09 (DE:5.68)	16,94 (DE:4.90)	12,32 (DE:4.60)	2
EPI	19,14 (DE:5.18)	18,86 (DE:5.82)	18,82 (DE:5.95)	12,86 (DE:3.35)	

El análisis ANOVA (tabla 3) indica que hubo interacción significativa entre el acondicionamiento y los metros lineales de cepillado (AC, valor $p=0,0145$)

Tabla 3: Análisis de varianza para la resistencia al cizalle en tracción ($\alpha=0,05$)

Analysis of Variance for Resistencia - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:acondicion	3626,78	2	1813,39	57,51	0,0000
B:adhesivos	214,157	1	214,157	6,79	0,0095
C:ML	1204,28	3	401,426	12,73	0,0000
INTERACTIONS					
AB	4,36741	2	2,1837	0,07	0,9331
AC	508,303	6	84,7172	2,69	0,0145
BC	19,7867	3	6,59558	0,21	0,8900
ABC	134,18	6	22,3634	0,71	0,6424
RESIDUAL	12109,2	384	31,5343		
TOTAL (CORRECTED)	17664,8	407			

Analizando esta interacción se puede observar que la resistencia de cizalle en tracción no tuvo diferencias significativas en el acondicionamiento 1, lo que implica que el desgaste no tuvo efecto en la calidad de la unión adhesiva. Sin embargo, diferencias significativas se apreciaron en la resistencia al cizalle en tracción para los acondicionamientos 2 y 3 (figura 10.1).

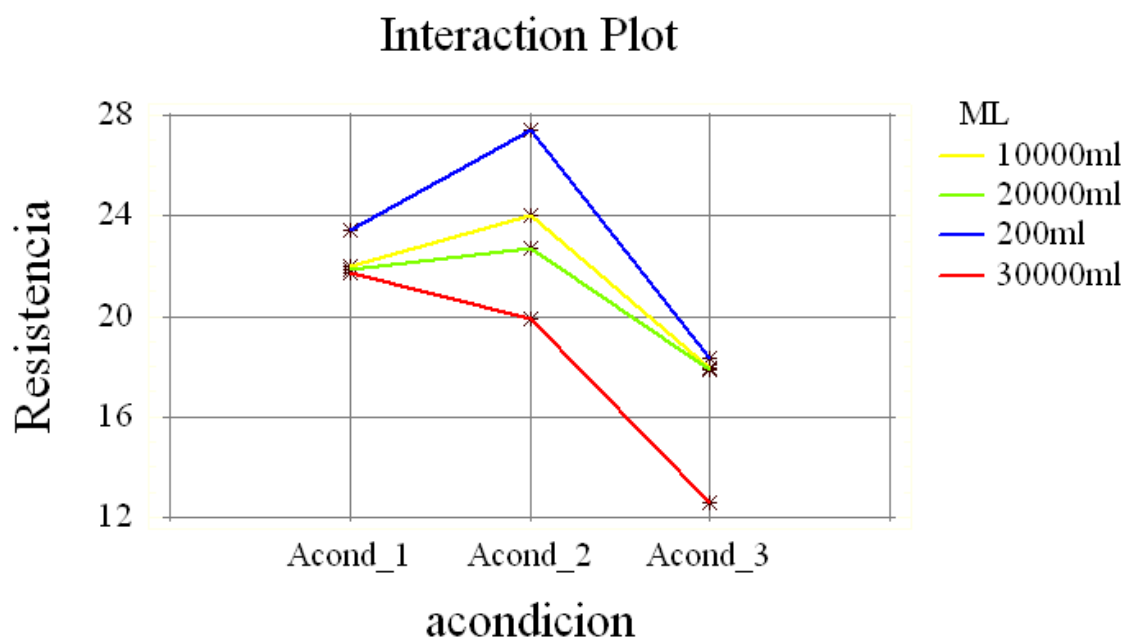


Figura 10.1: comparación entre los tres niveles de acondicionamiento con respecto a la resistencia al cizalle en tracción para las distintas etapas de cepillado.

Se aprecia que comparando los 200 metros lineales con el resto de los metros lineales cepillados para el acondicionamiento 1 que no existen diferencias significativas entre los niveles de cepillado, por lo que el desgaste no afectó a la calidad de la unión adhesiva en condiciones normales (tabla 4).

Tabla 4: muestra las diferencias estadísticamente significativas entre los metros lineales cepillados y los tres niveles de acondicionamientos, en relación a la resistencia al cizalle en tracción.

	Acond 1	Acond 2	Acond 3
Metros Lineales	Hay o No Diferencia	Hay o No Diferencia	Hay o No Diferencia
200-10000	No ($p=0,3082 > 0,05$)	SI ($p=0,0135 < 0,05$)	No ($p=0,8076 > 0,05$)
200-20000	No ($p=0,2739 > 0,05$)	SI ($p=0,0007 < 0,05$)	No ($p=0,7530 > 0,05$)
200-30000	No ($p=0,2395 > 0,05$)	SI ($p=0,0001 < 0,05$)	SI ($p=0,0001 < 0,05$)
10000-20000	No ($p=0,9328 > 0,05$)	No ($p=0,3387 > 0,05$)	No ($p=0,9328 > 0,05$)
10000-30000	No ($p=0,8720 < 0,05$)	SI ($p=0,0041 > 0,05$)	SI ($p=0,0001 < 0,05$)
20000-30000	No ($p=0,9397 > 0,05$)	No ($p=0,0502 > 0,05$)	SI ($p=0,0001 < 0,05$)

Para el caso del acondicionamiento 2 que es más severo que el anterior, (7 días a temperatura ambiente, 3 horas en agua fría y 7 días más a temperatura ambiente), estas condiciones producen diferencias significativas en cada una de las etapas de cepillado con respecto a los 200 metros, también para el caso de los 10000-30000.

