



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Calidad superficial de molduras de *Pinus radiata*
D.Don y su relación con las condiciones óptimas para
el maquinado.**

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera L.

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

PAOLA SOLEDAD MUÑOZ SOTO

Valdivia
2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Alfredo Aguilera L.	<u>6.2</u>
Informante:	Sr. Manuel Fernández M.	<u>6.5</u>
Informante:	Sr. Fabián Cid Y.	<u>6.1</u>

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. Alfredo Aguilera L.

Agradecimientos

Aprovecho esta oportunidad, para agradecer todo el apoyo de mi familia, durante estos 5 años de estudio, el cual fue fundamental para poder sacar mis responsabilidades adelante, en especial a mi padre y hermana quienes me dieron la oportunidad y el sustento económico para poder continuar los estudios.

También agradezco en forma especial a Manufactura Tres Pinos Ltda., lugar en el cual pude desarrollar el trabajo de titulación en base a situaciones reales del rubro maderero de hoy, en las cuales es posible aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera, para lograr mejoras en procesos productivos, para lo cual hemos sido preparados como estudiantes.

Por supuesto agradezco a mi profesor patrocinante don Alfredo Aguilera L., por todo el apoyo y la ayuda brindada, durante todo el recorrido de este trabajo, por la paciencia, preocupación y dedicación incondicional y acertadas correcciones.

Quiero también agradecer a mis profesores informantes, don Manuel Fernández M. por sus sabias y oportunas críticas y por su profesionalismo y a don Fabián Cid Y. por su colaboración para el desarrollo de la toma de datos y por su dedicación.

Agradecer a toda la gente que trabaja en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales en especial a la Srta. Maria Eugenia, Sra. Alicia Fernández y Sr. Marcos Torres, quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar ante cualquier gestión o consulta.

Como no agradecer a mi pequeño hijo Ricardo quien fue mi inspiración durante todos estos años, a su madrina, por su incondicional ayuda que me brindo durante los primeros meses de vida, lo cual permitió que continuara mis estudios.

A mis compañeros y amigos con quienes nos apoyamos mutuamente Karla, Ronny, Edwin, Lea, con quienes aun cuando son de lugares muy distintos del país logramos una conexión de amistad muy rica, la cual difícilmente se perderá. Finalmente y en especial quiero agradecer a Jose, quien me acompañó de forma muy especial durante los 5 años de estudio apoyándome en las buenas y en las malas, brindándome el optimismo necesario cada vez que lo necesité y dándome el cariño y la paciencia vez que necesite de sus palabras.

A todos ellos muchas gracias...

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 La Madera	3
2.1.1 Especie	3
2.1.2 Contenido de humedad	3
2.1.3 Densidad	3
2.2 Teoría de corte	4
2.2.1 Elemento de corte y su geometría	5
2.2.2 Factores de la herramienta de corte	7
2.3 Formación de viruta	7
2.4 Tipos de viruta	8
2.4.1 Viruta tipo 1	8
2.4.2 Viruta tipo 2	8
2.4.3 Viruta tipo 3	9
2.5 Estado Superficial	9
2.6 Defectos para el estudio del estado superficial	10
2.6.1 Fibra encontrada	10
2.6.2 Repelo o apelmusamiento	11
2.6.3 Calamina o formaciones de ondas	11
2.7 Variables del maquinado que afectan la calidad superficial	13
2.7.1 Velocidad de avance	13
2.7.2 Relación velocidad de avance sobre la calidad superficial	13
2.7.3 Velocidad de corte	13
2.7.4 Jointeado de las herramientas de corte	14
2.7.5 Relación de la profundidad de corte y calidad superficial	16
2.7.6 Calidad de la aleación de Aceros en cuchillos moldureros	17
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1 Descripción de la madera en estudio	18
3.2 Materiales	19
3.2.1 Moldurera	19
3.2.2 Xilohigrómetro de contacto	20
3.2.3 Microscopio electrónico de barrido de la Universidad Austral de Chile.	20
3.3 Descripción de la medición	20

3.4	Muestreo	22
3.5	Variables a medir para búsqueda de causales de defectos	22
3.6	Método para análisis de datos	23
3.7	Cálculo de tamaño muestral	24
3.7.1	Cálculo muestral para Fibra encontrada	24
3.7.2	Cálculo muestral para Calamina	25
3.7.3	Cálculo tamaño muestral para Repelo	26
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1	Niveles de Fibra encontrada	28
4.1.1	Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la primera medición.	29
4.1.2	Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la segunda medición.	32
4.1.3	Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la tercera medición.	33
4.1.4	Consideraciones generales durante la medición de fibra encontrada	34
4.2	Niveles de calamina u ondulaciones	35
	Resultados de frecuencia de Calamina en función del tiempo para la primera medición.	37
4.2.1	Resultados de frecuencia de Calamina en función del tiempo para la segunda medición.	39
4.2.2	Consideraciones generales durante la medición de Calamina	40
4.2.3		
4.3	Niveles de repelo	40
4.3.1	Resultado de la primera medición de proporción de Repelo en paquete muestreado	42
4.3.2	Resultado de la segunda medición de proporción de Repelo en paquete muestreado	43
4.3.3	Resultado de la segunda medición de proporción de Repelo en paquete muestreado	45
4.3.4	Consideraciones generales durante la medición de Repelo	46
4.4	Análisis químico de cuchillos perfiladores	47
5	CONCLUSIONES	50
6	BIBLIOGRAFÍA	52
	ANEXOS	
	1 Abstract	
	2 Lay out Planta Manufactura Tres Pinos Ltda.	
	3 Valores de las proporciones de defectos	
	4 Geometría de cuchillos	
	5 Análisis químico de Aceros de cuchillos perfiladores	

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modo de emplear nomenclatura McKenzie	4
Cuadro 2. Geometría de cuchillos según material a elaborar y material de elemento de corte.	7
Cuadro 3. Causas y soluciones para defectos en piezas mecanizadas	12
Cuadro 4. Grado de defectuosidad según norma ASTM D 1666	21
Cuadro 5. Ponderación de cada grado de defecto	21
Cuadro 6. Constantes y variables a considerar en la medición	22
Cuadro 7. Geometría de cuchillos encontrada en taller de afilado	30
Cuadro 8. Análisis químico de aceros de chuchillos moldureros	48
Cuadro 9. Promedio de compuestos químicos mas relevantes, para cada marca de cuchillo	48
Cuadro 10. Desviación estándar de los compuestos químicos en la aleación de cada marca	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Clásicos tipos de corte según notación McKenzie	4
Figura 2. Movimientos de corte	5
Figura 3. Diagrama de geometría de cuchillos	6
Figura 4. Tipo viruta 1 en contra y a favor de la fibra	8
Figura 5. Viruta tipo 2	9
Figura 6. Viruta tipo 3	9
Figura 7. Fibra encontrada	11
Figura 8. Repelo	11
Figura 9. Calamina u ondas en la superficie	12
Figura 10. Marcas dejadas por el paso del corte	13
Figura 11. Tolerancia de cuchillos	14
Figura 12. Rectificado de cuchillos	15
Figura 13. Límite de biselado	15
Figura 14. Profundidad de corte	16
Figura 15. Calidad superficial con respecto a la profundidad de corte	16
Figura 16. Diagrama de perfiles en estudio	19
Figura 17. Diagrama de la moldurera en estudio marca Linares	19
Figura 18. Fibra encontrada nivel 1	28
Figura 19. Fibra encontrada nivel 2	28
Figura 20. Fibra encontrada nivel 3	29
Figura 21. Medición de golpes por pulgada	30
Figura 22. Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil WM623	31
Figura 23. Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo, para perfil WM623	31

Figura 24.	Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil SJ JIM W scribe macho	32
Figura 25.	Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo, para perfil SJ JIM W scribe macho	33
Figura 26.	Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil WM623 segunda medición	34
Figura 27.	Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo, para perfil WM623 segunda medición	34
Figura 28.	Calamina en nivel 1	36
Figura 29.	Calamina en nivel 2	36
Figura 30.	Calamina en nivel 3	37
Figura 31.	Comportamiento de Calamina en relación al tiempo de maquinado, para perfil JIM adams c 546	38
Figura 32.	Comportamiento de Calamina en sus tres niveles en función del tiempo, para perfil JIM adams c 546	38
Figura 33.	Comportamiento de Calamina en relación al tiempo de maquinado, para perfil JIM trimco 411	39
Figura 34.	Comportamiento de Calamina en sus tres niveles en función del tiempo, para perfil JIM trimco 411	40
Figura 35.	Repelo en nivel 1	41
Figura 36.	Repelo en nivel 2	41
Figura 37.	Repelo en nivel 3	42
Figura 38.	Proporción de Repelo en sus distintos niveles v/s porcentaje ponderado para perfil RJ BROSCO	42
Figura 39.	Promedios de contenido de humedad de los blocks de molduras RJ BROSCO	43
Figura 40.	Causas que originan el Repelo en perfil RJ BROSCO	43
Figura 41.	Proporción de Repelo en sus distintos niveles v/s porcentaje ponderado para perfil RJ MYM	44
Figura 42.	Promedios de contenido de humedad de los blocks de molduras RJ MYM	44
Figura 43.	Causas que originan el Repelo en perfil RJ MYM	45
Figura 44.	Proporción de Repelo en sus distintos niveles v/s porcentaje ponderado para perfil RJ MYM segunda medición	45
Figura 45.	Promedios de contenido de humedad de los blocks de molduras RJ MYM segunda medición	46
Figura 46.	Causas que originan el Repelo en perfil RJ MYM segunda medición	46
Figura 47.	Fotografías microscópicas de cada muestra de cuchillos de distinta marca	49

RESUMEN EJECUTIVO

La madera de *Pinus radiata* D. Don en Chile tiene excelentes propiedades al momento de elaborarla. Sin embargo siempre es posible encontrarse con menores defectos, los cuales son causales de rechazo en países de destino a los cuales se exporta. Las molduras de Pino Insigne del tipo Finger son fuertemente demandadas principalmente en el mercado Norteamericano, pero sólo son aceptadas con una excelente calidad.

El Objetivo general del presente estudio es determinar el porcentaje de defectos en la producción de dichas molduras, tales como fibra encontrada, calamina o marcas de cuchillo y repelo; además se analizarán las causas que las originan y alternativas de solución para poder disminuir o eliminar dichos porcentajes de defectos.

Para cada defecto se realizó una clasificación de niveles de defectuosidad, basada en la norma ASTM D 1666, para lo cual se muestrearon molduras de diversos perfiles en la planta Manufactura Tres Pinos Ltda. ubicada en Ruta 5 Sur Km. 781. Posteriormente se determinó el porcentaje de cada nivel de defectos y su comportamiento frente al tiempo de maquinado, para los defectos Fibra encontrada y calamina u ondulaciones, mientras que para Repelo se muestrearon paquetes en stock para determinar su porcentaje existente.

Una vez realizado el estudio, los resultados arrojados para fibra encontrada fueron que una de las principales causas de este defecto es la intención de maximizar el aprovechamiento de la materia prima, debido a que en el proceso de trozado se retiran los nudos en un área mínima de corte, quedando los blocks con restos de nudosidad y por tanto con fibras desviadas y la madera con diferencia en su densidad. Por otro lado, la medición indicó que a medida que avanza el tiempo de maquinado la proporción de defecto aumenta lo cual se atribuye al desgaste de las herramientas de corte, lo que fue comprobado además por el biselado final de los cuchillos posterior a un exceso de jointeo.

Los resultados de porcentaje de Calamina arrojaron que su comportamiento durante el tiempo inicial de maquinado hacia delante, es de mayor a menor proporción y que depende directamente del operador de la maquinaria, ya que para el operador que utilizó una velocidad de alimentación menor para regular la maquinaria antes de comenzar a operar en su velocidad normal, los porcentajes de calamina fueron menores.

Finalmente el porcentaje de Repelo se presentó sólo en algunos blocks de las piezas, para ello se midió el contenido de humedad, donde se comprobó que no tenía incidencia en el defecto y se concluyó que la principal causa que genera dicho defecto es el maquinado a contrafibra, además del maquinado en secciones con restos de nudosidad.

Palabras claves: Moldura, *Pinus radiata*, Fibra encontrada, Calamina (ondulaciones), Repelo.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de remanufactura de *Pinus radiata* en Chile ha evolucionado en los últimos años debido a un aumento en la demanda de productos. Una de las industrias que opera en nuestro país es Manufactura Tres Pinos Ltda. la cual tiene la finalidad de producir distintos tipos de molduras, los cuales tienen como destino a EE.UU., Canadá, Australia, España y Nueva Zelanda principalmente.

La producción de molduras de *Pinus radiata* es un proceso fundamental para asignar valor agregado a maderas ya procesadas como Banda Clear, Shop 3 y P-99; las cuales corresponden a maderas de menor calidad, debido a la presencia de nudosidades u otros defectos que son eliminados a fin de obtener diversas molduras de madera clear de una pieza o principalmente molduras bajo uniones Finger, las cuales son cada vez más demandadas, en especial por el mercado Norteamericano.

La calidad de molduras exigida por el mercado internacional es bastante rigurosa, por lo que es necesario obtener un producto terminado que cumpla las exigencias, de este modo es necesario examinar el funcionamiento del proceso, verificar la mantención de maquinaria y evaluar frecuentemente la calidad de productos en cuanto a factores del proceso operacional, o inherentes a condiciones propias de la madera.

El ajuste óptimo de las condiciones del maquinado es la condición esencial para lograr la calidad superficial requerida y disminuir defectos que producen rechazos del producto o generan un costo de reparación, así también permite evitar desgastes inútiles de las herramientas de corte que se traducen en un mayor costo de producción debido a la generación de tiempos muertos.

A su vez se debe tener presente que es necesario controlar la materia prima a procesar, ya que también incide en la calidad del producto final, es por ello que es necesario incluir observaciones sobre los contenidos de humedad, la verificación de blocks completamente clear, orientación de la fibra, entre otros.

A continuación en el presente estudio se identifican las variables y constantes de proceso, tanto como velocidades, RPM de los cabezales de la moldurera, geometría de cuchillos, número de cuchillos, diámetro de cabezales, jointeo de cuchillos, etc. que afectan la calidad superficial de las molduras, así como las condiciones de la madera procesada, la cual es en un 100% molduras de *Pinus radiata* provenientes de blocks clear bajo uniones Finger, en diferentes perfiles según el defecto a estudiar.

Los defectos en cuestión del presente estudio son analizados en forma separada y para molduras de perfiles diferentes, ya que dichos defectos no se presentan para todos los tipos de molduras, sino que en algunas específicas y es a ellas a las que es necesario dirigir soluciones para la disminución de defectos.

Ante lo expuesto el objetivo general de este estudio es identificar las principales causas, que inciden en la aparición de defectos de moldurado de *Pinus radiata* D.Don, que alteran la calidad superficial y establecer alternativas de mejoramiento en el proceso, en base a los resultados que se obtengan.

Para llevar a cabo el objetivo general del presente estudio se deben desarrollar los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la calidad de molduras en función de tres criterios, fibra encontrada, calamina (formación de ondas) y repelo, clasificando los defectos en niveles, según la norma ASTM D 1666 (1999).
- Evaluar la calidad superficial en función del tiempo de uso de herramientas de corte o metros lineales de madera procesada para defectos fibra encontrada y calamina.
- Identificar las causas que generan dichos defectos y establecer alternativas para solucionar y mejorar la calidad superficial de las molduras en estudio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 La madera

La madera posee características que influenciarán especialmente sobre la transformación mecánica, una de ellas es que es un material anisotrópico, es decir, que sus componentes principales se orientan en tres direcciones o planos principales; Transversal, Longitudinal radial y Longitudinal tangencial. El plano transversal se forma cada vez que se corta perpendicular al eje del fuste. Por su parte, los dos planos longitudinales son paralelos al eje del fuste. Ellos se desarrollan, ya sea siendo la tangente de la circunferencia del tronco o rama, en el caso del plano tangencial, o siendo el curso del radio de la circunferencia, en el caso del plano radial (Díaz-vaz 2003).

2.1.1 Especie

El comportamiento de la madera frente a proceso de corte, así como también la calidad superficial obtenida luego de ese proceso está íntimamente ligado a la anatomía propia de cada especie, que hace indispensable considerar la especie y las particularidades de ellas como un factor preponderante al momento de intentar visualizar el comportamiento de los procesos en estudio (Vega 2004).

2.1.2 Contenido de humedad

Es uno de los factores que más influye en el esfuerzo de corte, mientras mayor sea el contenido de humedad menor esfuerzo de corte y menor consumo de energía, al contrario si la madera tiene un menor contenido de humedad, mayor será el requerimiento de esfuerzo y consumo de energía. (Stolzenbach y Aguilera 2000). Para obtener los valores de contenido de humedad se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{C.H.} = \frac{\text{Peso verde} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \quad (\%) \quad (1)$$

2.1.3 Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen como se indica en la fórmula nº 2. El valor de la densidad está directamente proporcional a la resistencia mecánica de la madera, según Koch (1964), los esfuerzos de corte aumentan a medida que la densidad crece y el consumo energético aumenta casi linealmente respecto al aumento de la densidad.

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen verde}} \quad (\text{Kg. /m}^3) \quad (2)$$

2.2 Teoría de corte

Existe una convención para identificar el tipo de corte según las distintas direcciones, por las razones anisotrópicas descritas anteriormente que caracterizan la madera. En el estudio de procesos de corte se utiliza la nomenclatura: 0° - 90° , 90° - 0° y 90° - 90° , esta nomenclatura fue descrita por McKenzie (1961). (Ver figura 1 y cuadro 1)

Cuadro 1: Modo de emplear nomenclatura McKenzie

Corte	Φ	ϕ	Ejemplo de uso
1	90	90	Aserrio longitudinal con sierra huincha
2	90	0	cepillado plano
3	0	90	Debobinado, torneado
4	0	90	trozado
5	90	0	moldurado
6	90	90	fresado

Φ : ángulo entre el filo y la dirección de la fibra

ϕ : ángulo entre la dirección del movimiento de corte y la fibra

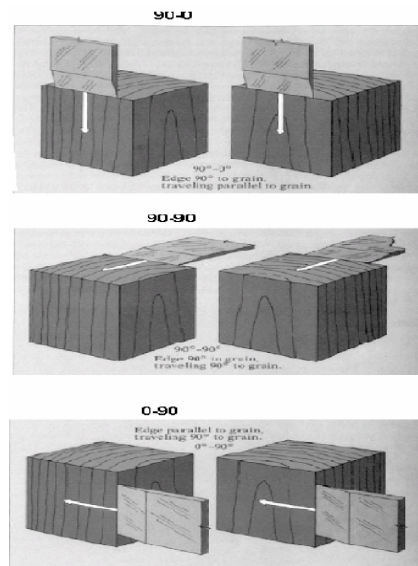


Figura 1: Tipos de corte según notación McKenzie (1961)

A partir de los distintos tipos de cortes se origina el proceso de transformación mecánica del material para producir cambios de forma, dimensiones y calidad superficial. La transformación se produce con dos movimientos relativos entre el elemento cortante y el material, como se indica en la figura 2, estos son el movimiento principal o de corte y el movimiento secundario o de avance. El elemento cortante es una herramienta de corte que remueve capas de material, llamada viruta. El corte recibe también el nombre de operación de mecanizado (Koch 1964).

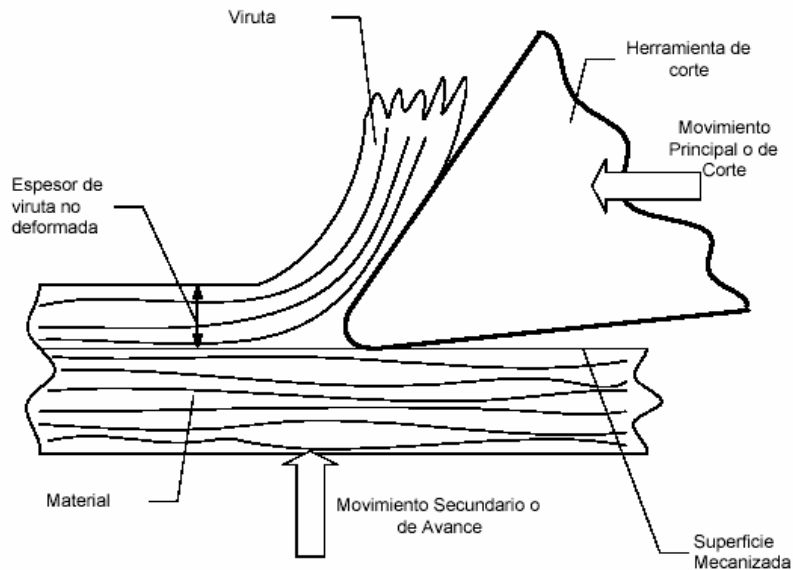


Figura 2: Movimientos de corte (Koch 1964)

Uno de los tipos de corte es el cepillado, éste es el fresado periférico de la madera, el cual se usa para alisar una o más superficies de una pieza y al mismo tiempo rebajarla a alguna dimensión predeterminada en el espesor, ancho o forma del perfil; El moldurado también es un fresado periférico que tiene por objeto mecanizar las piezas de madera para obtener diferentes formas de la sección transversal (Kollman 1968).