Observando el acondicionamiento 3 que es el más severo de los tres (7 días a temperatura ambiente y 4 días en agua fría), las diferencias significativas se comienzan a manifestar entre los 200-30000, 10000-30000, 20000-30000, para los otros no se observa. Por lo que, cuando el desgaste llega a los 30000 metros, se produce un efecto del desgaste en la calidad de la unión adhesiva.

Por lo tanto, la calidad de la unión adhesiva no se ve afectada por un desgaste a condiciones normales (acondicionamiento 1). En cambio si las condiciones son rigurosas (acondicionamiento 2 y 3) se observa una influencia del desgaste.

En la figura 10.2, se observa la comparación de la longitud de cepillado con respecto a los acondicionamientos, en relación a la resistencia al cizalle en tracción.

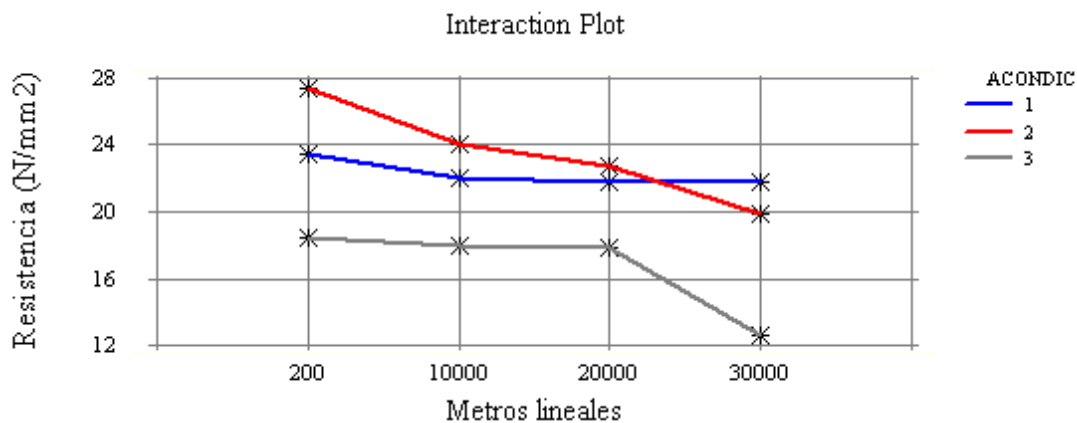


Figura 10.2: comparación entre los tres niveles de acondicionamiento y los metros lineales cepillados, con respecto a la resistencia al cizalle en tracción.

En general se aprecia que la resistencia al cizalle en tracción es afectada significativamente cuando se compara el acondicionamiento 1 y 3, y entre el acondicionamiento 2 y 3.

Entre el acondicionamiento 1 y 2 parece no existir diferencias significativas, exceptuando la primera etapa de cepillado.

El análisis Anova realizado a los adhesivos para ver como afectan éstos a la resistencia de la unión adhesiva mostró una influencia significativa. (tabla 5)

Tabla 5: Anova para la resistencia al cizalle en tracción con respecto a los dos adhesivos

ANOVA Table for RESISTENCI by adhesivos

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	258,443	1	258,443	6,03	0,0145
Within groups	17406,4	406	42,8729		
Total (Corr.)	17664,8	407			

La resistencia al cizalle en tracción fue significativamente diferente entre los adhesivos PVA y EPI, cuyas medias son 20 y 21,5 (N/mm²) respectivamente (valor p = 0.0145). En la figura 11 de box plot, se observan las medianas para ambos adhesivos, lo cual nos indica que el 50% de los resultados obtenidos con el adhesivo EPI son mayores o iguales que 21,8 N/mm², comparados con el 50% de los resultados con PVA equivalente a 19,6 N/mm².

6.2.- Análisis descriptivo

La figura siguiente muestra la diferencia de resistencia al cizalle en tracción entre los dos tipos de adhesivos utilizados.

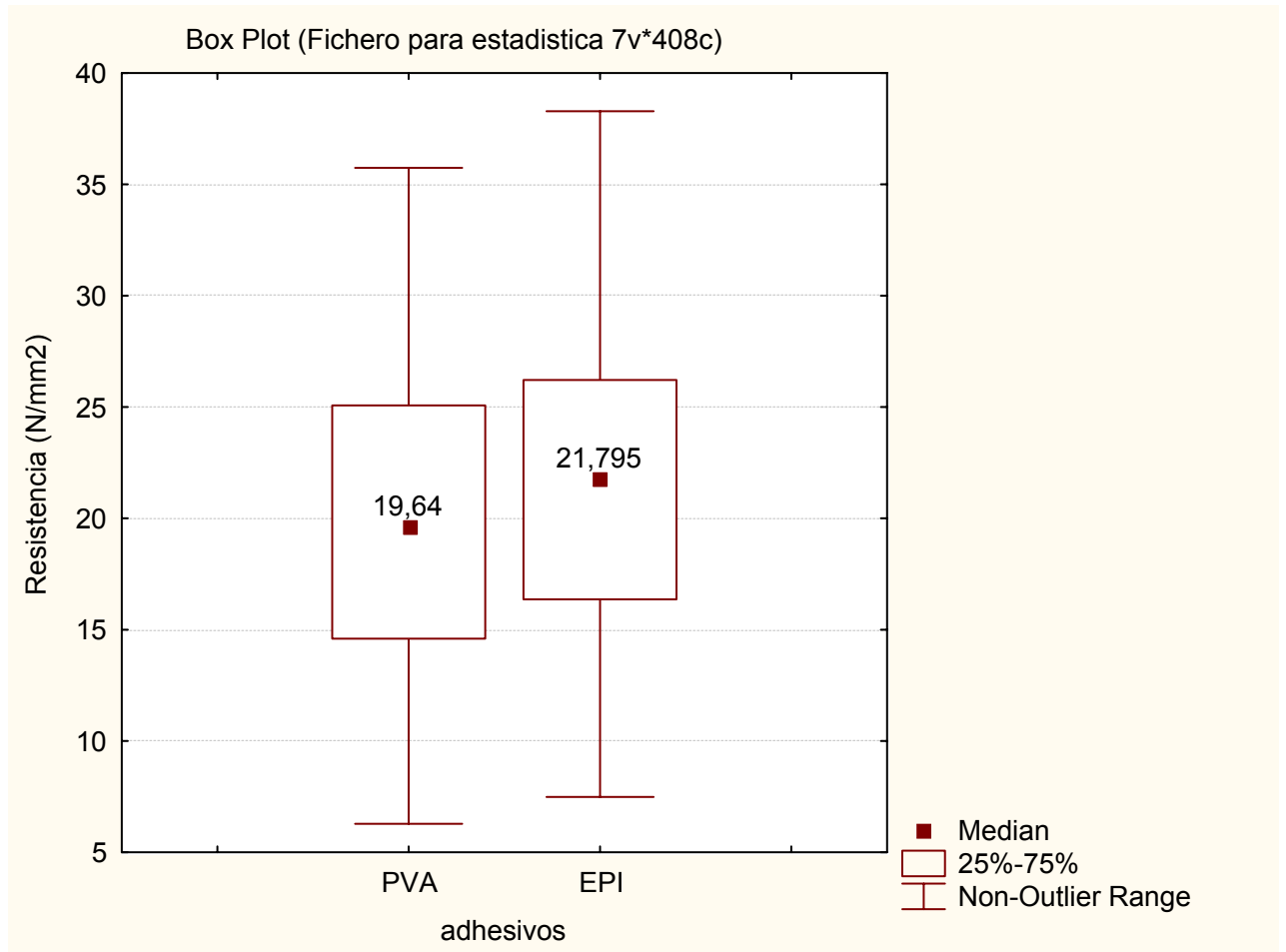


Figura 11: Box plot sobre los dos tipos de adhesivos con respecto a la resistencia.

La resistencia de cizalle en tracción para el adhesivo EPI presenta un mejor comportamiento que la obtenida por el PVA. La figura implica que el 50% de los resultados obtenidos con el adhesivo EPI son mayores o iguales que 21,8, comparados con el 19,6 para PVA

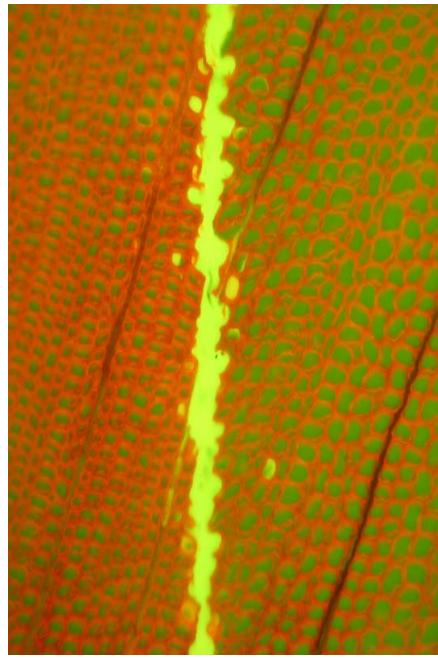
7.- ANALISIS MICROSCOPICO DE LAS MUESTRAS

Las figuras 12 y 13 muestran a nivel microscópico las uniones adhesivas con los adhesivos PVA y EPI, para una etapa de cepillado de 200 y de 30000 metros lineales.

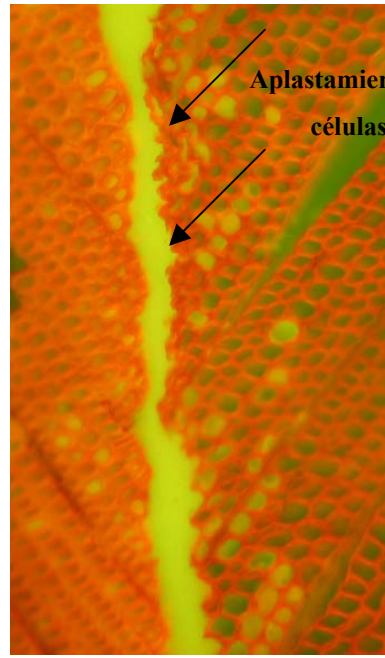
Se puede observar un leve aplastamiento de las células a la condición de 30000 metros lineales, condición que implica un mayor desgaste de los cuchillos (aumento radio desgaste 65,24 micrones) en ambos adhesivos.