2.2.1 Elemento de corte y su geometría

La geometría de la herramienta de corte es la determinante en la obtención de una buena rugosidad superficial, sin embargo hay que tener en cuenta la especie de la cual se trate en función de la densidad, para poder elegir dicha geometría, (Vega 2004).

Existen 4 ángulos que tienen distinta influencia sobre el trabajo de corte, estos corresponden a:

- **El ángulo de corte o ataque (γ):** para maderas relativamente blandas, libre de nudos, con un ángulos de 45° se logra un buen cepillado. La superficie obtenida es relativamente lisa y la fuerza de corte reducida. Con ángulos mayores que 45° no se consiguen mejores resultados, se reduce el ángulo β del elemento de corte haciendo difícil una buena terminación del afilado y con ello su desgaste prematuro.

Para maderas duras y para evitar una superficie de cepillado irregular, es necesario reducir 25° , pero con ello se produce un aumento de la fuerza de corte.

En la práctica un ángulo (γ) de $30-35^\circ$ es muy común y cubre un amplio campo de aplicación.

- **El ángulo de herramienta de corte o perfil (β):** desde el punto de vista de la resistencia del elemento (diente de corte) es favorable mantener el β lo más grande posible.

Con maderas duras el ángulo de ataque se recomienda disminuirlo, lo que hace que aumente β . Se debe utilizar un ángulo β no inferior a 35° , de lo contrario aumenta el riesgo de rotura del elemento de corte.

- **El ángulo de incidencia o libre (α):** el tamaño de este ángulo no influye mayormente sobre el trabajo de cepillado, influye indirectamente sobre el ángulo β si se tiene un ángulo γ determinado.

Comúnmente se utiliza un ángulo $\alpha = 10 - 15^\circ$

- **El ángulo de incidencia lateral (Ω) (desahogo):** en cuchillos perfiladores o fresas cumple la misma función que el ángulo α , por tal motivo se utiliza un ángulo de $10 - 15^\circ$. En fresas este ángulo es menor dado que con ello se consiguen largos útiles de los dientes mucho mayores en estos casos el ángulo aplicado es de 3° (Aguilera 2006), (INFOR 1994).

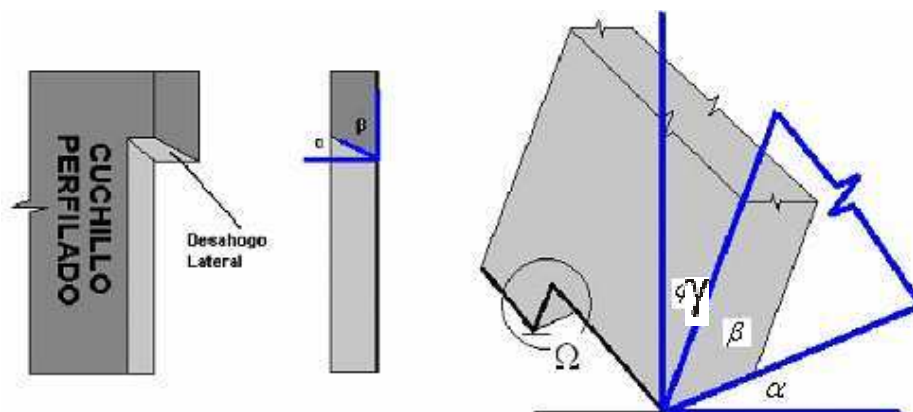


Figura 3: Diagrama de geometría de cuchillos (INFOR 1994).

Donde α : es el ángulo de incidencia o libre.

β : Ángulo de elemento de corte o de perfil.

γ : Ángulo de ataque o de corte.

Ω : Ángulo de incidencia lateral o de deshogo lateral.

Para la elección de una geometría adecuada de cuchillo, es necesario saber que tipo de madera se va a utilizar, además hay que tener en cuenta de que material está hecho la herramienta de corte. (Ver cuadro 2)

Cuadro 2: Geometría de cuchillos según material a elaborar y material de la herramienta de corte (INFOR 1994).

Material a elaborar	Herramienta en HSS			Herramienta en HM		
	γ	β	α	γ	β	α
Madera natural blanda	30°	45°	15°	25°	50°	15°
Madera natural dura	25°	50°	15°	20°	55°	15°
Estratificados				20°	55°	15°
Estratificados compensados encolados				12°	63°	15°
Termoplásticos				12°	63°	15°
Termoendurecidos (laminados)				20°	55°	15°

Donde HSS: High Speed Steel, acero rápido o de alta velocidad.
 HM: hard metal o metal duro.

2.2.2 Factores de la Herramienta de corte

- **Velocidad de corte (Vc):** Es el factor determinado por las revoluciones por minuto de rotación y el diámetro del cabezal, influye enormemente en la operación de moldurado, la duración y la calidad de la superficie a conseguir. INFOR (1994).

La velocidad de corte se encuentra dada por la siguiente fórmula:

$$V_c = \pi * D * N \text{ (m/S)} \quad (3)$$

Donde:

D = Diámetro del cabezal (mm)

N = R. P.M. del cabezal. (min.⁻¹)

- **Diámetro del cabezal (D):** se considera esta medida desde los extremos de corte. Se expresa en mm.
- **Numero de cuchillos (Z):** Se consideran como número de cuchillos a aquellos que intervienen en el corte. (Z=2, equivale a decir cabezal con 2 cuchillos).

2.3 Formación de viruta

En el corte periférico paralelo a la fibra, la remoción del exceso de madera de la pieza se realiza en formas de virutas individuales. Estas virutas individuales son formadas por una penetración intermitente de corte en la madera, con uno o más cuchillos montados sobre el perímetro de un cabezal porta cuchillos rotatorios, (Vega 2004).

En el corte periférico se generan distintos tipos de viruta, resultando diferentes estados de superficie, además el tipo de viruta tiene influencia directa sobre el desgaste de los elementos de corte y sobre los requisitos energéticos del proceso. Junto con lo anterior, Koch (1972) argumenta que la rugosidad superficial esta determinada por la arista de corte. Por todos estos

antecedentes es conveniente profundizar en el conocimiento de los tipos de viruta que pueden presentarse. Además el factor más importante sobre la calidad superficial es el espesor de viruta, (Aguilera, *et al.* 2000).

2.4 Tipos de viruta

Los tipos de viruta han sido clasificados por Franz (1958) citado por Koch (1964) por la forma como se produce y su forma resultante. Esta clasificación en tipos de virutas I, II y III.

2.4.1 Viruta tipo I

Este tipo de viruta se produce por el rajado de la madera al momento de penetrar el cuchillo y por la propagación de la grieta delante del cuchillo, como lo indica la figura 4. La superficie maquinada a raíz de esto aparece frecuentemente astillada. Los factores que influyen en este defecto son la baja resistencia al clivaje combinada con alta rigidez y dureza en la curvatura de la viruta, también se produce por un ángulo de ataque mayor a 25° , por bajo coeficiente de fricción entre la viruta y la cara de la herramienta de corte y por bajo contenido de humedad de la madera.

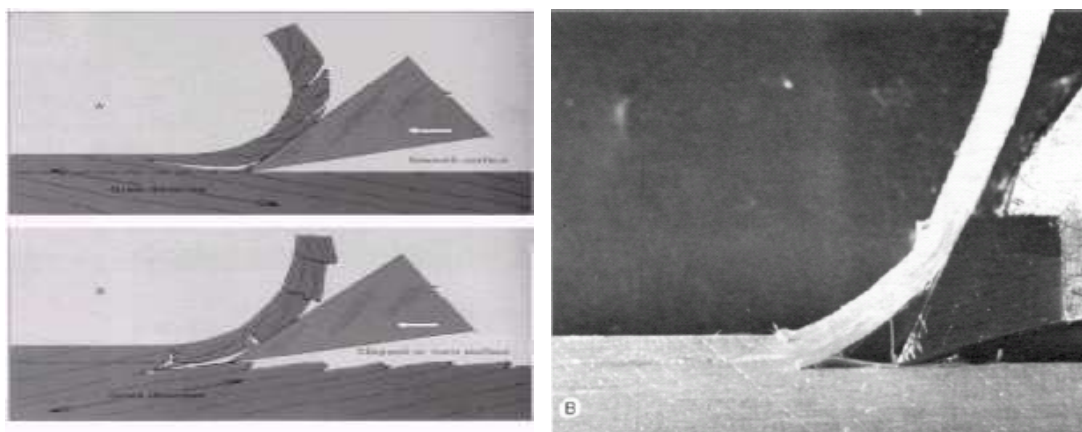


Figura 4: Viruta tipo I a favor y en contra de la fibra.

2.4.2 Viruta tipo II

La viruta se rompe por cizalle oblicuo en un plano inclinado ya que se forma directamente en el filo de la herramienta. Es el tipo deseado, ya que produce una buena calidad superficial. La viruta tipo II se forma en condiciones intermedia de corte, es decir ángulo de ataque moderado menor a 30° , la madera no debe presentar fibra revirada, tener un contenido de humedad intermedio y espesor de viruta pequeño. Este tipo de viruta se presenta en forma de espiral. (Ver figura 5)

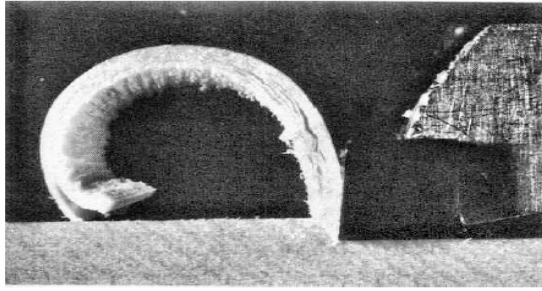


Figura 5: Viruta tipo II

2.4.3 Viruta tipo III

El corte que produce la viruta tipo III es altamente complejo ya que se combinan situaciones de rajado y compresión. La superficie maquinada aparecerá a menudo con repelo pues los cuchillos no separan las fibras de la madera en forma limpia, como lo indica la figura 6. Los factores que permiten la formación de viruta tipo III son el ángulo de ataque pequeño o negativo, desgaste de los cuchillos, alto coeficiente de fricción entre la viruta y la cara del cuchillo y alto contenido de humedad de la madera. En esta situación el consumo energético es alto y el desgaste puede ser rápido.

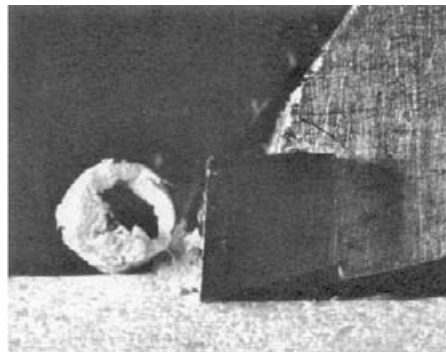


Figura 6: Viruta tipo III

2.5 Estado Superficial

La rugosidad superficial en la madera se produce al dimensionarla, bajo un elemento de corte, este proceso se conoce como “maquinado”. Las superficies resultantes de este proceso siempre presentan irregularidades, denominadas “estado superficial”.

La magnitud de estas irregularidades y formas dependen de variados factores interrelacionados entre sí, sin embargo, éstas se pueden en tres:

1. La estructura anatómica y propiedades físicas de la madera.
2. Método de maquinado; marcas por dientes de la sierra o las ondas formadas por la cepilladora, etc.

3. Variaciones producidas dentro del proceso de maquinado, como son vibraciones, desalineamientos de los ejes, etc. Aguilera (2006).

La característica anatómica comprende un estudio microscópico que determina características macroscópicas tales como: anillos de crecimiento, albura y duramen, madera de compresión, madera juvenil, entre otras. Estas características se relacionan directamente con propiedades físicas de la madera que influyen claramente en el estado superficial de la madera procesada bajo un elemento de corte, estas propiedades físicas son contenido de humedad y densidad (López *et al.* 1991).

La influencia de las características anatómicas son difíciles de controlar de acuerdo a Magos y Sitkey (1999) citado por Aguilera (2006), esto debido al hecho de que la madera no es un material continuo en su estructura además de ser un material quebradizo.

Sin embargo las propiedades físicas son más fáciles de controlarlas así como cuando el contenido de humedad comienza a bajar del 30% se necesita un mayor esfuerzo de corte para el rompimiento de fibras, también es posible afirmar que a un mayor esfuerzo de corte se obtendrá un mayor desgaste en la arista de corte (Stolzenbach, Aguilera 2000).

La relación entre el contenido de humedad y el estado superficial según Davis (1960) citado por Aguilera (2006) es que según estudios realizados con latifoliadas norteamericanas, se observaron buenos resultados en la calidad superficial con un contenido de humedad de un 6%, mientras que con contenidos de humedad mayor (20 %) los resultados fueron más deficientes.

Con respecto a la densidad según Stolzenbach y Aguilera (2000), se necesita un mayor esfuerzo de corte si la densidad es mayor, mientras que la relación con el estado superficial según Aguilera (2006) basado en un estudio en *Picea abies* Karst, con dos densidades se concluyó que en general el mejor estado superficial se obtenía en maderas de baja densidad y anillos de crecimiento anchos. Esto se debería a la poca diferencia en las densidades entre madera temprana y tardía.

2.6 Defectos para el estudio del estado superficial

2.6.1 Fibra encontrada

Este defecto se manifiesta por la aparición de fibras rotas y levantadas, como lo indica la figura 7, esto ocurre cuando los cuchillos están trabajando contra la fibra, a menudo alrededor de nudos. Cuchillos filosos (cuchillos de acero pueden ser más filosos que de carburo; por lo tanto el acero puede ser mejor en casos críticos) y cortes más pequeños, esto es, más cortes por pulgada será una medida de control más efectiva en una situación de producción (Aguilera 2006).

Esté defecto, en las grandes producciones genera costos extras, debido a que las piezas que contienen dicho defecto deben ser reparadas con pastas de retape, además genera tiempo de demora en la terminación de un producto y mano de obra extra.



Figura 7: fibra encontrada

2.6.2 Repelo o Apelusamiento

Este defecto se caracteriza por grupos de fibras de madera que no han sido limpiamente cortadas manteniéndose aun levantadas, aparentemente estas células no son lo suficientemente fuertes para mantenerse en pie mientras la madera se corta por lo cual ellas se doblan y no son cortadas. Esto se puede controlar trabajando con bajos contenidos de humedad y cuchillos filosos. Posiblemente un mayor ángulo de ataque también ayudará. Si la madera está siendo procesada lentamente y los cuchillos están bien afilados, este apelusamiento es debido a un alto contenido de humedad de la madera (INFOR 1994, Aguilera 2006).

El repelo o Apelusamiento cobra importancia debido a que las piezas que contienen dicho defecto, como se indica en la figura 8, deben ser lijadas para su mejora, sin embargo esta mejora implica mayor tiempo productivo y mayor implementación de mano de obra.

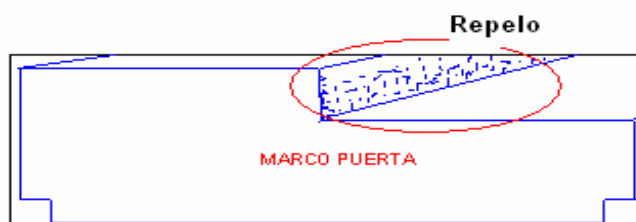


Figura 8: repelo

2.6.3 Calamina o marcas de cuchillos.

Son irregularidades de la superficie de cepillado o moldurado que aparece en forma continua.

La rotación del cuchillo al cepillar, con una alimentación constante, describe un cicloide sobre la madera (ver figura 9), esto produce la formación de ondas.

La discontinuidad de la alimentación también produce ondas en la superficie maquinada (Aguilera 2006).

Este defecto cobra importancia debido a que las piezas que contienen dicho defecto deben ser lijadas como alternativa de mejora, sin embargo esta mejora implica mayor tiempo productivo y mayor implementación de mano de obra.

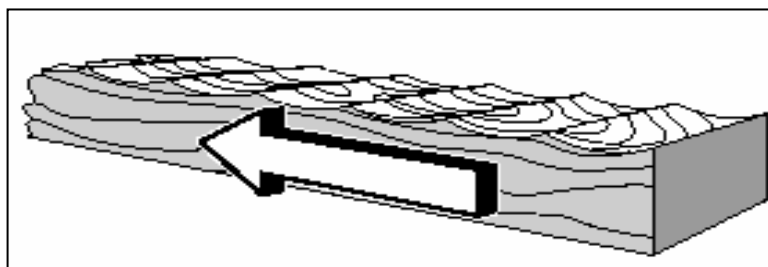


Figura 9: ondas en la superficie.

A continuación en el siguiente cuadro se presentan las causas posibles, que afectan en presencia de defectos mencionados anteriormente y sus alternativas de solución.

Cuadro 3: Causas y soluciones para defectos en piezas mecanizadas (Aguilera, 2006).

Fibra encontrada o Desgarro de fibra	
Causa Posible	Solución
Cuchillos desgastados o sobre jointeados	Jointear o reafilarse los cuchillos
Ángulo de incidencia del cuchillo inferior al ángulo de ataque	Reafilarse los cuchillos según las recomendaciones del fabricante para ángulo de incidencia
Cuchillos mal ajustados en el cabezal	Revisar ajuste de cuchillos
Alimentación muy rápida	Disminuir velocidad y monitorear los resultados
Vibración	Revisar balance dinámico del cabezal y rodamientos
Madera endurecida por secado muy rápido	Revisar control de calidad del secado
Fibra entrecruzada	Necesita cuchillos jointeados bien afilados y velocidad de alimentación mas lenta
Calamina	
Causa Posible	Solución
Cuchillos desgastados	Jointear o reemplazar
rodillos de alimentación inferiores ajustados muy arriba	Puesta a cero
cuchillos mal ajustados en el cabezal	Re-ajustar
Velocidad de alimentación muy alta	Bajar velocidad hasta que la calidad mejore
Barra de presión posterior no nivelada	Re-ajustar
Resorte de la barra de presión posterior incorrecto	Incrementar presión en resorte o aire comprimido
Rompedor de viruta no nivelado	Re-ajustar
Presión muy baja del rompedor de viruta	Incrementar tensión del resorte
Vibración	Revisar balance dinámico del cabezal
Rodamientos flojos	Revisarlos con un dial indicador
Repelo o Fibra levantada	
Causa Posible	Solución
Contenido de humedad de la madera alto (sobre 12%)	Revisar contenido de Humedad
Cuchillos desgastados o sobre jointeados	Jointear o reemplazar
Ángulo de incidencia del cuchillo inferior al ángulo de ataque	Reafilarse los cuchillos según las recomendaciones del fabricante para ángulo de incidencia
Inadecuada succión de aspiración	Incrementar succión
Alimentación muy rápida o lenta	Estudiar resultados a varias velocidades
Fibra entrecruzada	Necesita cuchillos jointeados bien afilados y velocidad de alimentación mas lenta

2.7 Variables del maquinado que afectan la calidad superficial

2.7.1 Velocidad de avance

La velocidad de avance esta dada por la velocidad de avance de la madera, ésta va a depender de la magnitud del avance del elemento de corte, o marcas que deje la herramienta de corte por cada pulgada, (f_z), también dependerá del número de elementos de corte (Z) y del número de revoluciones que ejecute el eje impulsor del movimiento (N), (Moya 1986).