Este daño podría eventualmente provocar una disminución de la calidad de la unión adhesiva cuando es sometida a condiciones severas de acondicionamiento. (2 y 3)

En la figura 13 (EPI) se observa una mayor penetración del adhesivo en los 30000 metros lineales que en los 200 metros, lo cual produce un adelgazamiento de la línea de cola, debilitando la unión adhesiva.

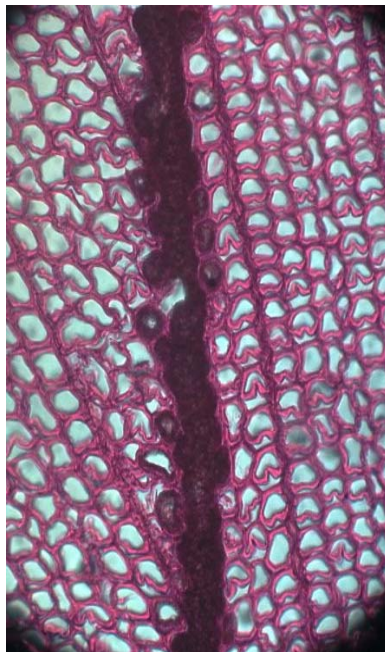


200 ml, 10x PVA

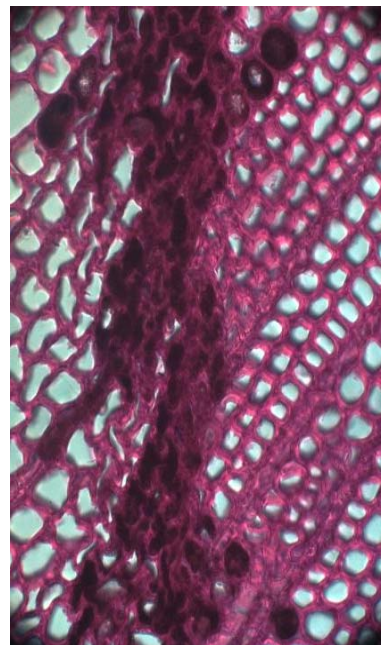


30000 ml, 10x PVa

Figura 12: fotos microscópicas con epifluorescencia para los 200 y 30000 metros lineales de cepillado, para el adhesivo PVA y con un aumento de 10x en la fotografía



200 ml, 20 x, EPI



30000 ml, 20 x, EPI

Figura 13: fotos microscópicas con epifluorescencia para los 200 y 30000 metros lineales de cepillado, para el adhesivo EPI y con un aumento de 20x en la fotografía

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se apreció un aumento de radio desgaste entre los 200 metros lineales hasta los 30000 metros lineales. Al principio entre los 200 y 10000 metros lineales se ve una tendencia lineal, después a medida que aumenta los metros cepillados se hace menos proporcional hasta llegar a los 30000 metros lineales. Sin embargo, mayores estudios se requieren para analizar si este desgaste se produce en forma lineal a medida que aumenta la longitud de cepillado.
- A los 200 metros lineales de cepillado se obtuvo 14,21 micrones de radio de desgaste, para los 10000 metros lineales 28,36 micrones, para los 20000 metros lineales 45,39 y para los 30000 metros lineales 65,24 micrones de radio de desgaste.
- Todos los valores de resistencia al cizalle en tracción para los dos adhesivos ensayados, están por sobre los valores mínimos exigidos por la norma EN 204 para los tres acondicionamientos aplicado.
- Para el acondicionamiento 1 (7 días temperatura ambiente) no hay diferencia en la resistencia al cizalle en tracción entre las distintas etapas de cepillado de la madera (200 a 30000 metros lineales). Si existen algunas diferencias para los acondicionamientos 2 y 3, los cuales son más drásticos.

- Con respecto a los adhesivos, el EPI presenta uniones adhesivas de mayor resistencia al cizalle en tracción que el adhesivo PVA, estando de todos modos ambos adhesivos sobre los valores mínimos exigidos por la norma.
- En general se puede decir que hay una influencia del desgaste en la calidad de la unión adhesiva, sin embargo la resistencia cumple con los estándares exigidos por la norma. Esto implica que el desgaste no se hace crítico desde el punto de vista de la resistencia de la unión adhesiva hasta los 30000 metros lineales en estudio, equivalente a un aumento del radio de desgaste de 65,24 micrones.
- Se requiere hacer mayores estudios para ver cuando el desgaste afecta a la calidad de la unión adhesiva bajo los valores exigidos por la norma.

9.- BIBIOGRAFIA

- Aravena. E, Claudio y Arias. A, Rodrigo. 1998. Evaluación de la calidad superficial de la madera cepillada de eucalipto, al variar la velocidad de avance. Título de Ingeniero de ejecución en maderas, Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Madera, Concepción p112.
- Apraiz, José, “Aceros Especiales”, segunda Edición, 1961.
- Análisis Estadísticos, programación con Statgraphics 3.1, Statistica v6.0, Y Programación SAS.
- Bon Paul. F, Carlos y Marín. M, Marcelo.1996. Diagnóstico de los defectos presentes en la madera en el proceso de cepillado. Título de Ingeniero ejecución en maderas. Universidad del Bio-Bio, Facultad de Ingeniería, Departamento de Madera, Concepción. P97.
- British Standard BS EN 204:1991. Classification of Non- Structural adhesives for joining of Wood and derived timber products. Central secretariat: rue de stassart 36, B-1659 Brusses. 12p.
- Carrasco. M, Rodrigo.2005. Estudio de las variables de preparación de la madera y resistencia de uniones adhesivas en paneles encolados de canto para planta FOREX CBB. Título de Ingeniero ejecución en maderas. Universidad del Bio-Bio, Facultad de Ingeniería, Departamento de Madera, Concepción. P96.
- Frola, L. Leonardo, “Técnicas de operación de máquinas elaboradoras de madera”, Departamento Forestal Fundación Chile, 1990.
- González. V, Tamara y Sepúlveda. F, Ana.2006. Efecto de la rectificación y desgaste de cuchillas en la calidad de cepillado de madera de pino radiata. Título de Ingeniero ejecución en maderas. Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Madera, Concepción. P60
- Grogorov, P. Petko 1990, Guía de ejercicios para teoría de corte de la madera y de los elementos de corte. Editorial, Su autor Sofia, ISBN: 954-05-0073-7, 160 p.
- Henkel. 2004. “Teoría de la adhesión”. Documento técnico www.henkel.com.

- Hernández, G. 2004. “Tecnología del encolado de la madera”, “Pino radiata, descripción y distribución”, “Tipos de pegamentos”. Documento técnico Infor www.aldeaforestal.cl.
- INFOR, CORFO. 1986. “Especies forestales exóticas de interés económico”. Documento técnico, Santiago.
- NCH 176/1.OF 1984. Parte1: Determinación de Humedad. Descriptores: madera, humedad, ensayos. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1984. 10 p.
- NCH 176/2.OF 1988. Parte2: Determinación de densidad. Referencias: Nch 176/1, Nch176/3 y Nch 968. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1988. 12 p.
- NCH 44 1978. Inspección por atributos tablas y procedimientos de muestreo Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1978.
- Ramos. M, Mario.2002. Apuntes del curso, Procesos de corte.
- Skeist, Irving. 1966. “Manual de adhesivos”.Primera edición española, México. Pág.:321-327. Compañía Editorial Continental.
- Torres, H. 1971. “Maderas” Depto. Técnico de Corporación Chilena de la Madera (CORMA). Pág.:35-36, 217-233.

10.- ANEXOS

1.1 Características de la Máquina Cepilladora

Marca	SCM;Italia
Dimensión mesa de trabajo	520*920 (mm)
Altura máxima de trabajo	250 (mm)
Altura mínima de trabajo	3 (mm)
Arranque máximo de material	8 (mm)
Numero de cuchillos	4
Mínimo espesor que saca	0,5 (mm)
Mínimo espesor que queda la pieza	4 (mm)
Largo cuchillo	50 (cm)
Velocidad de rotación de eje	4500 (rpm)
Velocidad de avance	5-8- 12 -15 (m/min)
Potencia de motor	4- 7.5 (Kw) o 5.5-10 (Kw)
Peso neto	680 (kg)
Diametro del Cabezal	120 mm

1.2 Características de los adhesivos

- SYNTEKO 0312 CON HARDENER 1992 (EPI), es usado para el pegado de Madera con madera. La línea de cola tiene alta resistencia al calor y solventes como también una buena resistencia al deslizamiento bajo carga sostenida. Synteko 0312 con hardener 1992 puede ser usado en prensas en frío y caliente como también en prensas de RF.

Propiedades

Tipo	0312	Dispersión basada en agua
	1992	Isocianato, MDI
Forma de entrega	0312	Líquido
	1992	Líquido
Color	0312	Blanco
	1992	Gris claro
Viscosidad	0312	aprox. 12000 mPas, Brookfield LVT, sp.4, 6 rpm, 25°C.
	1992	aprox. 300 mPas, Brookfield LVT, sp.2, 30 rpm, 25°C
Densidad	0312	aprox. 1200 kg/m ³
	1992	aprox. 1200 kg/m ³
pH	0312	aprox. 7
	0312/1992	aprox. 7

1.2.1 Otras informaciones

Propiedades de la Synteko 0312 con hardener 1992 cumple los requerimientos de línea de cola de acuerdo a la American National Standard for Hardwood and Decorative plywood, Type I, EN 204 D4, JAS 234 and JAS 235

- ACETATO DE POLIVINILO 9581 PVA

Adhesivo para madera de 2 componentes entrecruzante diseñado específicamente para usos en aplicaciones como encolado de canto con RF y laminado de chapas (curado en caliente). Un catalizador apropiado 9582, 9581 provee un nivel sin precedentes de resistencia al agua para un adhesivo en emulsión y cumple con las especificaciones de comportamiento mostradas a continuación.