2.7.2 Relación Velocidad de avance sobre la calidad superficial

El paso de corte f_z , como se muestra en la figura 10, equivalente a la distancia entre la entrada y salida de cada uno de los filos de cuchillas, interfiere directamente sobre la calidad superficial, debido a que forma un dibujo de ondas en la superficie y mientras más largo es dicho paso, más marcas quedarán en la superficie dejando una mayor rugosidad, al contrario si f_z es menor, la superficie será mas lisa. Ante esta afirmación es posible decir que la velocidad de avance juega un rol fundamental, debido a que de ella depende el paso del corte, (Weinig s/f), el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_z = \frac{V_f}{N * Z} \quad (4)$$

Donde

- f_z = Avance del elemento cortante (mm)
- V_f = Velocidad de avance (m/min.)
- N = velocidad de rotación R.P.M. (min^{-1})
- Z = número de cuchillos

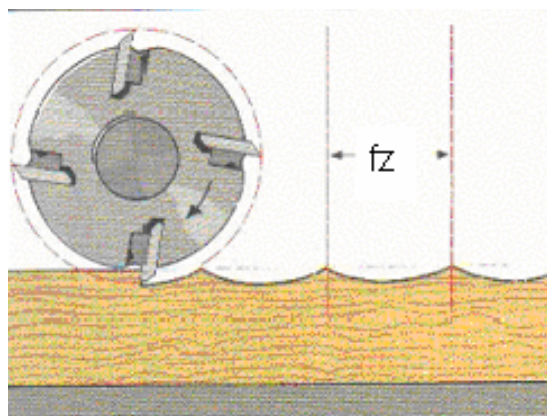


Figura 10: Marcas dejadas por el paso de corte, (Fuente: weinig s/f).

2.7.3 Velocidad de corte (V_c)

Es el factor determinado por las revoluciones por minuto de rotación y el diámetro del cabezal, influye enormemente en la operación de moldurado, la duración y la calidad de la superficie a conseguir, INFOR (1994).

La velocidad de corte se encuentra dada por la fórmula 5:

$$V_c = \pi * D * N \quad (\text{m/seg.}) \quad (5)$$

Donde:

D = Diámetro del cabezal (mm)
N = R. P. M. del cabezal. (min.^{-1})

Según Lemaster *et al.* (2000). Las mayores velocidades de corte, generan una mejor calidad superficial.

2.7.4 Jointeado de las herramientas de corte

Existe una tolerancia dada en la marcha circular del husillo fresador donde se produce una diferencia de 0.002 a 0.005 mm. en orbita de cada uno de los cuchillos, Weinig (s/f). (Ver figura 11)

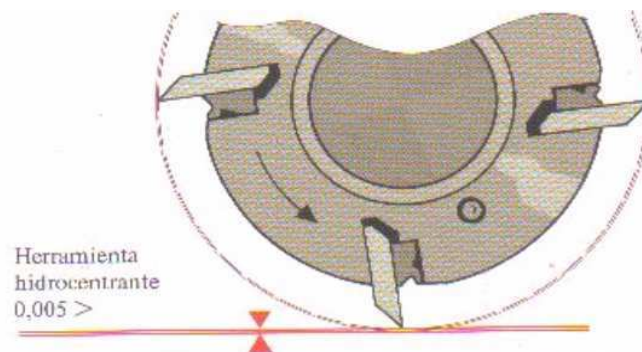


Figura 11: Tolerancia de cuchillos, (Fuente: Weinig s/f).

Pese a ser tan pequeña esta tolerancia, significa ello no obstante, que tan sólo es un filo el que determina la calidad superficial de la pieza trabajada.

Para conseguir que todos los filos de las cuchillas tengan una órbita absolutamente uniforme y que por tanto, trabajen por igual, es necesario rectificar o realizar lo que se llama Jointeado de cuchillos en el husillo fresador de la moldurera. Es decir; que con el husillo fresador a su número de revoluciones de régimen, se rectifica las cuchillas con una piedra especial. De esta manera se eliminan todas las tolerancias restantes que haya en la órbita de la herramienta, así como se indica en la siguiente figura, (Weinig s/f).

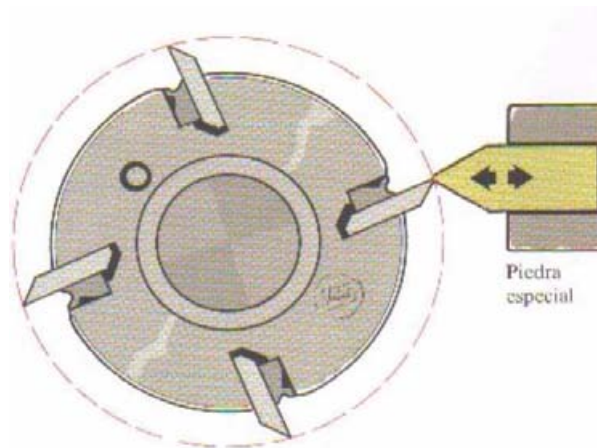


Figura 12: rectificado de cuchillos, (Fuente: Weinig s/f)

Las condiciones indispensables para tal operación de rectificado es que la moldurera reúna las siguientes características:

- Montaje o base de máquina pesado
- Avance uniforme, sin vibraciones
- Husillos de alta precisión
- Husillos con óptimas revoluciones
- Montaje hidrocentrado
- Dispositivos de rectificado

Estando la herramienta rectificada, el paso de cuchillo se puede calcular con el número de cuchillos que haya en la herramienta. La operación de rectificado se puede repetir varias veces, cosa que beneficia la duración de la herramienta ya que todos los cuchillos estarán sometidos al mismo trabajo, sin embargo, el sobrejunteado tendría por consecuencia el acortamiento de la vida útil del filo de la herramienta. Para poder garantizar que la calidad de la superficie de la pieza trabajada será siempre uniformemente alta, es necesario que el bisel que se forma durante el rectificado en la punta de la cuchilla no sobrepase un determinado ancho. Tratándose de madera blanda, no deberá ser éste superior a 0.5 mm y con madera dura, no más de 0.7 mm. (Weinig s/f). (Ver figura 13)

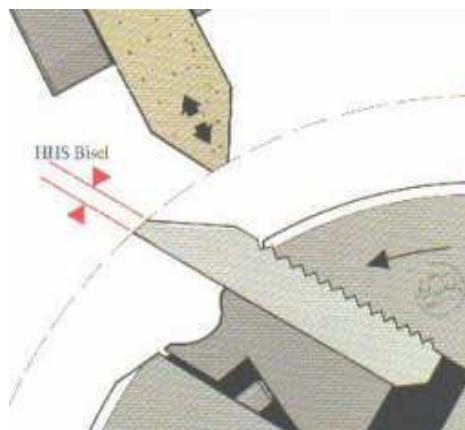


Figura 13: Límite de biselado (Fuente: Weinig s/f)

2.7.5 Relación de la profundidad de corte y calidad superficial

Otro parámetro para determinar la calidad de la superficie es la profundidad de la onda; esto es la profundidad de entrada del filo de la cuchilla en la madera. Cuanto menor sea dicha profundidad tanto mejor es la superficie de la pieza trabajada.

La profundidad de la onda (t) depende de la longitud de paso de la cuchilla (fz) y del número u orbita que describa la herramienta (D), para generar una buena calidad superficial, la profundidad de la onda según experiencias debe ser de 0.005 mm. Para la obtención de este valor se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$t = \frac{fz^2}{4D} \text{ (mm.)} \quad (6)$$

Esquemáticamente se define la profundidad de onda y la calidad superficial en las siguientes figura. (Michael Weinig AG).

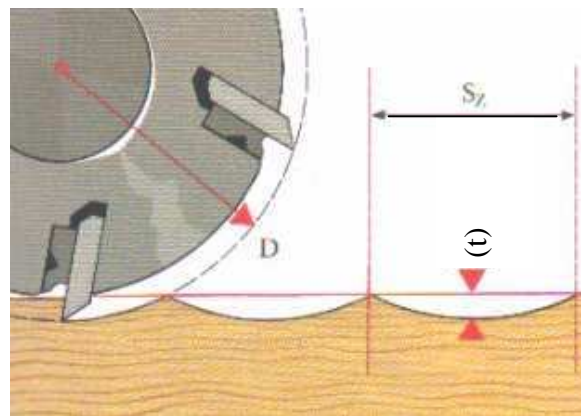


Figura 14: Profundidad de la onda, (Fuente: Weinig s/f).

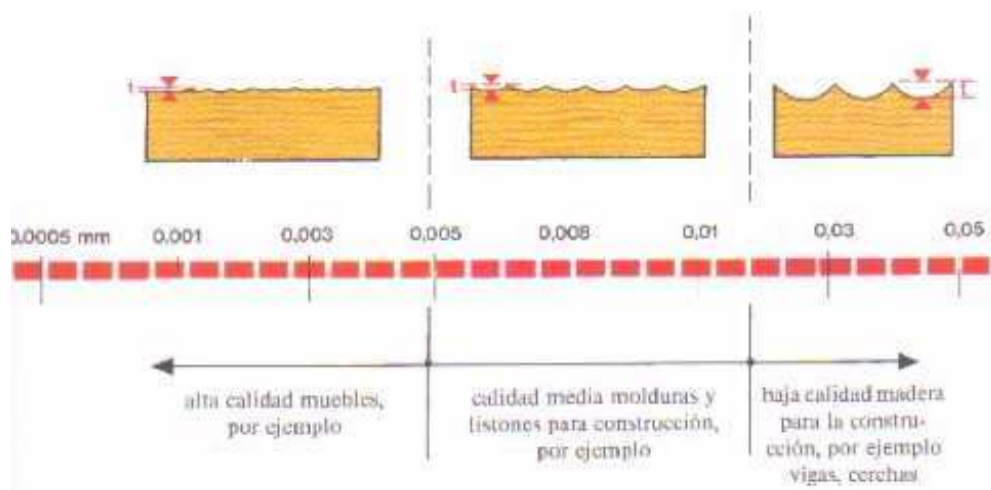


Figura 15: Calidad superficial con respecto a la profundidad de la onda. (Fuente: Weinig s/f)

2.7.6 Calidad de la aleación de aceros en cuchillos moldureros.

La industria Manufactura Tres Pinos utiliza herramientas de corte del tipo HSS (high-speed steel), es decir acero de alta velocidad, material común para herramientas de corte y que es relativamente barato y proporciona excelente tenacidad, que es la capacidad de un metal para absorber energía sin romperse o fracturarse.

Entre los aceros de herramientas, este tipo es el más aleado, contienen normalmente grandes cantidades de tungsteno o molibdeno junto con cromo, vanadio y a veces cobalto. El contenido de carbono varía entre 0,7 y 1%, aunque en algunos pueden llegar hasta un 1,5%.

El acero del tipo HSS presenta una dureza en caliente excelente y una resistencia al choque bastante buena. Entre sus cualidades se tiene buena indeformabilidad, buena resistencia al desgaste y maquinabilidad.

Las aleaciones de estos aceros para el caso particular de las herramientas utilizadas para el maquinado, llevan componentes que mejoraran la vida útil de la herramienta y por consecuencia la calidad superficial de la sección maquinada. Existen diversos componentes químicos que darán diversas propiedades al acero mencionado, los cuales se indican en el anexo número 5. (Millan *et al* 2006).

La calidad de las cuchillas es una de las principales características a tener en cuenta a la hora de seleccionar la más adecuada. Los materiales en los que están elaboradas, determinan su valor comercial y su capacidad de trabajo.

De acuerdo al porcentaje de aleación las cuchillas HSS se pueden clasificar como de mayor o menor resistencia y durabilidad, siendo estos; factores que determinan el tipo de trabajo a realizar con ellas y su valor comercial.

Dentro de las cuchillas HSS consideradas de baja dureza y muy blandas, se encuentran las de 12 y 13 por ciento (porcentaje de aleación), cuyo precio comercial es muy bajo; haciéndolas ideales para trabajos de carpintería y ebanistería en los que no se requiere producción en serie. Para empresas que necesitan llevar a cabo procesos de producción en serie de manera continua, en los que las cuchillas deben trabajar durante un largo tiempo, se encuentran las cuchillas en HSS al 18 por ciento, que se caracterizan por ser más duras y por ofrecer un corte que dura hasta cinco veces más que las mencionadas anteriormente; razón por la cual son ideales para trabajar maderas duras.

Estas a su vez se dividen en cuchillas ranuradas o estriadas, las cuales tienen un espesor de 8mm y su altura es variable dependiendo de la forma de la moldura a sacar. Las más comunes son cuchillas con alturas de 50, 60 ó 70 mm; con una longitud de 635mm., (Barrantes s/f).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción de la madera en estudio

El estudio de la calidad superficial frente a condiciones de maquinado se realiza en base a molduras de *Pinus radiata* D. Don, las cuales se producen en diversos perfiles. Estas molduras se elaboran con materia prima que tiene las siguientes características:

- La materia prima utilizada para la elaboración de las molduras es 100% de Pino radiata
- La madera corresponde en un 93% promedio a madera lateral y el restante a madera central, en caso de proceso de diámetros pequeños
- La densidad promedio de la madera es de 480 kg/m³
- El rango de contenido de humedad en la madera es de 7 a 13% con un promedio de 9.5%
- El consumo de madera mensual fluctúa entre los 7000 y 7500 m³
- La calidad de madera procesada corresponde a un 75% aproximadamente de madera ancho variable P-99, mientras que el restante corresponde a ancho variable Shop 3 y NC y madera de ancho fijo PC (por clasificar) y en escasas ocasiones ancho fijo NC (no clasifica)

Para el muestreo se utilizarán perfiles acordes con los defectos a estudiar, a continuación se indica los nombres de dichos perfiles y el respectivo defecto a medir, además de un diagrama de dichos perfiles, exceptuándole perfil JIM ADAMS c56 el cual corresponde a un nuevo perfil modificado, (ver figura 16).

- WM 623: fibra encontrada
- SJ JIM WSCRIBE macho: fibra encontrada
- JIM TRIMCO 411: calamina
- JIM ADAMS C56: calamina
- RJ BROSCO: repelo
- RJ MYM: repelo

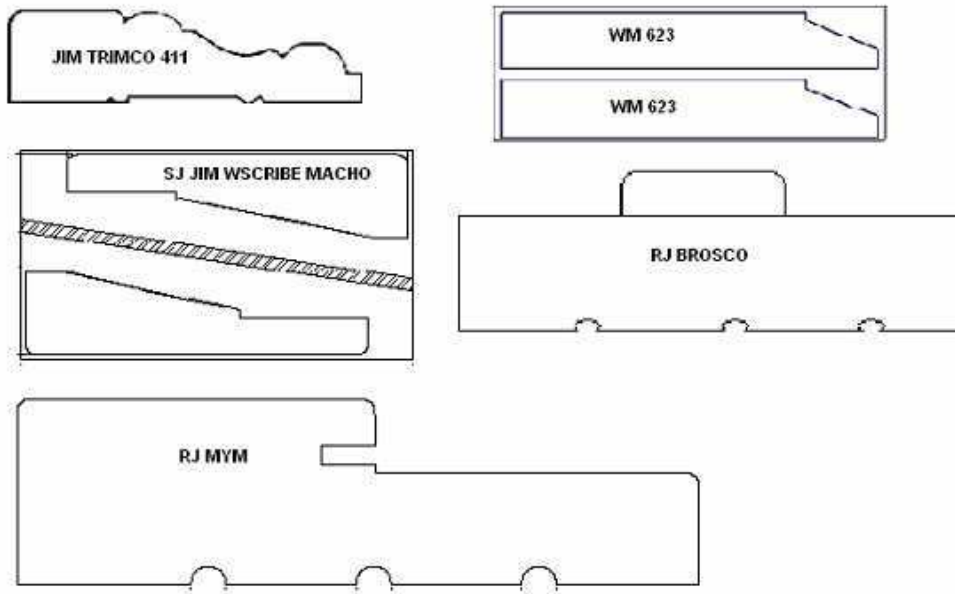


Figura 16: diagrama de perfiles en estudio

3.2 Materiales

Para el desarrollo del estudio se ocuparan los siguientes equipos e instrumentos:

3.2.1 Moldurera

La maquinaria corresponde a una moldurera, la cual opera con un número de cabezales fijo, el cual corresponde a 7 cabezales que operan con una distinta finalidad. Para la realización del estudio, sólo se trabajará con los cabezales 5 y 6 los cuales realizan la función principal del perfilado y acabado superficial. La siguiente figura indica la distribución de dichos cabezales.

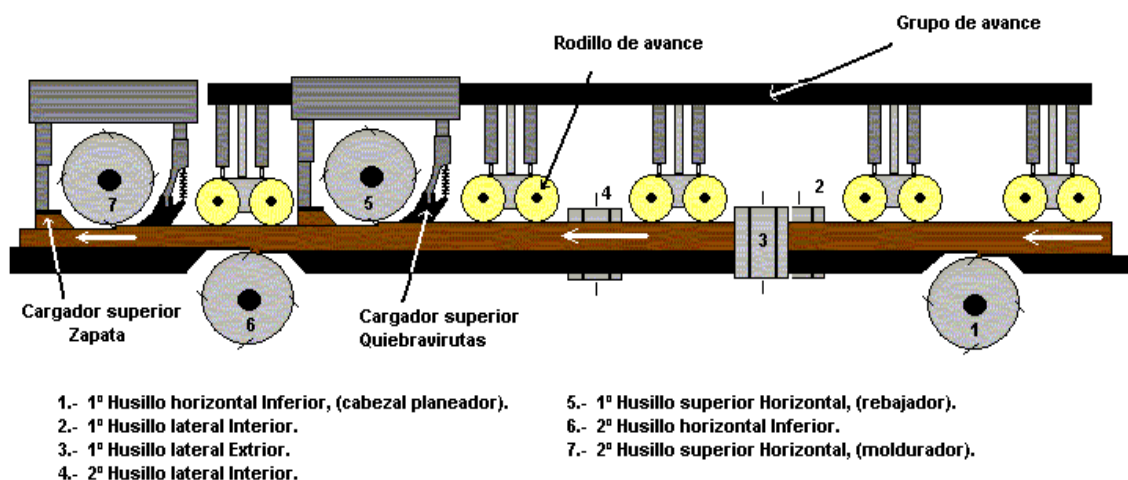


Figura 17 Diagrama de moldurera en estudio marca Linares.

Para esta moldurera se tienen las siguientes consideraciones:

- Potencia Motor husillo 5= 30 KW
- Potencia Motor husillo 6= 22 KW

El N° 5 necesita más potencia, ya que es el realiza el mayor desgaste (rebajador de madera). El N° 6 solo da la terminación, al igual que el cabezal N° 7.

- Moldurera marca Linares modelo Evolution 5000 de nacionalidad argentina
- Material de los cuchillos: HSS
- Tiempo promedio de jointeado: Cuando se monta un perfil se realiza el primer jointeado, posteriormente se vuelve a jointear según la calidad superficial que va saliendo de la madera maquinada.
- RPM de los cabezales: 6000 RPM aproximadamente.

3.2.2 Xilohigrómetro de contacto

Para la medición del contenido de humedad en la madera se utilizó el medidor de humedad marca Wagner modelo L612 de registro digital, con un área de exploración 6,35 x 6,35 cm, profundidad de exploración 2,5 cm, gama de medición 5-30% funciones display digital, almacenamiento hasta 5000 lecturas, 200 grupos, 50 especies.

3.2.3 Microscopio Electrónico de barrido del instituto de Histología de la Universidad Austral de Chile

El microscopio electrónico de barrido, también conocido como Scanning o SEM (Scanning Electron Microscopy), es un microscopio que usa electrones y no luz para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. Este instrumento permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. Con él se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de diversos materiales, además del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas.

3.3 Descripción de la medición

La medición se hará en su inicio para determinar los niveles de cada defecto según la norma ASTM D 1666 y para ello se medirá la frecuencia de piezas muestreadas en cada nivel a través del tiempo de maquinado; la frecuencia de piezas afectadas se realizará mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de defectos} = \frac{\sum \text{piezas con defectos}}{\text{Total piezas muestra}} * 100 \quad (7)$$

Para evaluar la calidad en función del tiempo o metros lineales de madera procesada, la toma de muestra se realizará en función del uso de la herramienta de corte, es decir, se medirá la frecuencia de defectos en un comienzo del uso de la herramienta, hasta cumplir al menos 3 horas de maquinado, además las mediciones se tomarán en rangos mínimos de 15 minutos bajo el control de cronómetro.

Junto con determinar la frecuencia de defectos en las piezas, se puede determinar el grado en que se encuentra presente el defecto, clasificándose de la siguiente forma:

Cuadro 4: Grado de defectuosidad, según norma ASTM D 1666.

Calificación	% de piezas con defectos
Excelente (1)	mínima presencia de defecto
Regular (2)	presencia regular del defecto
Muy Pobre (3)	presencia severa del defecto

Nota: la presencia de defectos es relativa, dependerá del caso en estudio, la calificación se realizará con respecto al aspecto visual del defecto y no en cuanto al tamaño, además el grado o nivel de defecto se tomará con apoyo del personal que trabaja en reparado de defectos.