1.2.2 Propiedades Físicas

Viscosidad, cps (RV 5/50/70°F)	2,500
pH	4.8
Sólidos, %	48
Peso por Galón, lbs/gal	9.1
Temperatura mínima usada, °F	
Catalizador 9582 (5% by wt.)	70
Vida almacenamiento, 70°F	3 Months
Catalizador 9582 (5% by wt.)	>48

1.2.3 Otras Propiedades

NWWDA I.S. 1-A-97	Type I
ASTM D5751-95	Wet Use
ASTM D4317-94	Type I
ANSI/HPVA HP-1-1994	Type I
EN 204	D4

1.3.- Descripción de la durabilidad de los grupos

Durabilidad del grupo	Requerimientos de la unión	Ejemplos de aplicación
D1	Encolado interior, en que la temperatura ocasionalmente excede 50° C por corto tiempo y el CH de la madera es de 15% máximo.	En piezas interiores secas (puertas, muebles, paneles)
D2	Encolado interior con exposición ocasional de corto plazo a agua corriente o de condensación y/o alta humedad pero en que el CH de la madera no supera el 18%	En interiores con elevada humedad (cocina, baños). Exterior protegido
D3	Interior con frecuentes exposiciones de corta duración a escurrimiento de agua o de condensación y/o fuerte exposición a alta humedad. Exterior no expuesto a interperie.	En interiores con cortos periodos de exposición al agua y alta humedad, también para aplicaciones interiores (puertas, ventanas, escaleras)

D4	Interior con exposición frecuente de larga duración a escurrimiento o condensación de agua. Exterior expuesto a interperie pero con adecuada protección mediante recubrimiento superficial	En interiores con cambios de humedad extremos y alta exposición al agua (piscinas interiores, duchas; aplicaciones exteriores expuestas a cambios climáticos) (puertas y ventanas exteriores con barniz o pintura oscura, escaleras y barandas)
----	--	---

1.4.- Acondicionamiento de acuerdo a Norma EN 205

Acondicionamiento de acuerdo a EN 205		Resistencia adhesiva N/mm ² Clase de durabilidad			
N° serial de secuencia de acondicionamiento	Tipo y duración	D1	D2	D3	D4
1	7 días (1) en atmósfera estándar (2)	min 10	min10	min10	min10
2	7 días en atmósfera estándar 3 horas en agua fría (4)	nada (3)	min 8	nada	Nada
3	7 días en atmósfera estándar 4 días en agua fría	nada	nada	min8	Min4

Día: 24 horas

(2) 23 +/- 2° C y 50% HR o 20° C y +/- 5% HR

(3) test no requerido

(4) el agua debe tener igual T° que la del ensayo (20° C o 23° C)

1.5.- Análisis del contenido de humedad y densidad de las piezas.

Para calcular el %Ch y la densidad se siguieron los pasos según las normas chilenas Nch 176(Determinación contenido de humedad y densidad) y Nch 44 (Inspección por atributos – tablas y procedimientos de muestreos), las mediciones y resultados esperados se consiguieron según estas normas.

Según la Nch 44 se le eligieron la cantidad de probetas necesarias para el cálculo del Ch y la densidad, por lo que nos dio lo siguiente:

- Piezas de 2’’*4’’*2.4m se requieren 11 probetas de 25*25*100 mm
- Piezas de 2’’*4’’*4m se requieren 21 probetas de 25*25*100 mm
- Por lo que para el caso de Ch se tienen 32 probetas y para la densidad 32 probetas.

Luego después de obtener la cantidad de probetas necesarias para los ensayos, se ocupó la Nch 176 para el cálculo del Ch y densidad, se siguen una serie de procedimientos y según formulas se llegan a los siguientes resultados:

- Contenido de Humedad promedio para piezas de 2’’*4’’*4m se obtuvo **12,30%**
- Contenido de Humedad promedio para piezas de 2’’*4’’*2.4m se obtuvo **12,22%**
- Densidad Básica, (Mo/Vv) es la masa en kilogramos de la probeta en condición anhidra y el volumen en metros cúbicos de la probeta en estado verde.
- Densidad básica promedio para piezas de 2’’*4’’*4m se obtuvo **392.65 (kg/m3)**
- Densidad básica promedio para piezas de 2’’*4’’*4m se obtuvo **410.52 (kg/m3)**

1.6.- Resultados y tablas del Contenido de Humedad y densidad

1.6.1.- Contenido de humedad para probetas de: 2"x4"x4m

Contenido de humedad 21 probetas de 2"x4"x4m			
Corte	Masa H(g)	Masa S (g)	CH %
1.1	24,35	21,67	12,37%
1.2	25,81	22,99	12,27%
2.1	31,51	28,17	11,86%
2.2	26,95	23,99	12,34%
3.1	35,45	31,65	12,01%
3.2	32,17	28,49	12,92%
4.1	29,37	26,1	12,53%
4.2	25,77	23,05	11,80%
5.1	25,08	22,08	13,59%
5.2	26,21	23,02	13,86%
6.1	25,89	23,14	11,88%
6.2	25,35	22,69	11,72%
7.1	31,81	28,49	11,65%
7.2	32,80	29,37	11,68%
8.1	27,39	24,25	12,95%
8.2	26,93	23,9	12,68%
9.1	25,42	22,95	10,76%
9.2	28,75	25,86	11,18%
10.1	27,51	24,51	12,24%
10.2	29,76	26,44	12,56%
11.1	31,86	28,09	13,42%
PROMEDIO	28,39	25,28	12,30%

1.6.2.- Contenido de humedad para probetas de: 2"x4"x2.4m

Contenido de humedad 11 probetas de 2"x4"x2,4m			
Corte	Masa H(g)	Masa S (g)	CH %
1.1	31,07	27,74	12,00%
1.2	32,16	28,73	11,94%
2.1	30,85	27,68	11,45%
2.2	29,62	26,57	11,48%
3.1	33,59	29,95	12,15%
3.2	33,14	29,39	12,76%
4.1	31,70	28,08	12,89%
4.2	30,98	27,44	12,90%
5.1	30,85	27,44	12,43%
5.2	34,12	30,44	12,09%
6.1	33,82	30,12	12,28%
PROMEDIO	31,99	28,51	12,22%