Al grado de defectuosidad se le otorga una ponderación, con el fin de destacar que en los niveles más severos se requiere un mayor tiempo de reparado, a diferencia del defecto en menor grado, el cual significa menor tiempo de trabajo, es por ello que la ponderación a utilizar en el presente estudio es la siguiente:

Cuadro 5: Ponderación de cada grado de presencia de defectos.

Calificación	Ponderación %
Excelente (1)	15
Regular (2)	35
Muy Pobre (3)	50
total de piezas afectas	100

La ponderación a utilizar sirve para distinguir la importancia del grado de defectuosidad en la pieza en estudio, sin embargo la suma de las piezas defectuosas de cada grado multiplicado por su respectiva ponderación dará un valor diferente entre los distintos niveles, los cuales serán sumados y su total representará el porcentaje total de defectos de cada muestra.

3.4 Muestreo

Para obtener la mayor precisión de los resultados a obtener, es necesario saber cual es el tamaño de la muestra para la realización del estudio, para ello es necesario realizar un premuestreo para obtener una estimación de la proporción de defectos por cada media hora de maquinado, adjunto a esto es necesario asignar un nivel de confianza, el cual determina la probabilidad que la estimación efectuada se ajuste a la realidad, además se debe asignar un error muestral de estimación, el cual es una medida de variabilidad de las estimaciones, finalmente se debe determinar el tamaño total de la población a muestrear, el cual será la cantidad total de piezas producidas por cada media hora de maquinado, Prat (2000).

A continuación se describe el cálculo de tamaño:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)}{(N - 1) e^2 + Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)} \quad (8)$$

Donde:

N = es el total de piezas procesadas por cada media hora de maquinado

$Z_{\alpha/2}^2$ = nivel de confianza asignado

P = proporción de defectos según premuestreo

e = error máximo permitido

n = tamaño de cada muestra

3.5 Variables y constantes a considerar en la aparición de defectos

Para lograr encontrar las principales causas que generan los defectos mencionados, se tomarán datos que podrían tener cierta influencia en la aparición de estos; estos datos se tomarán de acuerdo al marco teórico realizado. Los datos a analizar son:

Cuadro 6: Constantes y variables a considerar en la medición.

Constantes	Variables
Cabezales principales perfiladores	Jointeo y biselado
Número de cuchillos	Rastreo de cambios en las velocidades
Presión de rodillos	Contenido de humedad para el repelo
Golpes por pulgada	Orientación de la fibra
RPM de cabezales	Aleación de Aceros de los cuchillos utilizados
Diámetro de cabezales	
Geometría de cuchillos	

Para registrar las constantes y variables mencionadas en el cuadro anterior se usarán los siguientes métodos:

- Se registraran valores que indica la moldurera durante el periodo de maquinado de medición.
- Se verificarán velocidades mediante control cronométrico.
- La geometría de cuchillos se medirá con transportador.
- Los golpes por pulgada se registraran tomando muestras durante la medición, las cuales serán marcadas con crayón en la superficie para observar cuantas marcas deja el cuchillo por cada pulgada, a lo largo de la pieza. Lo ideal según Vega (2004) es tener entre 8 a 16 ondas o marcas por pulgadas.
- El contenido de humedad se registrara con Xilohigrómetro de contacto.
- El Jointeo se analizará observando la periodicidad de realización y biselados medidos con pie de metro en taller de afilado.

3.6 Método para análisis de los datos

La característica de calidad que interesa controlar no es una característica medible, sino que es un atributo que puede poseer o no el producto, incluso se pueden estudiar varias cualidades del mismo producto y analizar si permanecen estables a lo largo del tiempo. Para analizar los resultados de piezas defectuosas una alternativa es la aplicación de *Grafico P*.

El gráfico *P* se utiliza cuando los individuos de un proceso se clasifican en defectuosos - no defectuosos, fuera – dentro de tolerancias, etc., y se desea controlar la proporción *P* de individuos en uno de estos grupos.

El control de proceso se realiza anotando la proporción de individuos defectuosos en un gráfico. Los límites del grafico *P* son hallados utilizando el modelo teórico que sigue el estadístico a controlar *P*.

El control de la proporción *P* se realiza analizando el comportamiento de las proporciones a través del tiempo. Para realizar dicho gráfico se debe realizar los siguientes pasos (Prat 2000).

- a) calcular la fracción de piezas defectuosas para cada muestra:

$$p = \frac{\text{nº defectuosos de la muestra } i}{n_i} \quad i = 1,2,\dots,k \quad (9)$$

- b) calcular la estimación de *P* a través del total de individuos defectuosos encontrados:

$$\bar{p} = \frac{\sum n_i p_i}{\sum n_i} = \frac{\text{total piezas defectuosas}}{\text{total muestreado}} \quad (10)$$

El valor \bar{p} será una estimación de la proporción P de defectuosos del proceso si este ha permanecido estable, solo afectado por causas comunes, durante la toma de muestra.

c) calcular los límites de control del gráfico mediante las formulas que siguen:

$$\text{Límite superior: } \bar{p} + 2 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad (11)$$

$$\text{Límite central: } \bar{p} \quad (12)$$

$$\text{Límite inferior: } \bar{p} - 2 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad (13)$$

Una vez obtenido el gráfico con sus respectivos límites de control, es posible realizar una comparación entre proporciones promedios, a su vez se puede determinar hasta que rangos de tiempo es posible operar sin que exista una proporción de defectos que salga de los límites de control de calidad, (Prat 2000).

Para el caso específico de Manufactura Tres Pinos, se utilizará una proporción histórica (P) de defectuosidad, obtenida durante el año 2005, para los distintos defectos, además, con dicho valor se calcularán los tamaños muestrales para la realización del estudio, Estos valores corresponden a:

- a) Fibra encontrada: proporción año 2005 corresponde a 5.11%
- b) Calamina: proporción año 2005 corresponde a 3.54%
- c) Repelo: proporción año 2005 corresponde a 2.5%

Una vez obtenido el comportamiento de defectuosidad a través de los gráficos conjuntamente a la serie de observaciones mencionadas en el punto anterior, se procederá a evaluar cuales son las principales causales de defectuosidad y sus posibles soluciones.

3.7 Cálculo tamaño muestral

3.7.1 Tamaño muestral para fibra encontrada

Para los perfiles WM620, WM 623 y otros similares que presentan el defecto, el promedio de proporción de fibra encontrada del año 2005 fue de 5.11%, valor que será utilizado para el cálculo de tamaño muestral.

A continuación se tiene que la velocidad de alimentación para estos perfiles es de 100 m/min, además se sabe que el largo promedio de dichos perfiles es de 13 pies o 3.96 m. por lo tanto:

$$V_f : \frac{100 \text{ m/min}}{3.96 \text{ m}} = 25 \text{ piezas procesadas por minuto}$$

25 piezas → 1 minuto

6000 piezas → 240 minutos (turno de 4 horas, tiempo de producción del perfil)

Entonces las 6000 piezas será la población total de la muestra, cada 240 minutos.

Aplicación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)}{(N - 1) e^2 + Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)}$$

Donde:

N = es el total de piezas procesadas por cada media hora de maquinado

$Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza asignado

P = proporción de defectos según premuestreo

e = error máximo permitido

n = tamaño de cada muestra

N = 6000 piezas

$Z_{(0.975, \infty)}$ = valor t de Student 1.96

P = 5.11 %

e = 5 %

n = ¿?

$$n = \frac{6000 * 1.96^2 * 0.0511 * (1 - 0.0511)}{(6000 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.0511 * (1 - 0.0511)} = 74 \text{ piezas}$$

La medición se realizará segmentadamente para analizar el efecto del desgaste de la herramienta de corte sobre la calidad superficial, por lo tanto. para un resultado representativo de proporción de piezas con presencia de fibra encontrada se debe muestrear por lo menos 74 piezas dentro de media hora de proceso para perfiles WM 620, WM 623 o similares.

3.7.2 Cálculo tamaño muestral para calamina

Los perfiles que frecuentemente se ven afectados por el defecto calamina son los mismos que se ven afectados por fibra encontrada, es decir WM620, WM 623 y otros similares. El promedio de proporción de calamina del año 2005 fue de 3.54%, valor que será utilizado para el calculo de tamaño muestral. Entonces al igual que en el caso anterior se tiene:

6000 piezas será la población total de la muestra, cada 240 minutos

$$n = \frac{6000 * 1.96^2 * 0.0354 * (1 - 0.0354)}{(6000 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.0354 * (1 - 0.0354)} = 52 \text{ piezas}$$

N = 6000 piezas
 $Z_{(0.975, \infty)}$ = valor t de Student 1.96
 P = 3.54%
 e = 5 %
 n = 52 piezas

Se debe muestrear por lo menos 52 piezas en un tiempo de maquinado de media hora de proceso para perfiles WM 620, WM 623 o similares.

3.7.3 Cálculo tamaño muestral para repelo

Para el perfil Flat o Rabbetted el promedio de proporción de repelo del año 2005 fue de 2.5 %, valor que será utilizado para el calculo de tamaño muestral.

Estos perfiles se producen con menor frecuencia en comparación a los anteriores y por experiencia del departamento de control de calidad, el defecto se localiza generalmente sólo en algunos blocks de las piezas y no en todo el largo de la pieza, por lo cual se descarta un desgaste de herramientas o una mala utilización de estas, por lo tanto la medición de repelo se realizará con paquetes de estos perfiles que se encuentren en stock. Los paquetes de estos perfiles cuentan con un número de piezas no superior a 300, por lo cual ese será el tamaño de la población total y en base a esa población se calculará la cantidad de piezas a medir por paquete.

$$n = \frac{300 * 1.96^2 * 0.025 * (1 - 0.025)}{(300 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.025 * (1 - 0.025)} = 33 \text{ piezas}$$

N = 300 piezas
 $Z_{(0.975, \infty)}$ = valor t de Student 1.96
 P = 2.5 %
 e = 5 %
 n = 33 piezas

Por lo tanto se deberá medir un mínimo de 33 piezas de un paquete para sacar el porcentaje representativo de repelo en la producción de dichos perfiles.

Tras el cálculo de tamaño muestral, se obtuvo la cantidad mínima de piezas a muestrear para los distintos perfiles que son maquinados a velocidades similares, sin embargo, se muestreo una mayor cantidad de piezas como se indica a continuación:

Fibra encontrada:

- Primera medición, 1127 piezas de WM623 con un mínimo de 180 piezas cada media hora y con las piezas distribuidas en 4 paquetes.
- Segunda medición, 1752 piezas de SJ JIM Escribe macho con un mínimo de 257 piezas cada media hora y con las piezas distribuidas en 4 paquetes.
- Tercera medición, 1610 piezas de WM623 con un mínimo de 189 piezas cada media hora y con las piezas distribuidas en 5 paquetes.

Calamina:

- Primera medición, 970 piezas de JIM ADAMS C56 con un mínimo de 110 piezas cada media hora y con las piezas distribuidas en 1 paquetes.
- Segunda medición, 860 piezas de JIM TRIMCO 411 con un mínimo de 55 piezas cada media hora y con las piezas distribuidas en 1 paquetes.

Repelo:

- La medición se realizó en tres paquetes; dos de RJ MYM y un paquete de RJ TRIMCO, de cada paquete se midieron 50 piezas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Niveles de fibra encontrada

En las primeras mediciones de presencia de fibra encontrada en molduras de *Pinus radiata*, es posible diferenciar los distintos niveles de presencia del defecto, los cuales se caracterizan por distintos aspectos visuales de la siguiente forma:

- **Nivel 1:** Poca presencia del defecto, el cual aparece en forma muy leve en el área de unión de los blocks, en su aspecto visual no se distingue una gran desviación de la fibra a causa de ser un área cercana a un nudo, sin embargo se presenta con una leve cantidad de fibras levantadas, como se aprecia en la siguiente figura:



Figura 18: Fibra encontrada nivel1.

- **Nivel 2:** Presencia moderada de fibra encontrada, Este nivel se caracteriza por encontrarse presente en secciones muy cercanas a un nudo que ha sido cortado y el cual presenta una desviación de la fibra en forma notoria como muestra la figura 19; depende fuertemente de las condiciones propias de la madera y de la forma en que fue seccionada en un proceso anterior de trozado.



Figura 19: Fibra encontrada nivel 2.

- **Nivel 3:** Presencia exagerada de fibra encontrada, este nivel se presenta con un aspecto visual muy notorio, como se muestra en la siguiente figura, debido a grandes desviaciones de la fibra alrededor de los nudos, aun cuando estos han sido trozados correctamente; lo cual es atribuible al desgaste de herramienta o diferencia de densidad entre madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento.



Figura 20: Fibra encontrada nivel 3.

4.1.1 Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la primera medición.

Para la primera medición de fibra encontrada del perfil en estudio, se registraron las siguientes observaciones:

- Cabezales perfiladores principales: 5 y 7
- Número de cuchillos: 6 y 8 respectivamente.
- Jointeo realizado en 15 segundos de duración al cabezal número 5 sin control de biselado.
- Velocidad de alimentación marcada: 99 m/min
- Rango de presión de rodillos: 5.5 – 6 bar
- Fz: 25.4/15 golpes por pulgada (mm), como se muestra en la figura 21.
- R.P.M. medidas con tacómetro a cabezales 5 y 6: 5659 y 5608 R.P.M. respectivamente.
- Diámetro de cabezales: 163 mm.
- R.P.M. del motor: 6000 R.P.M.
- Cálculo de velocidad de corte para cabezales 5 y 7:

Si la velocidad de corte es $V_c = \pi * D * N$

Para el cabezal 5 la velocidad de corte es: $\pi * 163 \text{ mm.} * 5659 \text{ min}^{-1}$

$$= \pi * 0.163 \text{ m.} * 5659 \text{ min}^{-1}$$

$$= 2897 \text{ m/min.} / 60 \text{ min}$$

$$= 48.28 \text{ m/seg.}$$

Para el cabezal 7 la velocidad de corte es: $\pi * 163 \text{ mm.} * 5608 \text{ min}^{-1}$

$$= \pi * 0.163 \text{ m.} * 5608 \text{ min}^{-1}$$

$$= 2871 \text{ m/min.} / 60 \text{ min}$$

$$= 47.85 \text{ m/seg.}$$

k. Cálculo de velocidad de avance para cabezales 5 y 7:

Si la velocidad de avance es: $V_f = f_z * Z * N$

Para el cabezal 5 la velocidad de avance es: $25.4/15 \text{ mm.} * 10 * 5659 \text{ min}^{-1}$

$$= 1.69 \text{ mm.} * 10 * 5659 \text{ min}^{-1}$$

$$= 0.00169 \text{ m.} * 10 * 5659 \text{ min}^{-1}$$

$$= 95.64 \text{ m.} / \text{min}$$

Para el cabezal 7 la velocidad de avance es: $25.4/15 \text{ mm.} * 10 * 5608 \text{ min}^{-1}$

$$= 1.69 \text{ mm.} * 10 * 5608 \text{ min}^{-1}$$

$$= 0.00169 \text{ m.} * 10 * 5608 \text{ min}^{-1}$$

$$= 94.77 \text{ m.} / \text{min}$$



Figura 21: Medición de golpes por pulgadas.

l. La geometría de cuchillos encontrada en el taller de afilado, fue acorde con los valores que indica la bibliografía, dentro de los valores encontrados se tiene el siguiente cuadro y el método para el cálculo de los ángulos, se señala en el anexo n°4 :

Cuadro 7: Geometría de cuchillos encontrada en taller de afilado.

Cabezal	Angulo de Ataque	Angulo de Perfil	Angulo de incidencia
WM 620	22	46	22
JIM 634	22	50	18
SJ JIM 2 1/2 Wscribe macho,	22	48	20

A continuación posteriormente a los datos de relevancia se obtuvo una tendencia de la medición de fibra encontrada que se presenta en las figuras 22 y 23:

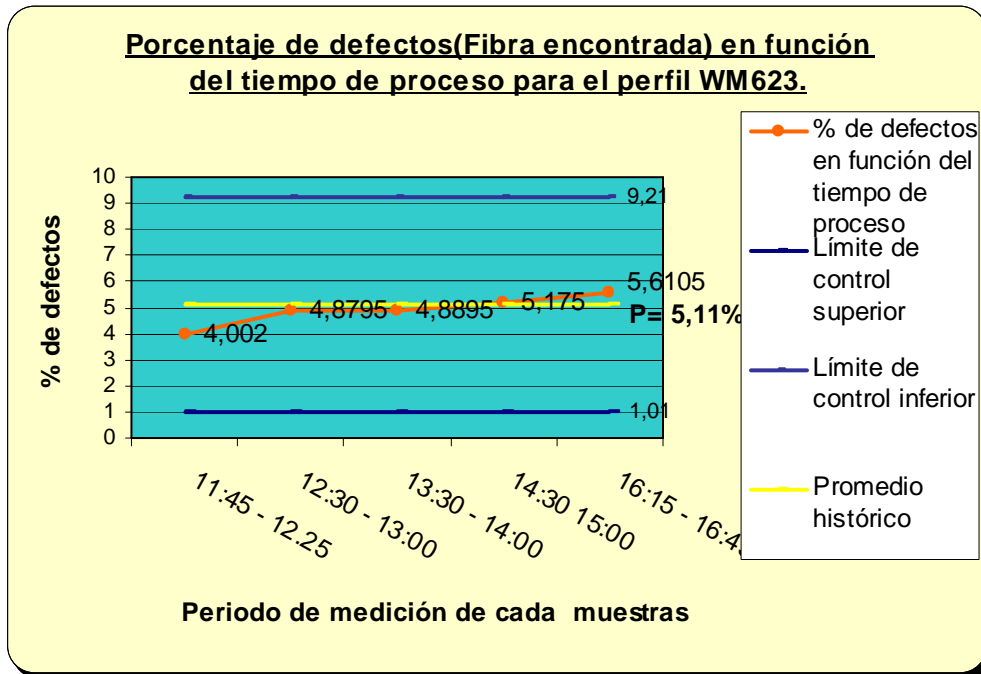


Figura 22: Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil WM623, con un promedio ponderado de 4.9 %.

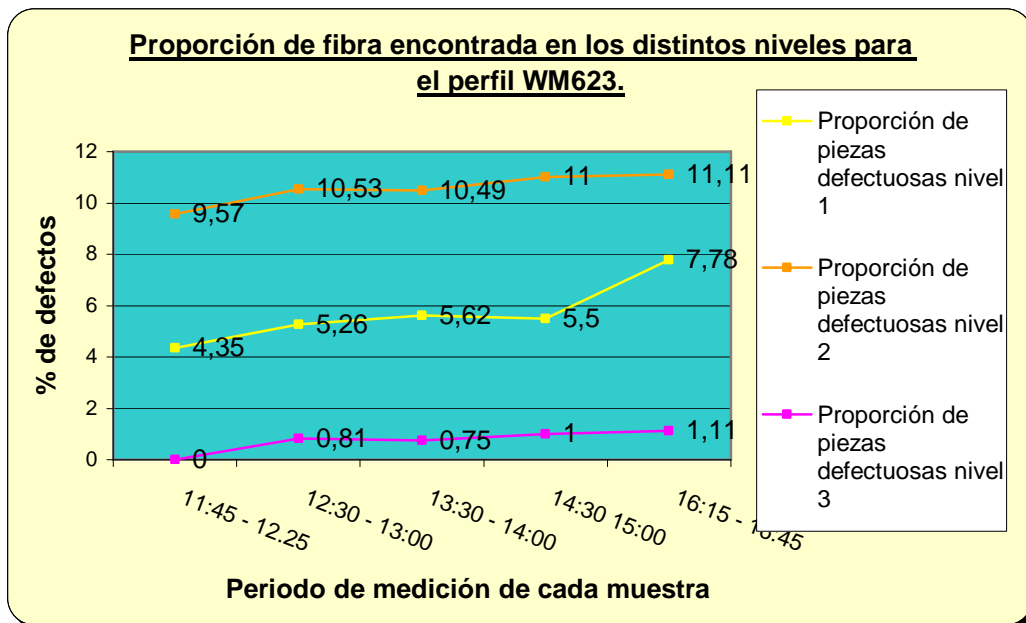


Figura 23: Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo de maquinado.