1.6.3.- Densidad para probetas de: 2"x4"x4m

Densidad de 21 probetas de 2"*4"*4m			
Corte	Peso S2 (g)	Desplaz (cm3)	Densidad2 kg/m3
11.2	29,05	67,30	431,65
12.1	25,15	65,77	382,39
12.2	27,49	68,06	403,91
13.1	27,94	68,75	406,40
13.2	25,67	66,48	386,13
14.1	24,33	68,47	355,34
14.2	24,26	67,39	359,99
15.1	28,22	66,97	421,38
15.2	25,54	67,50	378,37
16.1	29,16	67,34	433,03
16.2	28,53	69,56	410,15
17.1	28,63	68,52	417,83
17.2	26,97	68,08	396,15
18.1	27,82	65,28	426,16
18.2	26,98	67,93	397,17
19.1	27,24	67,70	402,36
19.2	24,66	68,07	362,27
20.1	21,69	66,50	326,17
20.2	23,17	63,24	366,38
21.1	25,02	66,09	378,57
21.2	27,42	67,91	403,77
PROMEDIO	26,43	67,28	392,65

1.6.4.- Densidad para probetas de: 2"x4"x2.4m

Densidad de 11 probetas de 2"*4"*2,4m			
Corte	Peso S2 (g)	Desplaz (cm3)	Densidad2 kg/m3
6.2	29,34	68,76	426,70
7.1	32,97	66,52	495,64
7.2	31,56	67,06	470,62
8.1	24,96	64,86	384,83
8.2	25,01	65,65	380,96
9.1	28,32	64,72	437,58
9.2	27,03	61,86	436,95
10.1	26,08	66,09	394,61
10.2	25,16	64,82	388,15
11.1	22,99	66,22	347,18
11.2	22,84	64,79	352,52
PROMEDIO	26,93	65,58	410,52

1.7.- Cálculo de desgaste según fórmula (Grogorov, 1990)

$$\Delta P_{200} = A_{\mu(200)} * 0.55 = 25.83 * 0.55 = 14.21 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{10000} = A_{\mu(10000)} * 0.55 = 51.57 * 0.55 = 28.36 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{20000} = A_{\mu(20000)} * 0.55 = 82.53 * 0.55 = 45.39 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{30000} = A_{\mu(30000)} * 0.55 = 118.63 * 0.55 = 65.24 \text{ micrones}$$

Donde, el valor 0,55 es la constante tomada de la fórmula de Grogorov, como se muestra a continuación:

$$\Delta P = \left(\frac{A\mu * \operatorname{tg}(\beta/2)}{1 - \operatorname{sen}(\beta/2)} \right) = \rho_{\max} - \rho_0$$

$$\frac{\operatorname{tg}(\beta/2)}{1 - \operatorname{sen}(\beta/2)} = 0,55$$

Por lo anteriormente calculado encontramos el radio de desgaste para cada proceso de cepillado:

$$\Delta P_{200} = 14.21 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{10000} = 28.36 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{20000} = 45.39 \text{ micrones}$$

$$\Delta P_{30000} = 65.24 \text{ micrones}$$

1.8.- Fotografías de la evolución del desgaste

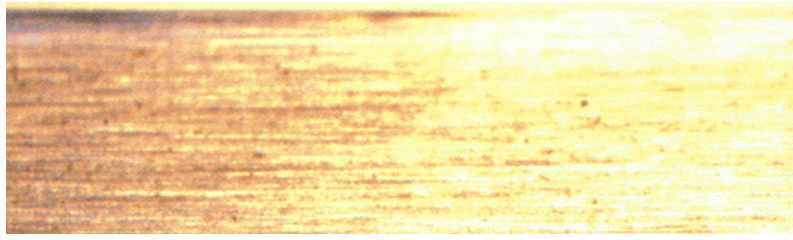


Figura 14: Patrón cara

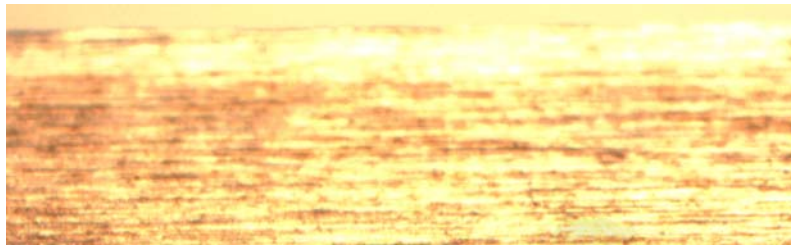


Figura 15: Desgaste cara 10000 (m)

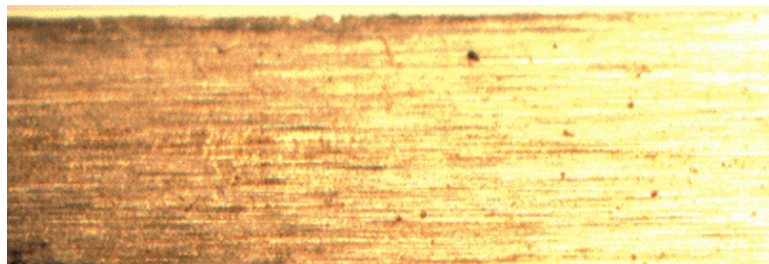


Figura 16: Desgaste cara 20000 (m)