Durante la primera medición de fibra encontrada para el perfil WM623 resultó que el comportamiento del defecto se encuentra dentro de los rangos que comúnmente se dan, en comparación a los datos que se obtuvieron el año

2005, sin embargo sobrepasa los límites deseados, ya que lo máximo de defectuosidad permitido es un 5%, además se percibe una leve tendencia a aumentar dicho porcentaje a medida que transcurre el tiempo de maquinado. Por otra parte los niveles de defectuosidad tienen un comportamiento relativamente constantes, siendo el nivel dos el que se presenta en mayor proporción, mientras que el nivel tres en menor proporción.

4.1.2 Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la segunda medición.

Para la segunda medición de fibra encontrada del perfil en estudio, se registraron las siguientes observaciones:

- a. Cabezales perfiladores principales: cabezal 6.
- b. Número de cuchillos: 10
- c. Jointeo realizado en 15 segundos de duración al cabezal número 5 sin control de biselado.
- d. Velocidad de alimentación marcada: 98 m/min
- e. Rango de presión de rodillos: 5.5 – 6 bar
- f. Fz: 25.4/16 golpes por pulgada.(mm)
- g. Diámetro del cabezal: 167 mm.
- h. R.P.M. motor: 6000 R.P.M.

La tendencia de los datos obtenidos de la segunda medición se presentan a continuación en las figuras 24 y 25:

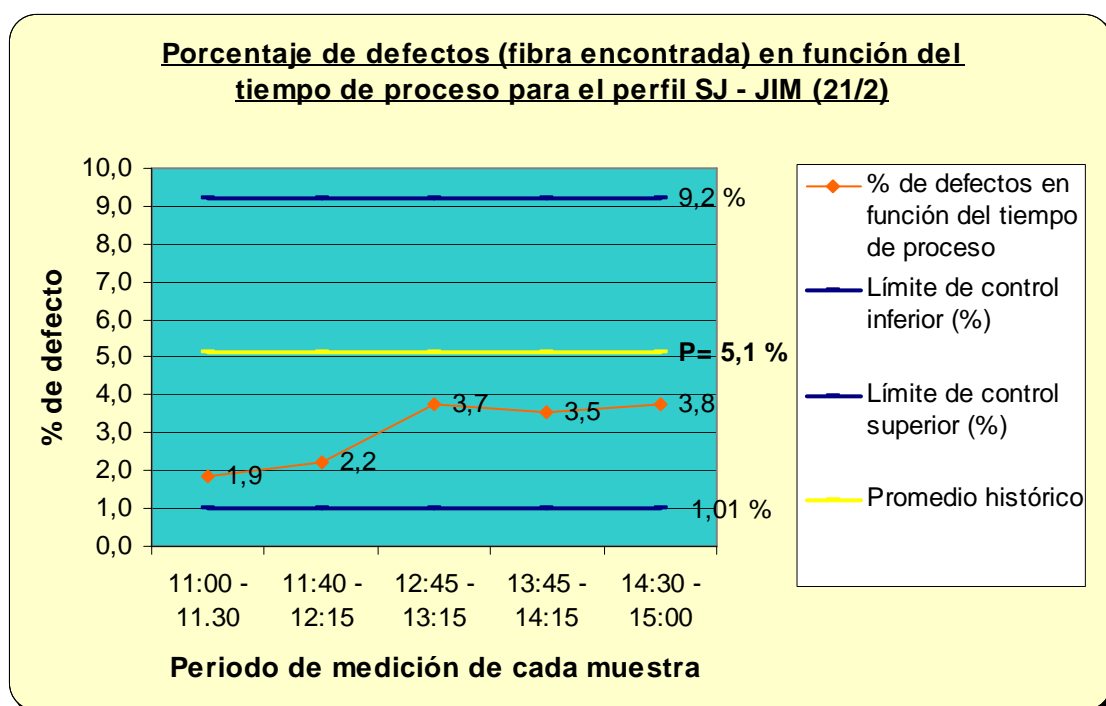


Figura 24: Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil SJ JIM 2 ½ WSCRIBE macho, con un promedio ponderado de 3%.

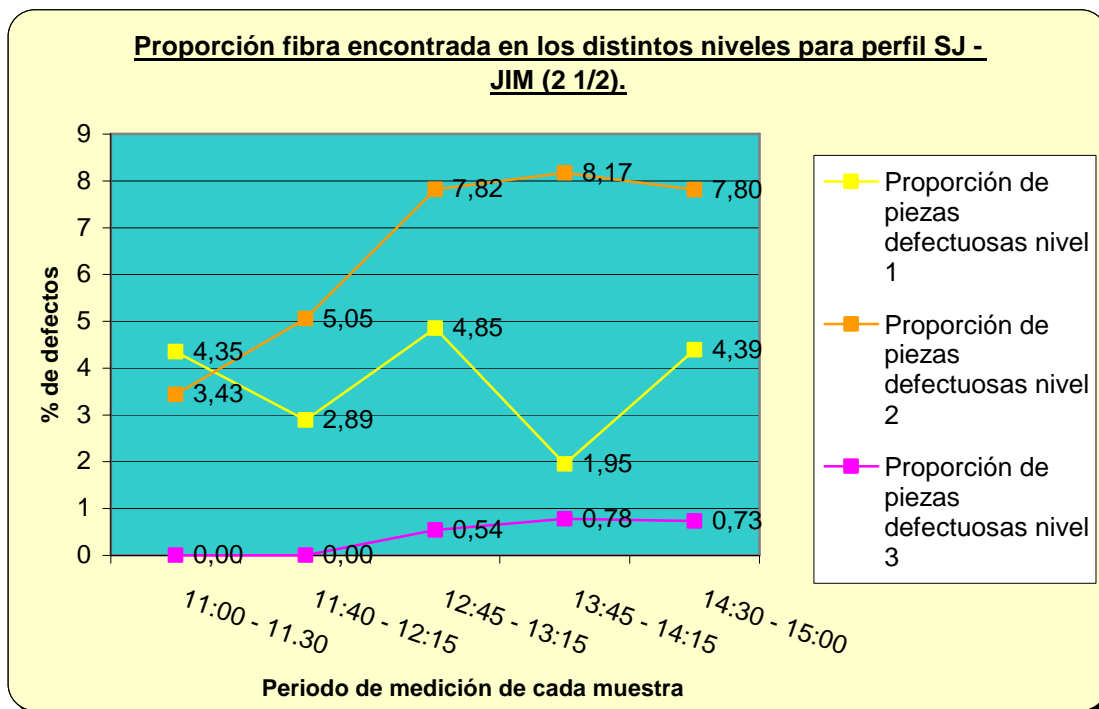


Figura 25: Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo de maquinado.

En la segunda medición de fibra encontrada se notó una gran diferencia de proporción de defecto entre el perfil SJ-JIM (2 1/2) y el WM 623, para lo cual se debe indicar que para el primero, el cabezal principal que perfila, corresponde a un cabezal inferior, mientras que para el segundo, los cabezales perfiladores principales corresponden a los superiores, lo cual podría tener alguna incidencia en la diferencia de los resultados. En cuanto a los niveles de defectuosidad al igual que en la primera medición, el nivel dos se presenta en mayor proporción

4.1.3 Resultados de frecuencia de fibra encontrada en función del tiempo para la tercera medición.

Para la tercera medición de fibra encontrada del perfil en estudio, se registraron las siguientes observaciones:

- a. Cabezales perfiladores principales: cabezal 5 Y 7
- b. Número de cuchillos: 8
- c. Velocidad de alimentación marcada: 98 m/min
- d. Piezas registradas: 21 piezas de 16' de largo por minuto, medición realizada según cronometro.
- e. Rango de presión de rodillos: 5.5 – 6 bar
- f. Fz: 25.4/14 golpes por pulgada (mm.).

Durante la tercera medición de fibra encontrada realizada nuevamente al perfil WM623, se registraron las siguientes tendencias que se indican a continuación en las figura 26 y 27:

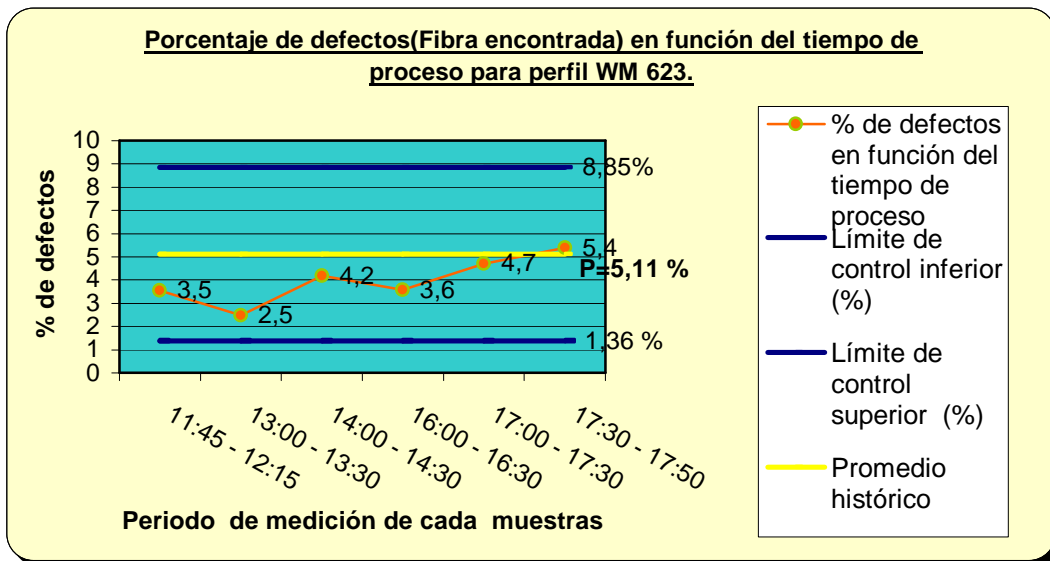


Figura 26: Comportamiento de fibra encontrada en relación al tiempo de maquinado, para perfil WM623, con un promedio ponderado de 4%.

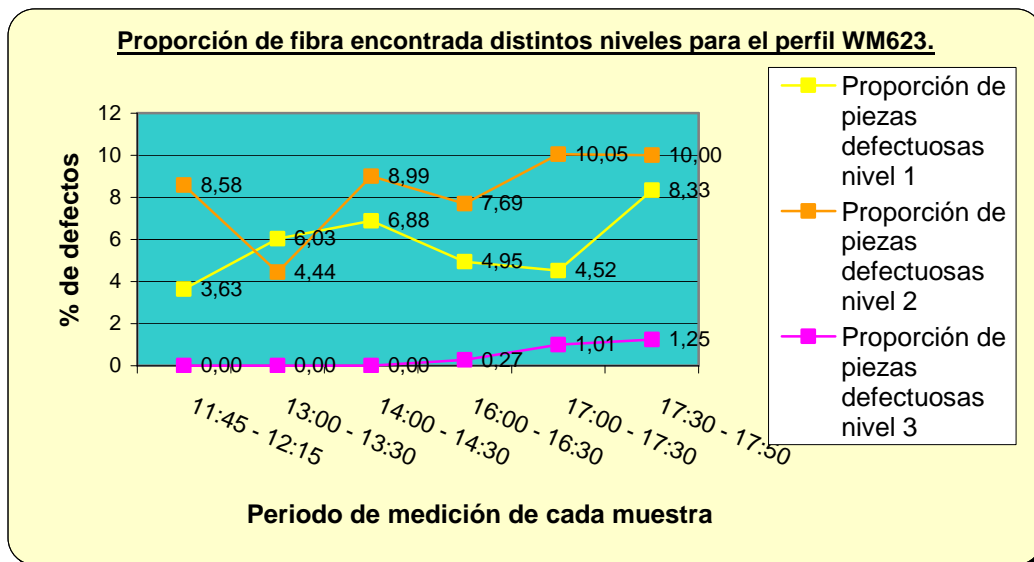


Figura 27: Comportamiento de fibra encontrada en sus tres niveles en función del tiempo de maquinado.

Para la tercera medición de fibra encontrada en perfil WM623 se registraron proporciones muy similares a la primera medición y al igual que en el caso anterior, se registró una leve tendencia al aumento del defecto en función del tiempo, además se registró que la fibra encontrada en nivel tres, no aparece durante las primeras dos horas de maquinado; por atrapar la fibra encontrada en nivel dos es la que se presenta con mayor frecuencia.

4.1.4 Consideraciones generales durante la medición de fibra encontrada.

Para perfiles que tienen una cara de clasificado plana, se presencia con mayor frecuencia un porcentaje de fibra encontrada, generalmente se debe a que en el proceso anterior de trozado se ha dejado secciones de madera con nudosidad, lo cual ocurre con la finalidad de obtener un mayor

aprovechamiento de las materias primas; sin embargo dicho defecto debe desaparecer bajo las condiciones óptimas del maquinado durante el moldurado, pese a lo anterior siempre se percibe algún porcentaje de fibra encontrada, el cual aumenta a medida que avanza el tiempo de maquinado, lo cual es atribuible al desgaste de la herramientas de corte.

Las variables del maquinado tales como velocidades de alimentación y de corte, no tienen gran influencia sobre el defecto en cuestión ya que la calidad superficial es la óptima tras comprobar las marcas por pulgada que deja el maquinado, sin embargo se pudo observar que a pesar de que el junteo se realiza correctamente en función de la calidad superficial de las piezas que van saliendo de la moldurera, se encontró en el taller de afilado, cuchillos con biselado sobre el 1.2 mm. lo cual indica que en ciertas ocasiones se ha sobrejunteado los cuchillos lo cual incide en una calidad superficial defectuosa.

El aumento de la proporción de la fibra encontrada en función del tiempo se debe a su vez al desgaste del filo de las herramientas de corte, esto sucede dependiendo de las aleaciones que tenga el Acero con el cual se esté trabajando, para caso estudiado se utilizó Aceros marca Botol, el cual dentro de las marcas analizada químicamente fue una de las cuales tuvo un mayor contenido de tungsteno o también conocido como volframio, siendo este elemento químico de gran importancia para que la herramienta tenga resistencia al desgaste, sin embargo se debe considerar que en el análisis el contenido de tungsteno no fue constante en las mediciones, por lo que se percibe que la aleación no es suficientemente homogénea, por lo tanto afecta al aumento del desgaste de la herramienta de corte además afecta a la densidad de los cuchillos y por tanto al peso de estos, razón por la cual se debe balancear el peso de éstos a fin de evitar calamina en el proceso de moldurado. Por otro lado el contenido óptimo de tungsteno en el Acero HSS es de 19% y la marca utilizada no superó el 17.7%.

Los promedios ponderados de fibra encontrada que arroja el gráfico P se encuentran muy al límite del 5% permitido, por lo tanto, se recomienda tomar alguna alternativa de solución para disminuir dicho porcentaje, alternativa a la cual existen dos posibilidades de gran mejoría; eliminar mayores secciones nudosas en el área trozado o implementar herramientas de corte de mejor calidad en su aleación de componentes químicos, aunque también se debe evitar el sobrejunteado.

4.2 Niveles de calamina u ondulaciones.

En las mediciones de presencia de calamina en molduras de *Pinus radiata*, es posible diferenciar los distintos niveles de presencia del defecto, los cuales se caracterizan por distintos aspectos visuales de la siguiente forma:

- **Nivel 1:** Poca presencia del defecto, se puede presentar tanto en un costado de la pieza como lo indica la figura 28, así como en la cara de

la pieza (para todos los niveles), las ondulaciones se presentan muy leves, de muy poco aspecto visual, sin embargo se pueden apreciar al tacto, este nivel se da sólo en secciones de la moldura y se debe a algún mal ajuste de los cargadores o de las guías de la maquinaria.



Figura 28: Calamina en nivel 1.

- **Nivel 2:** Moderada presencia del defecto las ondulaciones se presentan más notorias en su aspecto visual, sin embargo se debe confirmar al tacto la presencia de éste; al igual que en nivel 1 se presenta sólo en secciones de la pieza y se debe por las mismas razones, pero la diferencia se da por la intensidad del defecto, como lo indica la figura 29.



Figura 29: Calamina en nivel 2.

- **Nivel 3:** Para este nivel, la calamina se presenta en forma continua a través de la pieza y de manera muy notoria, ésta se presenta debido a la falta de Jointeo de los cuchillos antes de comenzar a operar, además se puede presentar también por un desbalance en los cuchillos de los cabezales perfiladores, problema que se origina por densidades desiguales en los cuchillos a causa de una aleación heterogénea de los metales que constituyen el cuchillo, a raíz de esto pueden existir cuchillos con la misma forma y tamaño pero con un peso distinto, el cual debe ser controlado antes del montaje, de lo contrario un

contrapeso en el cabezal generará desuniformidad en la superficie moldurada, generándose la presencia de calamina como se señala en la figura 30.

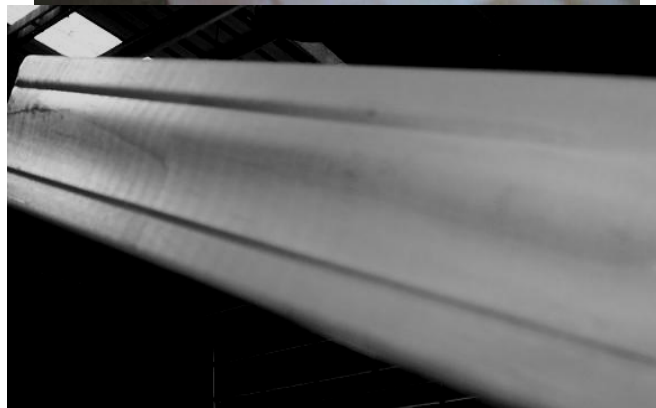


Figura 30: Calamina en nivel 3.

4.2.1 Resultados de frecuencia de calamina en función del tiempo para la primera medición.

Para la primera medición de calamina del perfil en estudio JIM – ADAMS C56, se registraron las siguientes observaciones:

- a. Cabezales perfiladores principales: 5 y 6
- b. Número de cuchillos: 8 y 6 respectivamente.
- c. Primera velocidad de alimentación: 40 m/min
- d. Jointeo realizado a cabezal 5
- e. Segunda velocidad de alimentación 54 m/min
- f. Segundo Jointeo al cabezal 5
- g. Tercera velocidad de alimentación: 68 m/min
- h. Ajuste de cargadores y guías
- i. Cuarta velocidad de alimentación para llevar a constate: 85 m/min
- j. Rango de presión de rodillos: 5.5 – 6 bar
- k. Fz: 25.4/15 golpes por pulgada (mm)
- l. Diámetro de cabezales: 163 mm.
- m. R.P.M. del motor: 6000 R.P.M.

Durante la primera medición de calamina se registró la siguiente tendencia que se muestra a continuación en las figuras 31 y 32:

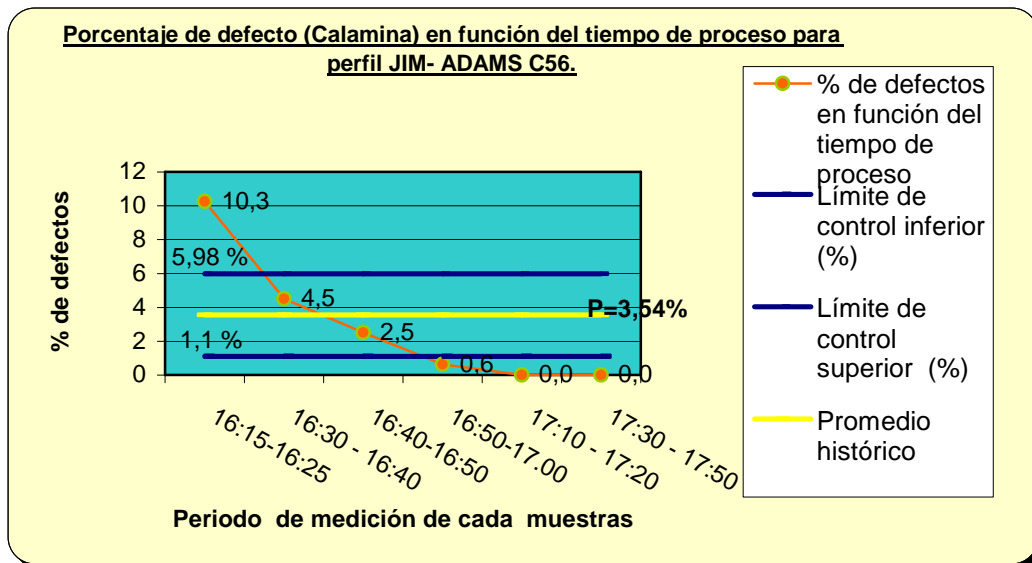


Figura 31: Comportamiento de calamina en relación al tiempo de maquinado, para perfil JIM-ADAMS C546 el porcentaje total ponderado fue de 3% de calamina.

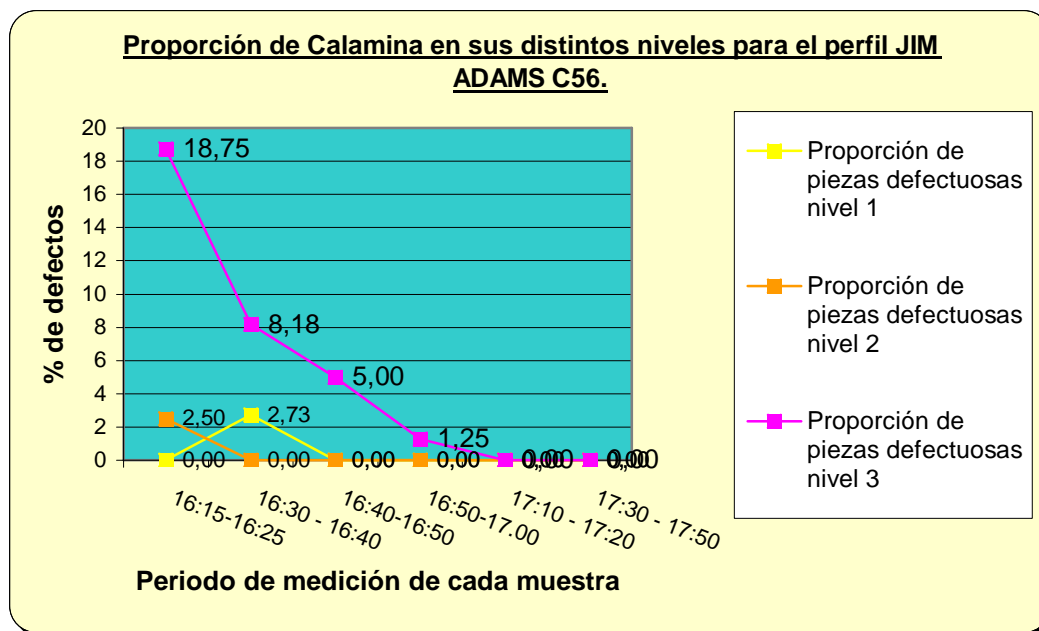


Figura 32: Comportamiento de calamina en sus tres niveles en función del tiempo de maquinado.

Para la primera medición de calamina en perfil JIM ADAMS C56 se registró una tendencia de disminución del defecto a través del tiempo de maquinado, además éste se presenta durante un corto tiempo, ya que se registraron importantes proporciones, sólo durante los primeros 30 minutos de maquinado al momento de regular la moldurera, posteriormente al tiempo indicado, no se registró calamina, además se observó hasta dos horas después y no se presentó calamina durante ningún momento, por consiguiente se relaciona que el defecto se genera según el tiempo que se demore en ajustar la

moldurera, dependiendo de la experiencia que tenga el operador, para realizar los ajustes.

4.2.2 Resultados de frecuencia de calamina en función del tiempo para la segunda medición.

Para la segunda medición de calamina del perfil en estudio JIM – TRIMCO 411, se registraron las siguientes observaciones:

- Cabezales perfiladores principales: 5 y 6
- Número de cuchillos: 5 y 8 respectivamente.
- Primera velocidad de alimentación: 50 m/min
- Jointeo realizado a cabezal 5
- Segunda velocidad de alimentación: 80 m/min
- Ajustes de cargador mecánico
- Tercera velocidad de alimentación: 98 m/min
- Segundo jointeo.
- Cuarta velocidad de alimentación ya constante: 98 m/min
- Rango de presión de rodillos: 5.5 – 6 bar
- Fz: 25.4/15 golpes por pulgada (mm)
- Diámetro de cabezales: 163 mm.
- R.P.M. del motor: 6000 R.P.M.

Los resultados obtenidos de la segunda medición se presentan a continuación en las figuras 33 y 34:

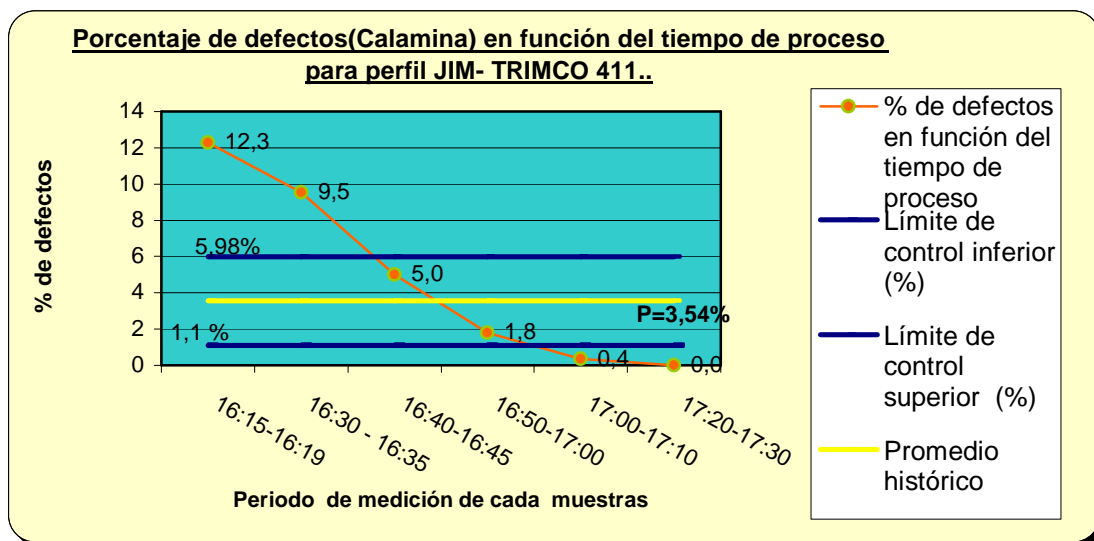


Figura 33: Comportamiento de calamina en relación al tiempo de maquinado, para perfil JIM-TRIMCO 411, según la suma de porcentajes ponderados de cada nivel.

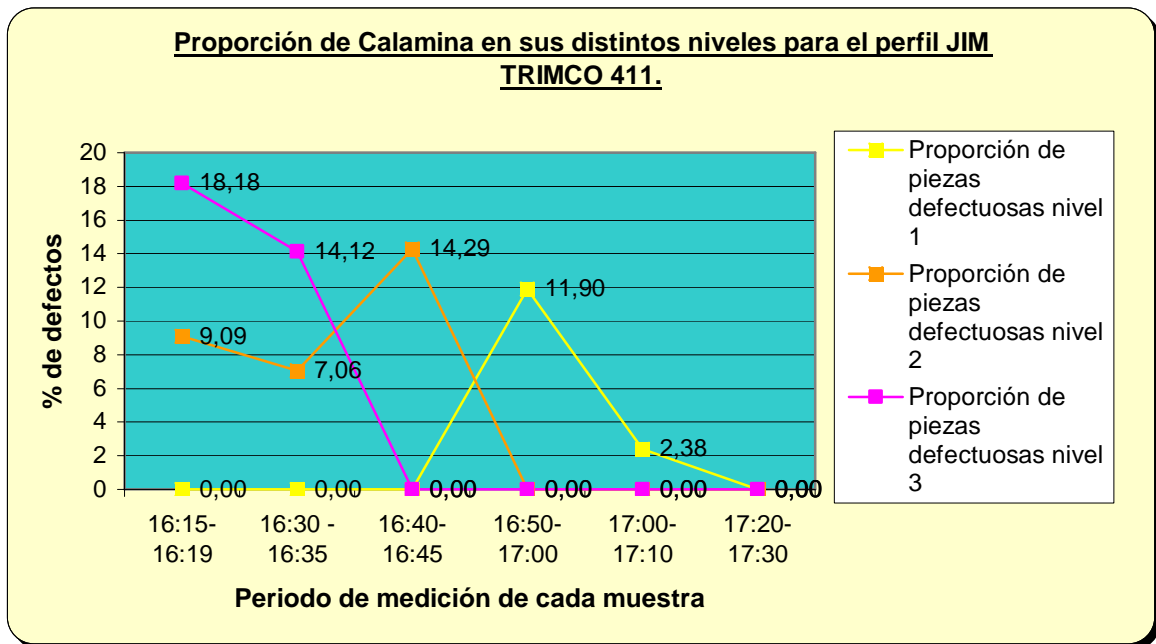


Figura 34: Comportamiento de calamina en sus tres niveles en función del tiempo de maquinado.

Para la segunda medición de calamina se registró un mayor tiempo de regulación de la moldurera, lo cual repercutió en un mayor porcentaje de calamina, el cual se distribuyó a través del tiempo; en esta oportunidad la calamina desapareció por completo en los 50 minutos de maquinado.

4.2.3 Consideraciones generales durante la medición de calamina

Los porcentajes de calamina obtenida durante las mediciones tuvieron un comportamiento bastante parecido, debido a que en ambas, la calamina se presentó principalmente en un comienzo del cambio de cabezales y fue disminuyendo a medida que se fue ajustando la maquinaria hasta producir a una velocidad constante. Para este defecto no se observó incidencia de la condición de la materia prima, sólo se observó que el defecto se regula bajo ajustes operacionales, siendo el principal ajuste, el jointeo de cuchillos y un previo balance de éstos. Aun cuando los ajustes de la moldurera reducen el defecto considerablemente, la mayor responsabilidad la tiene el operario de la maquinaria, ya que en las mediciones obtenidas fue posible deducir que el operario que aumentó las velocidades en forma gradual mientras realizaba los ajustes obtuvo un menor porcentaje del defecto en promedio, mientras que el operario que reguló la moldurera aumentando de forma brusca la velocidad de alimentación, obtuvo un mayor porcentaje promedio del defecto.

4.3 Niveles de repelo

En las mediciones de presencia de repelo en molduras de *Pinus radiata*, es posible diferenciar los distintos niveles de presencia del defecto, los cuales se caracterizan por distintos aspectos visuales de la siguiente forma:

- **Nivel 1:** Poca presencia del defecto, el cual aparece por un contenido de humedad en la madera mayor a un 12%, diferencia de densidad, o principalmente por cortes a contra fibra. Este defecto se da principalmente en molduras para marcos de puerta o ventana donde se presenta un corte en 90° como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 35: Repelo en nivel 1.

- **Nivel 2:** El repelo se presenta con un aspecto más notorio que en el nivel anterior como lo muestra la figura 36, aunque se presenta por las mismas razones anteriormente expuestas.



Figura 36: Repelo en nivel 2.

- **Nivel 3:** Para el presente nivel es posible encontrar molduras con repelo de aspecto visual muy notorio donde la razón evidente de esta presencia de defecto, es la dirección de la fibra que no se encuentra a favor de la dirección de corte, como lo indica la siguiente figura.



Figura 37: Repelo en nivel 3

4.3.1 Resultados de la primera medición de proporción de repelo en paquete muestreado

El primer registro se realizó a un paquete en stock de RJ BROSCO, al cual se midieron 50 piezas, se registró la cantidad de piezas afectadas en sus distintos niveles, el contenido de humedad de cada block de cada pieza y las causas de cada block afectado.

Los resultados de la presente medición se indican a continuación en las figuras 38, 39 y 40.

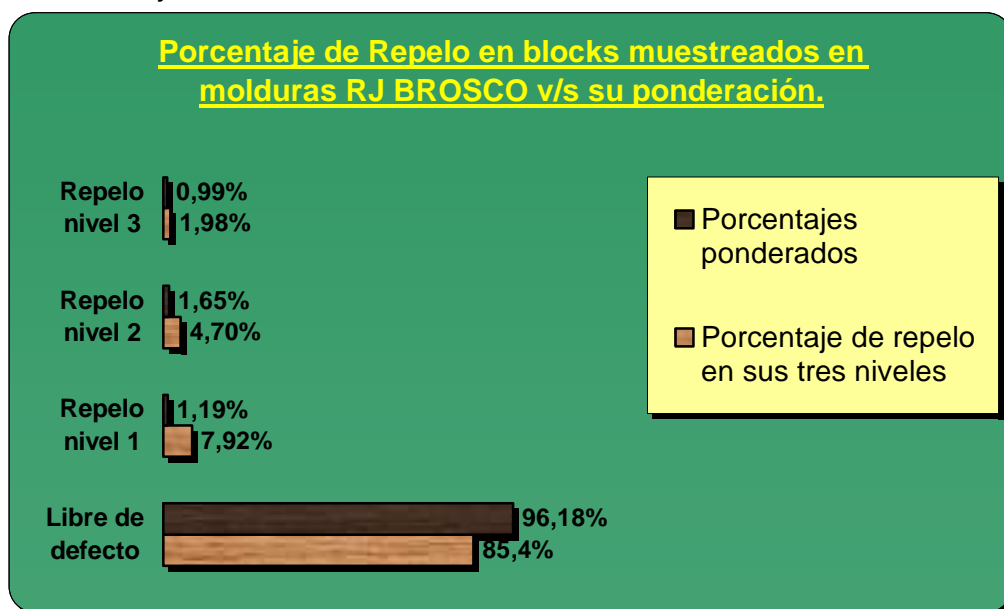


Figura 38: Proporción de repelo en sus distintos niveles v/s el porcentaje ponderado en el cual la suma total es de un 3,82 % de repelo.

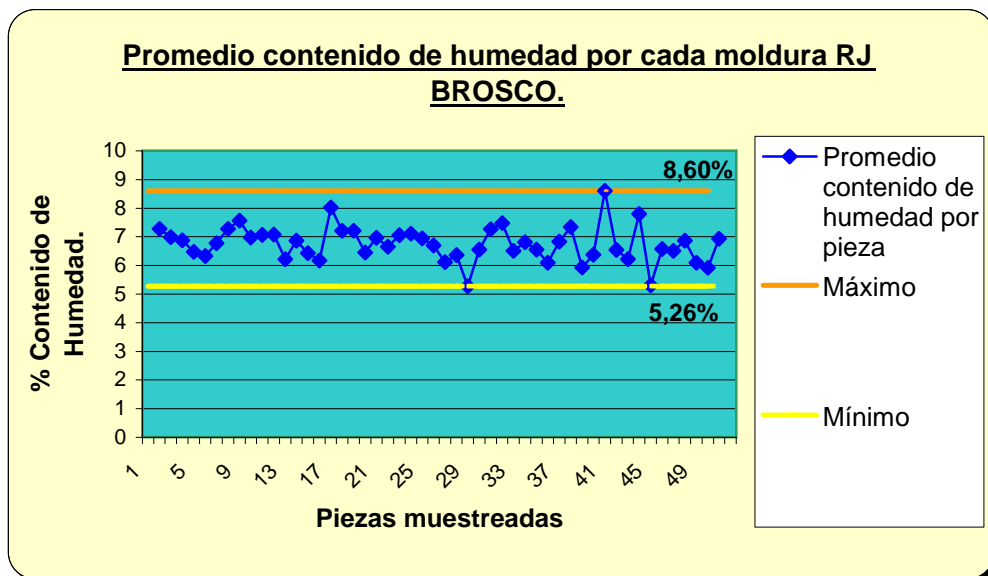


Figura 39: Promedios de contenido de humedad de los blocks de cada pieza.

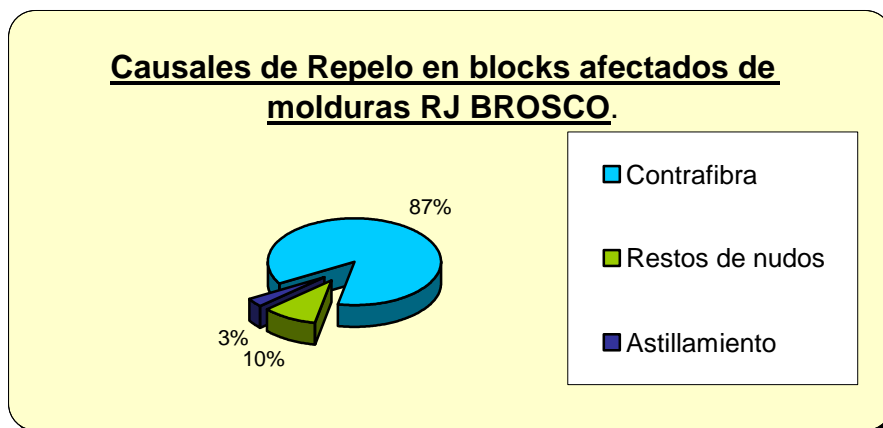


Figura 40: Causas que originan el repelo, según observaciones durante la medición.

Los resultados de la primera medición de repelo indican que existe un 3.82% de repelo para el perfil RJ BROSCO y cuyo porcentaje no se atribuye por un alto contenido de humedad en la madera, al contrario, el contenido de humedad se encuentra en un rango óptimo, sin embargo, se encontró que le principal causa que genera el repelo es la dirección de la fibra, la cual se encuentra en distinta orientación a la dirección de corte.

4.3.2 Resultados de la segunda medición de proporción de repelo en paquete muestreado

El segundo registro se realizó a un paquete en stock de RJ M Y M, al cual se midieron 50 piezas al igual que en la medición anterior, y arrojaron los siguientes resultados que indica las figuras 41, 42, y 43:

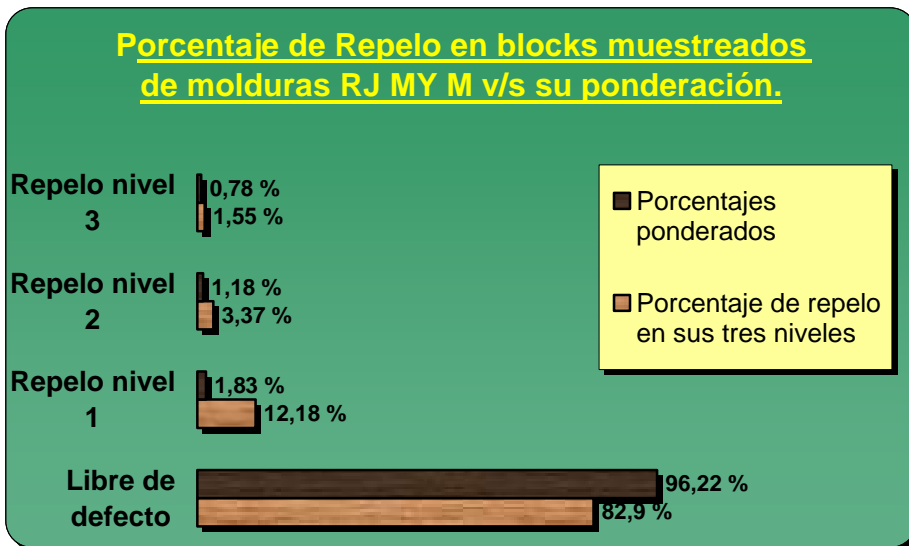


Figura 41: Proporción de repelo en sus distintos niveles v/s el porcentaje ponderado en el cual la suma total es de un 3,78 % de repelo.

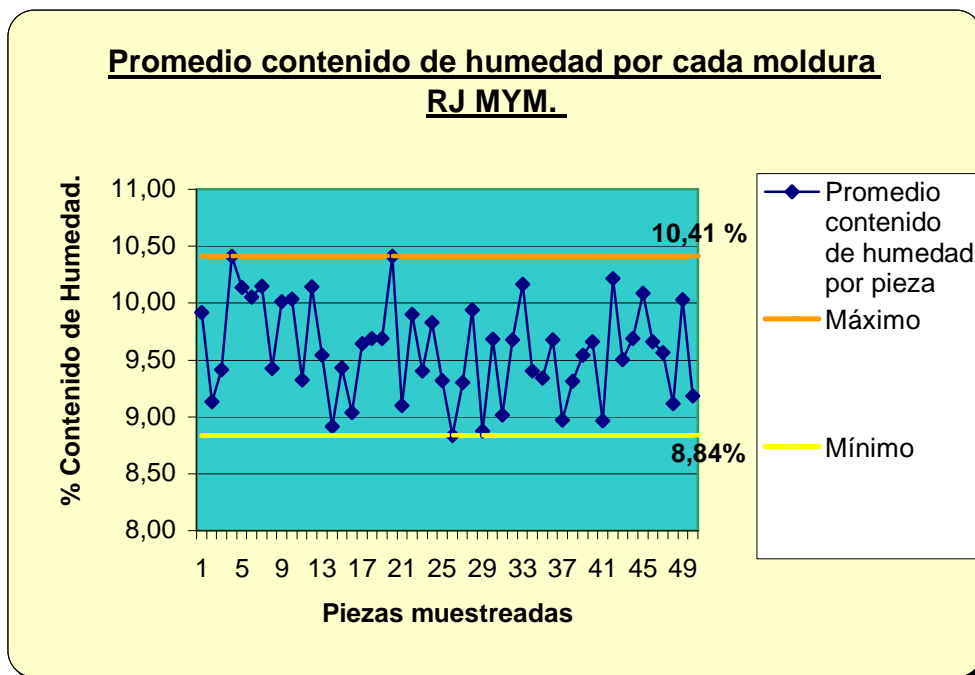


Figura 42: Promedios de contenido de humedad de los blocks de cada pieza.