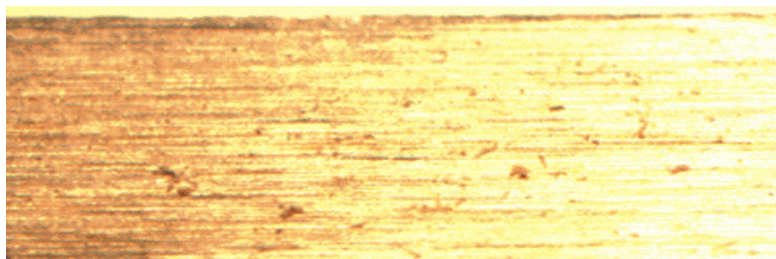


Figura 17: Desgaste cara 30000 (m)

1.9.- Resistencia promedio y % falla promedio

	Resistencia	% Falla	% Falla
Nombre	N/mm2	M	A
P11	22,00	95	5
P12	21,64	93	7
P13	21,52	89	11
P14	21,47	86	14
E11	24,86	97	3
E12	22,33	93	7
E13	22,20	88	12
E14	22,02	86	14
P21	27,10	93	7
P22	24,02	92	8
P23	22,01	87	13
P24	17,46	85	15
E21	27,70	99	1
E22	24,04	95	5
E23	23,34	90	10
E24	22,38	88	12
P31	17,47	93	7
P32	17,09	81	19
P33	16,94	76	24
P34	12,32	56	44
E31	19,14	96	4
E32	18,86	88	12
E33	18,82	83	17
E34	12,86	87	13

Donde,

- P: PVA E: EPI
- P11-P22-P33: el primer número, 1, 2, o 3 se refiere a los acondicionamientos
- P11-P12-P13-P14: el segundo número, 1,2,3, o 4 se refiere a los metros lineales cepillados, (1=200m) (2=10000m) (3=20000m) (4=30000m)

1.10 Análisis factorial por modelamiento SAS

ANALISIS FACTORIAL
Modelo SAS

a1	b1	c1	18.44
a1	b1	c1	27.11
a1	b1	c1	20.24
a1	b1	c1	19.38
a1	b1	c1	25.68
a1	b1	c1	18.95
a1	b1	c1	28.83
.	.	.	.
.	.	.	.

.	.	.	.
.	.	.	.
a2	b3	c4	17.11
a2	b3	c4	13.83
a2	b3	c4	9.77
a2	b3	c4	7.49
a2	b3	c4	15.06
a2	b3	c4	11.83
a2	b3	c4	10.39

1.11.- Contraste para el modelamiento SAS

```

class FactorA FactorB FactorC;
model Resistencia = FactorA FactorB FactorC FactorA*FactorB FactorA*FactorC
FactorB*FactorC;
run;
contrast" c1 v/s c2 en b1" Factorc 1 -1 0 0 FactorB*FactorC 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
contrast" c1 v/s c3 en b1" Factorc 1 0 -1 0 FactorB*FactorC 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0;
contrast" c1 v/s c4 en b1" Factorc 1 0 0 -1 FactorB*FactorC 1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0;
contrast" c2 v/s c3 en b1" Factorc 0 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0;
contrast" c2 v/s c4 en b1" Factorc 0 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0;
contrast" c3 v/s c4 en b1" Factorc 0 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0;

contrast" c1 v/s c2 en b2" Factorc 1 -1 0 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0 0;
contrast" c1 v/s c3 en b2" Factorc 1 0 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0;
contrast" c1 v/s c4 en b2" Factorc 1 0 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 1 0 0 -1 0 0 0;
contrast" c2 v/s c3 en b2" Factorc 0 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0;
contrast" c2 v/s c4 en b2" Factorc 0 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0;
contrast" c3 v/s c4 en b2" Factorc 0 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0;

contrast" c1 v/s c2 en b3" Factorc 1 -1 0 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0;
contrast" c1 v/s c3 en b3" Factorc 1 0 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1;
contrast" c1 v/s c4 en b3" Factorc 1 0 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1;
contrast" c2 v/s c3 en b3" Factorc 0 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1;
contrast" c2 v/s c4 en b3" Factorc 0 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1;
contrast" c3 v/s c4 en b3" Factorc 0 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1;

contrast" b1 v/s b2 en c1" FactorB 1 -1 0 FactorB*FactorC 1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0;
contrast" b1 v/s b3 en c1" FactorB 1 0 -1 FactorB*FactorC 1 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0;
contrast" b2 v/s b3 en c1" FactorB 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 1 0 0 0 -1 0 0;

contrast" b1 v/s b2 en c2" FactorB 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0;
contrast" b1 v/s b3 en c2" FactorB 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 1 0 0 0 0 0 0 0 -1 0;
contrast" b2 v/s b3 en c2" FactorB 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1 0;

contrast" b1 v/s b2 en c3" FactorB 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 1 0 0 0 -1 0 0 0 0;
contrast" b1 v/s b3 en c3" FactorB 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0;
contrast" b2 v/s b3 en c3" FactorB 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1;

contrast" b1 v/s b2 en c4" FactorB 1 -1 0 FactorB*FactorC 0 0 0 1 0 0 0 -1 0 0 0;
contrast" b1 v/s b3 en c4" FactorB 1 0 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1;
contrast" b2 v/s b3 en c4" FactorB 0 1 -1 FactorB*FactorC 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1;

```