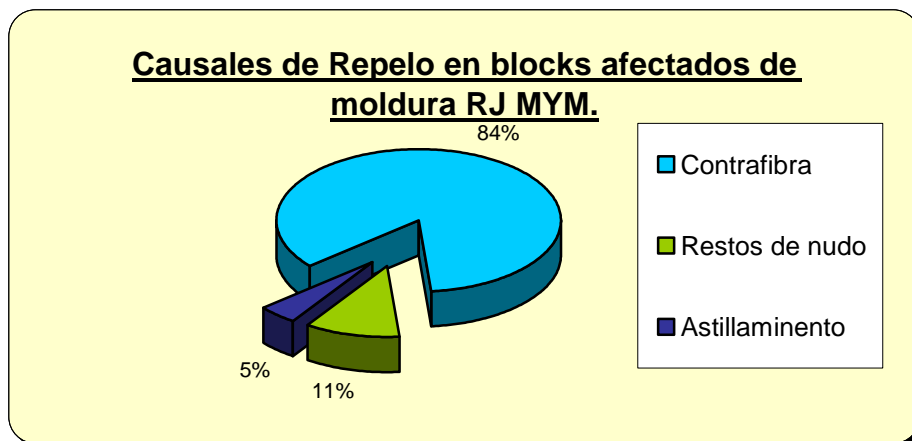


Figura 43: Causas que originan el repelo, según observaciones durante la medición.

La segunda medición de repelo indicó un a proporción de un 3.78% de las piezas muestreadas del perfil RJ MYM, porcentaje muy similar a primera medición de repelo. En esta ocasión y al igual que la medición anterior, el contenido de humedad en la madera no influyó sobre el defecto, ya que no se encuentran mediciones que registren un valor sobre el 12% de contenido de humedad; además la principal causa de este defecto es nuevamente la dirección de la fibra a contra maquinado.

4.3.3 Resultados de la tercera medición de proporción de repelo en paquete muestreado

El tercer registro se realizó a un paquete en stock de RJ M Y M nuevamente, al cual se midieron 50 piezas al igual que en las mediciones anteriores, y arrojaron los siguientes resultados que se indica a continuación en las figuras 44, 45 y 46:

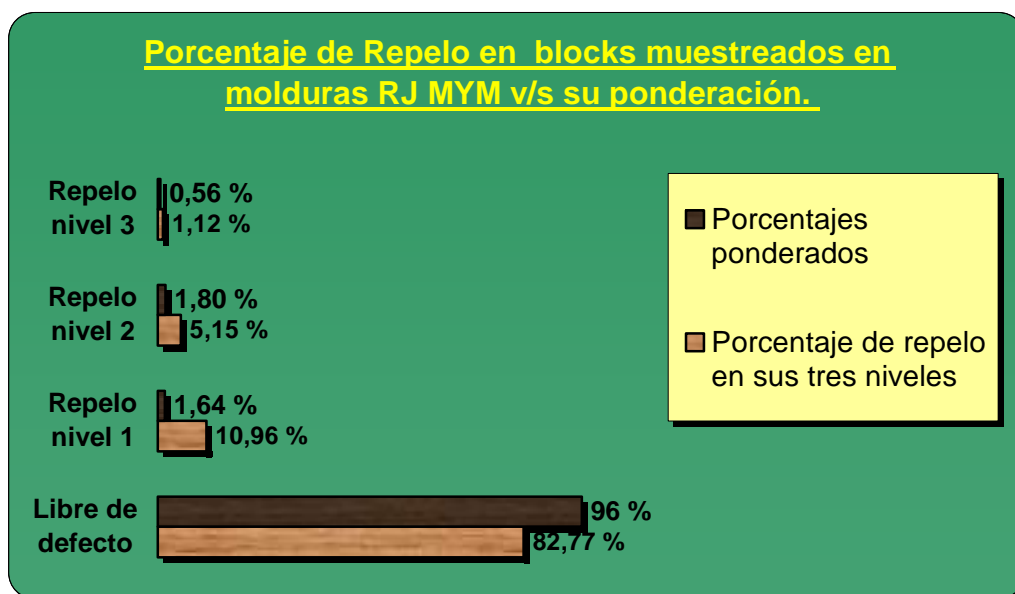


Figura 44: Proporción de repelo en sus distintos niveles v/s el porcentaje ponderado en el cual la suma total es de un 4 % de repelo.

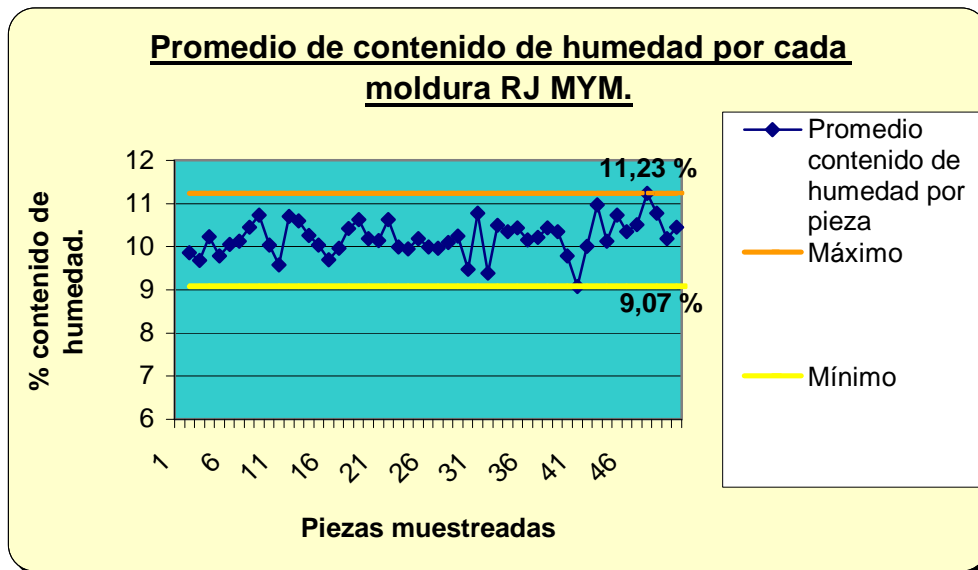


Figura 45: Promedios de contenido de humedad de los blocks de cada pieza.

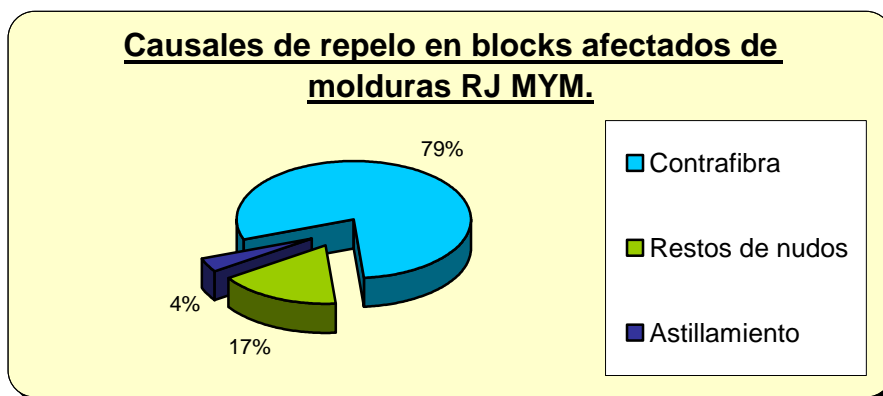


Figura 46: Causas que originan el repelo, según observaciones durante la medición.

En la tercera medición de repelo se registraron resultados muy similares a las dos mediciones anteriores de repelo, la proporción total en el perfil RJ MYM fue de un 4%, sin tener incidencia el contenido de humedad en la madera y siendo la principal causa del defecto el maquinado a contra fibra.

4.3.4 Consideraciones generales durante la medición de repelo

La primera observación durante la medición de repelo fue que este defecto no tiene un comportamiento uniforme debido a que sólo algunos blocks de las piezas se encuentran afectados, ni tampoco se observó una influencia de desgaste de herramienta ya que dicho defecto se presentaría en todo el largo de la pieza, además que corresponden a perfiles de baja demanda los cuales se producen en menores cantidades de paquetes, por lo cual es difícil medir el comportamiento del defecto en proporciones, a través del tiempo si la producción no es suficientemente grande.

La medición de contenido de humedad en la madera tampoco tuvo gran incidencia, ya que en sólo 3 blocks de toda la medición se halló una humedad

sobre el 12% y dichos blocks no tenían presencia de repelo, aunque no se descarta un contenido de humedad heterogéneo en las piezas muestreadas.

Otra observación durante el estudio fue la baja importancia que se le ha dado a ensayos de gradiente de humedad que deben ser exigidos del área secado; debido a que se le entrega demasiada confiabilidad al contenido de humedad que entrega el xilohigrómetro de contacto Wagner, siendo que éste entrega un promedio del contenido de humedad de la pieza y no indica si ésta está homogénea, es decir seca tanto en el centro de la pieza así como en las capas externas. Tener un buen resultado de gradiente de humedad, descartará la posibilidad de que existe endurecimiento en las capas exteriores que podrían facilitar la aparición de fibra encontrada o bien demasiada humedad en el centro de la pieza que podría generar repelo en ciertos cortes.

Para las tres mediciones realizadas de repelo la causa principal que provoca el defecto es el corte a contrafibra de algunos blocks también conocido como fibra inclinada, factor muy difícil de controlar ya que la madera de *Pinus radiata* de la Décima región presenta un gran porcentaje de madera de reacción, propiedad que facilita la aparición de la fibra inclinada. Otra de las causas fue los restos de nudos en la madera que vienen producto de un mal trozado a fin de obtener un mayor aprovechamiento de la materia prima, pero que sin duda genera un costo por reparación tanto por el repelo así como para la fibra encontrada.

4.4 Análisis químico de cuchillos perfiladores

Las aleaciones de los aceros encontrados en diversas marcas de cuchillos encontrados en el taller de afilado, fueron analizadas llevando muestras al microscopio electrónico de la Universidad Austral de Chile, estas muestras indicaron los siguientes resultados de los compuestos químicos, (Cuadro 8):

Cuadro 8: Análisis químico de aceros de cuchillos moldureros.

Marca del Acero	% Fe	% W	% C	% V	% Cr	% Mn	Mo	% P	% S	% O
	Hierro	Volframio	Carbono	Vanadio	Cromo	Manganeso	Molibdeno	Fósforo	Azufre	Oxígeno
Super Source	64,57	10,4	7,2	3,69	5,1	0,29	7,89			
Super Source	63,61	8,77	13,33	2,78	4,19	0,23	6,29			
Super Source	60,94	12,57	7,12	5,06	4,54		9,34			
Ilma	78,34	7,08	0,69	2,29	4,29	0,24	5,23			1,63
Ilma	79,98	6,62	0,82	2,53	4,38	0,26	4,76			
Ilma	75,77	9,5	0	3,13	4,36	0,28	6,95			
Hela	82,17	6,52	1,38	2,13	4,34	0,42			1,55	
Hela	79,54	7,3	2,74	2,32	4,29	0,27		0,26	1,67	
Hela	79,98	7,11	0	2,37	4,38	0,3	5,21			
Botol	73,25	17,69	0	1,29	4,3	0,38		0,67		
Botol	73,29	15,97	0,89	1,07	4,01	0,32				1,67
Botol	72,56	15,99	1,64	1,1	4,06	0,33			0,11	2,75
Botol	73,82	17,14	1,17	1,31	4,19	0,28		0,43		
Botol	73,02	16,67	1,84	1,24	4,17	0,42		0,9	0,13	
Italy al 18%	79,44	12,3	0,72	1,04	4,35					1,37
Italy al 18%	70,93	21,05	0,37	1,37	4,15	0,27			0,18	
Italy al 18%	83,79	9,57	0,52	1,03	4,24	0,24				

Marca del Acero	% Ni	% Sr	% Zr	% Ta	Al	% Ca	Br	Pb	Re
	Níquel	Estroncio	Circonio	Tántalo	Aluminio	Calcio	Bromo	Plomo	Renio
Super Source			0,46		0,44				
Super Source					0,55	0,24			
Super Source					0,43				
Ilma	0,21						0		
Ilma	0,23						0,43		
Ilma									
Hela				0,56				0,95	
Hela	0,32				0,26			1,03	
Hela	0,3				0,35				
Botol		1,93	0,49						
Botol		1,66	0,34	0,77					
Botol		1,08	0,36						
Botol		1,67							
Botol		1,6							
Italy al 18%									0,78
Italy al 18%			0,46						1,29
Italy al 18%									0,62

Para analizar el resultado del análisis químico se calculó el promedio de los principales compuestos químicos además de la desviación estándar de estos mismos, como se indica en los cuadros 9 y 10.

Cuadro 9: Promedios de compuestos químicos más relevantes para cada marca de cuchillo.

Marca	Fe	W	C	V	Cr	Mo	Sr
Super Source	63,0	10,6	9,2	3,8	4,6	7,8	0
Ilma	78,0	7,7	0,5	2,7	4,3	5,6	0
Hela	80,6	7,0	1,4	2,3	4,3	1,7	0
Botol	73,2	16,7	1,1	1,2	4,1	0	1,6
Italy al 18%	78,1	14,3	0,5	1,1	4,2	0	0

Cuadro 10: Desviación estándar de los compuestos químicos en la aleación de cada marca.

Marca	Fe	W	C	V	Cr	Mo	Sr
Super Source	1,9	1,9	3,6	1,1	0,5	1,5	0,0
Ilma	2,1	1,5	0,4	0,4	0,0	1,2	0,0
Hela	1,4	0,4	1,4	0,1	0,0	3,0	0,0
Botol	0,5	0,7	0,7	0,1	0,1	0,0	0,3
Italy al 18%	6,5	6,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0

Además del análisis químico se sacaron fotografías microscópicas de cada acero como se muestra en la siguiente figura:

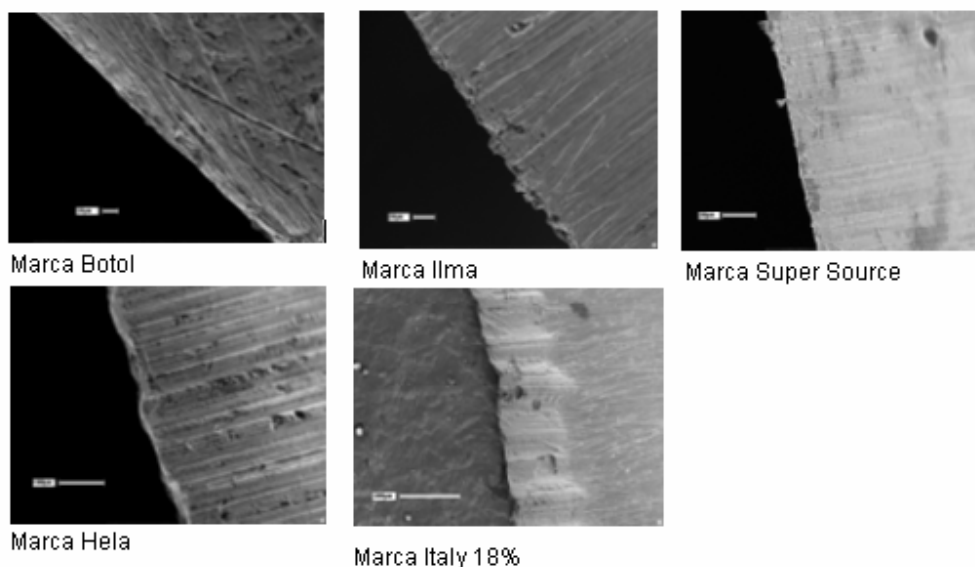


Figura 47: Fotografías microscópicas de cada muestra de cuchillos de distinta marca.

De las cinco marcas muestreadas que se encontraron en el taller de afilado, la marca más utilizada corresponde a la marca Botol, la cual además fue la que se usó durante el maquinado de los perfiles en estudio.

De acuerdo al marco teórico expuesto, los cuchillos para un maquinado a nivel industrial, deben contener principalmente volframio (tungsteno) en lo posible en un 19 %, además de Cromo, Molibdeno, Vanadio y Carbono. De las muestras analizadas, la marca Botol es la que se acerca mayormente a las especificaciones que debe tener químicamente un cuchillo de acero HSS, y cuenta con una baja desviación estándar en la aleación; sin embargo, el % de volframio, no es completamente el indicado para procesar durante varias horas de maquinado, ya que en ciertos perfiles como el WM 623 se procesan comúnmente un mínimo de 15 paquetes seguidos, lo cual implica por lo menos entre 8 a 9 horas de maquinado, periodo durante el cual es posible que los cuchillos sufran desgaste de la arista de corte.

5. CONCLUSIONES

Las molduras en base a madera de *Pino radiata*, en términos generales son de una buena calidad superficial, debido al buen comportamiento de esta madera frente al maquinado. Sin embargo, se presentan defectos en proporciones mínimas, los cuales fueron analizados a fin de encontrar las causas principales que los originan, y establecer propuestas de solución, ya que dichos defectos no se aceptan en el mercado internacional al cual se dirige.

Los resultados de los defectos estudiados tuvieron diferentes tendencias entre sí. La medición de fibra encontrada arrojó que en los niveles 1 y 2, la causal principal que genera el defecto es la eliminación de nudos de forma incompleta, es decir que los blocks procesados presentan secciones con restos de nudosidad, y por consecuencia con una diferencia de densidad y desviación de la fibra, lo cual genera dicho defecto. En el caso del nivel 3 se produce además de las causas mencionadas, por una diferencia de densidad entre madera temprana y tardía, en los anillos de crecimientos, acompañado de un desgaste del filo de la herramienta de corte.

El comportamiento de la fibra encontrada a su vez se midió en función del tiempo de maquinado, para lo cual resultó que para el perfil WM 623 el % promedio del defecto, de las muestras realizadas fue de un 4.5%, y en ambas mediciones se observó una leve tendencia al aumento de la proporción del defecto a partir de la tercera hora de maquinado aproximadamente, además se registraron porcentajes sobre el 4.5% de defecto tras un mayor tiempo de maquinado. En cuanto al SJ JIM, no presentó proporción de defectos sobre el límite de 4.5%, pero si tiene una leve tendencia a aumentar su proporción a través del tiempo de maquinado; este perfil se diferencia al anterior, principalmente, por el cabezal perfilador principal, el cual corresponde a un cabezal inferior.

Los de la medición de calamina arrojaron que para el defecto en nivel 1 y 2 se presenta en secciones de la pieza muestreada, se originan por desajustes de los cargadores y guías de la maquinaria, así como también los rodillos de alimentación, y se presenta notoriamente al inicio del maquinado de un determinado perfil; dependiendo cuanto demore el operador de la maquinaria en ajustar la moldurera. En cuanto a calamina en nivel 3 se presentó a lo largo de toda la pieza, siendo la principal causa, la falta de jointeo al inicio del maquinado, pero también, se puede presentar en forma continua, aun realizado el jointeo y los ajustes necesarios, lo que indica que la calamina se estaría produciendo debido a un desbalance de cuchillos, lo cual debe venir realizado del taller de afilado, y por el contrario, si no se ha realizado, generará gran cantidad de tiempos muertos.

La calamina a su vez fue medida en cuanto a su comportamiento en función del tiempo, para lo cual los resultados obtenidos, fueron que la calamina en nivel 3 se presenta con mayor frecuencia desde un inicio del maquinado, sin embargo, este defecto tardó aproximadamente entre 30 a 45 minutos en

desaparecer completamente, es decir el tiempo que tardó en regularse la moldurera, lo cual varía según la capacidades que tenga el operario para realizar los ajustes. Por otra parte, la frecuencia de calamina varió según las velocidades de alimentación que ocupa cada operario; resultó finalmente que a similares tiempos de regulación de la moldurera, pero con velocidades de alimentación menores el porcentaje de calamina fue de un 3%, mientras el operador que reguló la maquinaria a velocidad de alimentación mayores, se generó un porcentaje mayor de calamina, el cual fue de un 5.6%.

En los resultados de la medición de repelo, se observó que este no se genera en todo el largo de las piezas, sino que sólo en algunos blocks, para lo cual se determinó el porcentaje de repelo en base a la cantidad de blocks muestreados de las piezas observadas; el resultado obtenido en tres mediciones realizadas fluctuó de 3.78 a 4% de porcentaje de repelo ponderado (la suma ponderada de los tres niveles). Las causas observadas que generan dicho porcentaje tanto para nivel 1,2, y 3, fueron principalmente, el maquinado a contrafibra, en perfiles que presentan un ángulo recto en el largo de la pieza, en las tres mediciones realizadas esta causa fluctuó de 79 a 87%, mientras que otra causa fue el maquinado en secciones con resto de nudosidad el cual fluctuó entre 10 y 17% para las tres mediciones; finalmente la tercera causa observada fue restos de astillamientos las cuales se encontraban acompañadas de repelo, esta causa fluctuó de 3 a 5% de la medición general.

Una de las causas que puede generar repelo es el contenido de humedad sobre un 12%, por lo cual se midió el contenido de humedad de los blocks de las piezas observadas, sin embargo los resultados obtenidos mediante el xilohigrómetro de contacto Wagner, fue dentro de los rangos admitidos, sólo en tres blocks de toda la muestra se registró un contenido de humedad sobre 12%, pero dichos blocks no presentaban repelo, lo cual demuestra que no tuvo incidencia de dicho defecto.

Los resultados del análisis químico de las aleaciones de aceros que componen los cuchillos perfiladores arrojó que la marca Botol generalmente utilizada, contiene un promedio de Volframio de un 16.7% y una desviación estándar de un 0.7%, compuesto químico que otorga al cuchillo una mayor resistencia al desgaste; estos valores indican que si la desviación estándar es baja, significa que la aleación del acero es mucho más homogénea, mientras que el promedio de volframio indica, según bibliografía, que no es lo suficiente para una buena resistencia, ya que debería ser de un orden de 18 a 19% de volframio.

Una calidad de acero con mejor aleación sería una buena alternativa para disminuir defectos como fibra encontrada, la cual tiene una tendencia a aumentar por el desgaste de herramientas, por otra parte es una buena alternativa para disminuir los índices de repelo, lo cuales pueden tener un mejor comportamiento frente a cuchillos de mejor calidad y con un filo más constante.

6. BIBLIOGRAFIA

Aguilera A. 2006 Técnicas de Cepillado y Elaboración de Madera. Pág. (54-55) (152-160).

Aguilera A., Meausoone P. J., Martin P. 2000 Revista Bosque, Optimización de las condiciones de corte en el maquinado de madera. Estimación del desgaste del elemento de corte en fresado.

Barrantes D. s/f Cuchillos para afilar, cortar o perfilar **INTERNET:** <http://www.revista-mm.com/rev50/herramientas1.pdf> (marzo 15, 2007)

Diaz-Vaz J.E. 2003 Anatomía de la madera. Pág. 15 - 17

INFOR 1994 Manual de fresas y cuchillos para maderas N° 17 Pág.5-6, Pág. 104 -170.

INFOR 1989 Manual N° 16 Principios de organización y operación del aserradero

Koch P. 1972 Utilization of the southern pines- Agriculture Handbook N° 420. Volumen 2, 814-829.

Kollman F., Coté W. 1968. Principles of Wood Science and Technology , Springer Verlag.

Lemaster R. L., L.LU, S. Jackson. The use of process monitoring techniques on a CNC wood router. Part 2 Use of the vibration accelerometer to monitor tool wear and workpiece quality. Forest Prod, 2000 VOL 50 N° 9 Pág. 9.

Lopez A. 1991 Propiedades y Tecnología de la madera de Pino radiata del País Vasco, Pág. 11-35.

Millán S., Sándwich C., Larbaburu N., Enciclopedia Salvat s/f Acero, **INTERNET:** www.es.wikipedia.org/wiki/Acero#Usos_del_acero (Marzo 15, 2007)

Moya C. 1986 Documento técnico N° 18 Chile Forestal “Teoría de corte en la madera” .

MICHAEL WEINIG AG www.weinigusa.com

ASTM 1999 D1666 – 87, Standard methods for “Conducting Machining Test of Wood and Wood –Base Materials.” Pág.4-10.

Stolzenbach C., Aguilera A. 2000 Procesos de corte en el maquinado. Pág. 23 -24

Vega M. 2004. Tesis Comportamiento de Madera de Pinus radiata D.Don, frente a diferentes condiciones de fresado Pág. 4-28

Prat A. 2000. Métodos estadísticos, control y mejora de calidad. Pág. (66 – 83), (258 – 265).

ANEXOS

Anexo 1
Abstract

ABSTRACT

In Chile, the wood of radiata pine has excellent properties for manufacturing; however, it is always possible to find some small defects that will cause rejections in some export markets. Finger jointed Mouldings of radiata pine have a strong demand in the North American market, but they are only accepted with high quality levels.

The objective of this study was to determine the percentage of defects in a moulding production process. Studied defects were torn grain, knife marks, and fuzzy grain. It were also analyzed its causes and solution alternatives to diminish or eliminate this defects.

For each defect, a classification of deficiency levels was carried out according to ASTM D1666 (1999) standard. For doing so, various profiles were tested in the Tres Pinos manufacturing plant. Afterward, the percentage of each defect and its behavior according to the machining time was analyzed for torn grain and knife marks, while for fuzzy grain, samples were taken from stock to measure its frequency.

Results show that for torn grain one of the main causes is the intention to maximize material yield due to that in the trimming process knots are eliminated in a minimal cutting area, leaving blocks with rests of knotty surfaces. Furthermore, measures indicated that while the machining time increases the proportion of defects goes up, due mainly to cutting tools wear. This was verified by the final bevel of knives due to an excess of jointing.

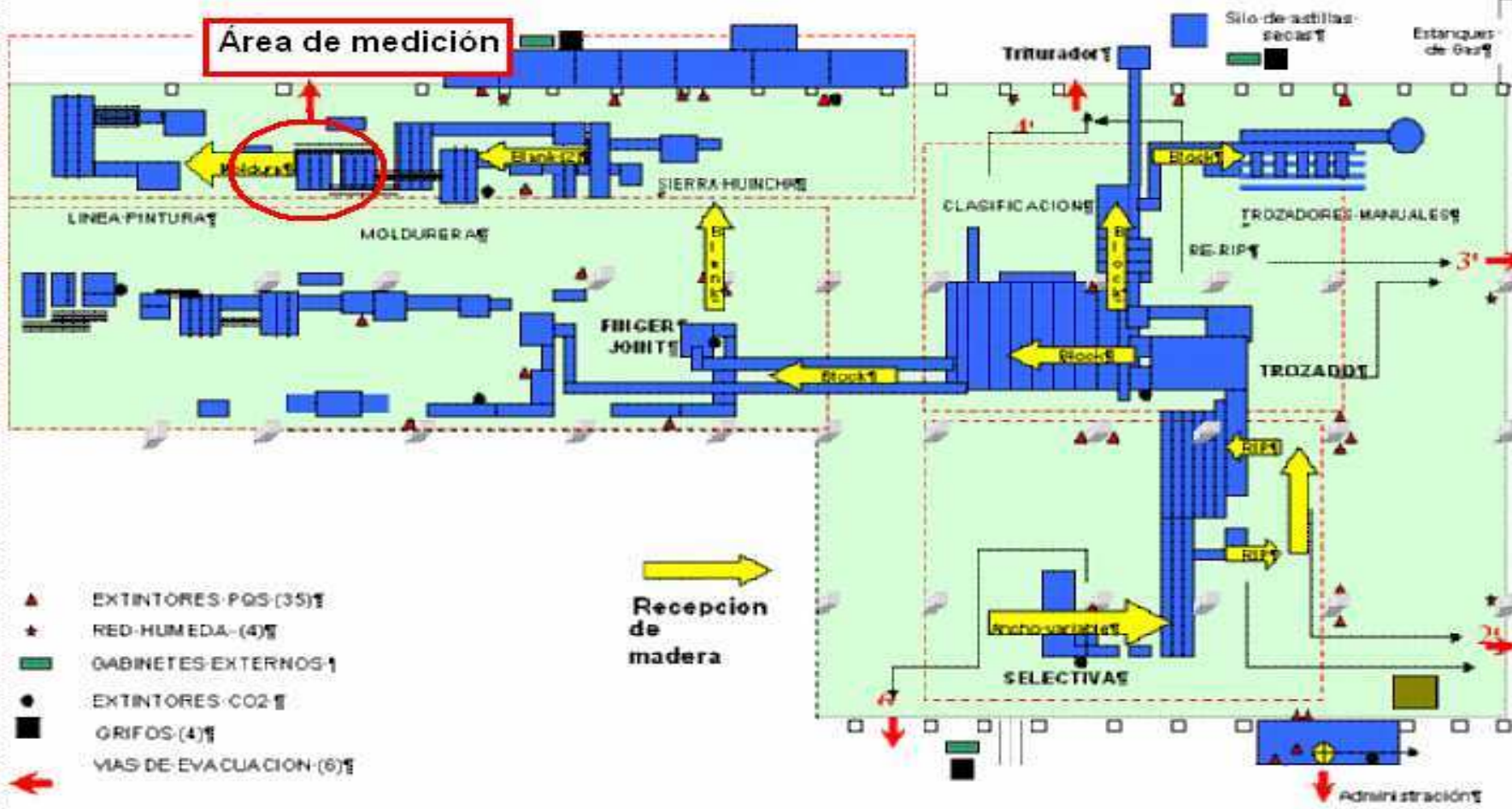
Results for the percentage of knife marks indicated that its behavior during the machining time was decreasing from beginning to end. It is assumed that this depends directly on the initial feeding speed used by the machine operator. A reduced initial speed produced fewer defects.

Finally, the fuzzy grain was present only in some of the pieces' blocks. To find an explanation the moisture content was measured, verifying that it did no have significant influence in the presence of the defect. It was concluded that the main cause for fuzzy grain was the machining in counter-fiber and in knotty surfaces also.

Key words: Mouldings, *Pinus radiata*, Torn grain, Fuzzy grain, Knife marks.

Anexo 2
Lay Out de la planta Manufactura Tres Pinos Ltda..

- Lay-Out Planta



- ▲ EXTINTORES PGS (35)
- ★ RED HUMEDA (4)
- GABINETES EXTERNOS (1)
- EXTINTORES CO2 (1)
- GRIFOS (4)
- ← VIAS DE EVACUACION (6)

Recepción de madera

Anexo 3
Valores de las proporciones de defectos

Tabla primera medición fibra encontrada en perfil WM 623

Numero de muestras	Piezas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción de piezas defectuosas nivel 1	Proporción de piezas defectuosas nivel 2	Proporción de piezas defectuosas nivel 3	Total porcentaje ponderado	Porcentaje de piezas afectadas	Periodo de medición de cada muestra
1	39	230	4,35	9,57	0	4,002	16,96	11:45 - 12:25
2	59	247	5,26	10,53	0,81	4,8795	23,89	12:30 - 13:00
3	53	267	5,62	10,49	0,75	4,8895	19,85	13:30 - 14:00
4	39	200	5,5	11	1	5,175	19,50	14:30 - 15:00
5	29	180	7,78	11,11	1,11	5,6105	16,11	16:15 - 16:45
Total ponderado						P= 4,9113	P histórico	5,11

Tabla segunda medición de fibra encontrada en perfil SJ JIM Escribe macho

Numero de muestras	Piezas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción de piezas defectuosas nivel 1	Proporción de piezas defectuosas nivel 2	Proporción de piezas defectuosas nivel 3	Total porcentaje ponderado	Porcentaje de piezas afectadas	Periodo de medición de cada muestra
1	34	437	4,35	3,43	0,00	1,9	7,8	11:00 - 11:30
2	22	277	2,89	5,05	0,00	2,2	7,9	11:40 - 12:15
3	49	371	4,85	7,82	0,54	3,7	13,2	12:45 - 13:15
4	28	257	1,95	8,17	0,78	3,5	10,9	13:45 - 14:15
5	53	410	4,39	7,80	0,73	3,8	12,9	14:30 - 15:00
Total ponderado P=						3,0	P histórico	5,11

Tabla tercera medición de fibra encontrada WM623

Numero de muestras	Piezas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción de piezas defectuosas nivel 1	Proporción de piezas defectuosas nivel 2	Proporción de piezas defectuosas nivel 3	Total porcentaje ponderado	Porcentaje de piezas afectadas	Periodo de medición de cada muestra
1	37	303	3,63	8,58	0,00	3,5	12,2	11:45 - 12:15
2	33	315	6,03	4,44	0,00	2,5	10,5	13:00 - 13:30
3	30	189	6,88	8,99	0,00	4,2	15,9	14:00 - 14:30
4	47	364	4,95	7,69	0,27	3,6	12,9	16:00 - 16:30
5	31	199	4,52	10,05	1,01	4,7	15,6	17:00 - 17:30
6	47	240	8,33	10,00	1,25	5,4	19,6	17:30 - 17:50
Total ponderado P=						4,0	P histórico	5,11

Tabla primera medición de Calamina en perfil JIM-ADAMS C56

Numero de muestras	Piezas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción de piezas defectuosas nivel 1	Proporción de piezas defectuosas nivel 2	Proporción de piezas defectuosas nivel 3	Total porcentaje ponderado	Porcentaje de piezas afectadas	Periodo de medición de cada muestra
1	17	80	0,00	2,50	18,75	10,3	21,3	16:15-16:25
2	12	110	2,73	0,00	8,18	4,5	10,9	16:30 - 16:40
3	7	140	0,00	0,00	5,00	2,5	5,0	16:40-16:50
4	2	160	0,00	0,00	1,25	0,6	1,3	16:50-17:00
5	0	160	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	17:10 - 17:20
6	0	320	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	17:30 - 17:50
total ponderado						P= 3,0	P histórico	3,54

Tabla segunda medición de Calamina en perfil JIM TRIMCO 411

Numero de muestras	Piezas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción de piezas defectuosas nivel 1	Proporción de piezas defectuosas nivel 2	Proporción de piezas defectuosas nivel 3	Total porcentaje ponderado	Porcentaje de piezas afectadas	Periodo de medición de cada muestra
1	15	55	0,00	9,09	18,18	12,3	27,3	16:15-16:19
2	18	85	0,00	7,06	14,12	9,5	21,2	16:30 - 16:35
3	15	105	0,00	14,29	0,00	5,0	14,3	16:40-16:45
4	25	210	11,90	0,00	0,00	1,8	11,9	16:50-17:00
5	5	210	2,38	0,00	0,00	0,4	2,4	17:00-17:10
6	0	210	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	17:20-17:30
total ponderado					P=	4,8	P histórico	3,54

paquete EM7: 252 piezas
 RJ Brosco 4 5/8-1 7/32- 7'
 PRIMERA MEDICION

contenido de humedad medida con xilohigrometro de contacto wagner

nivel 3
 nivel 2
 nivel 1

Pieza	Contenido de humedad de cada blocks												Observaciones	Observaciones	Observaciones	nivel 1	nivel 2	nivel 3	blocks	Promedio contenido de humedad por pieza
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
1	6,9	7	7,9	7	7,1	7,1	7,3	7,9						contrafibra				8	7,28	
2	6,5	7,9	6,9	5,8	7,3	7,8	7,3	6,4						contrafibra	contrafibra		1	8	6,99	
3	7	7,9	5,8	6,9	6,8	6	7,8	6,8						contrafibra			2	8	6,88	
4	7,4	5,8	5	7,8	6,8	7,1	5,6	5,5	5,8	7,4	7,3	6,1		contrafibra	contrafibra		1	12	6,47	
5	5,6	6,5	6,8	5,5	6,5	7,7	6,4	5,4	6,5					contrafibra			1	9	6,32	
6	6,8	7,4	7,5	5,8	6,9	6,7	6,1	6,8	7	6,7				contrafibra			1	10	6,77	
7	9,6	9,3	5,2	6	6,4	7,1								contrafibra			1	6	7,27	
8	7	7	6,9	7	9,9													5	7,56	
9	5,5	7,7	6	6,7	6,8	5,4	10	6,1	8,5					contrafibra	contrafibra		1	9	6,97	
10	7,3	5,8	7,4	5,8	9,2	6,4	7,5							contrafibra			2	7	7,06	
11	6,8	6,2	6,8	8,2	8,3	6,8	6,4							contrafibra				1	7	7,07
12	5,6	7,9	5,8	6,4	5,4	5,5	6,9							contrafibra	astillamiento			2	7	6,21
13	6,7	6,5	7	6	6,7	7,8	7,3							resto de nudosidad	contrafibra			1	7	6,86
14	5	6	6	7,5	6,8	7,7	7,8	5,8	6,4	5,2				contrafibra	contrafibra		1	10	6,42	
15	5,5	7,5	6,2	5,4	5,8	6,1	4,8	7,7	6,5					contrafibra			1	9	6,17	
16	8,8	7,7	7	8,3	9,7	7,3	7,3							contrafibra	astillamiento			2	7	8,01
17	8,8	7	6,2	6,8	7,1	7,8	6,7							contrafibra	contrafibra			1	7	7,20
18	7,5	8,2	7,8	6,8	7,3	7,3	5,8	6,9						contrafibra	contrafibra	resto de	2	1	8	7,20
19	6,2	7,1	6,5	5,8	7,1	6,5	6,1	6,5	6,5	6,2				contrafibra			1	10	6,45	
20	8,3	5,5	6,5	6,9	6,4	6,1	7,9	8,1						contrafibra	contrafibra		2	8	6,96	
21	5,8	7,5	6,7	6	7,3	7,8	6,5	5,6	7,5	5,8				contrafibra	contrafibra			1	10	6,65
22	5,4	7,8	7,1	7,4	9,2	7,4	8,4	6,7	6	5,4	6,7			resto de nudosidad				1	11	7,05
23	6,5	7,3	6,1	5,8	7,8	8,4	7	5,4	7,8	9				contrafibra	contrafibra	contrafibra	3	10	7,11	
24	6,9	8,1	8,8	5,8	6,1	6,9	7,7	6,2	6,8	6,1									10	6,94
25	5,4	8,8	5,4	5,5	5,8	9,9	5	7,9	6,5					contrafibra				1	9	6,69
26	5,4	5,1	6,9	4,8	5,6	7,5	7,9	5,5	6,8	5,6				contrafibra	contrafibra	contrafibra	2	1	10	6,11
27	7,5	7,3	8,1	4,7	5,5	6,2	5,2							contrafibra				1	7	6,36
28	6,4	6,2	5,8	5,1	7,3	6,2	5,1							contrafibra				1	8	5,26
29	6,9	6	5	8,1	6,5	6,2	6,2	7,5						resto de nudosidad				1	8	6,55
30	7,5	7,8	8,7	8,2	6,8	6	6,4	6,7	6,2	6,8	8,8								11	7,26
31	6,9	7,9	9,6	7,7	6,1	8,1	6							contrafibra				1	7	7,47
32	5,8	7,8	7,3	6,4	6	6,8	4,5	7,4						contrafibra				1	8	6,50
33	7,4	6,7	6,2	5,1	7,9	6,9	7,4							contrafibra				1	7	6,80
34	6,2	6,1	8,2	5,5	5,4	7,1	7,3												7	6,54
35	5	7,1	6,8	6,8	5,4	5,4	7,1	5,1											8	6,09
36	6,4	7,1	7,9	5	7,4	6,9	6,9	7						contrafibra				1	8	6,83
37	7,8	6,9	8,1	7,1	6,8	8,3	6,4							contrafibra				1	7	7,34
38	5	6	6,8	5,8	5,6	5,5	7,3	5,4	6	5,8				contrafibra				1	10	5,92
39	5,5	7,1	6,1	6,7	4,8	7,3	7,1							contrafibra	resto de nudosidad			1	7	6,37
40	7,5	11	9,9	7	9,2	7								contrafibra				1	6	8,60
41	6,5	7,1	7,7	6,2	6,1	7,3	5,8	6,5	6,8	5,4									10	6,54
42	8,3	4,6	4,8	6	5,4	6,5	7,9												7	6,21
43	7,5	8,8	7,3	6,4	6,9	8,3	9,8	7,4											8	7,80
44	6,1	7,3	6,1	6,5	5,8									contrafibra					6	5,30
45	6	6	9,4	7,1	6,2	5,8	6,7	5,4						contrafibra				1	8	6,58
46	7	7,7	5,1	6,2										contrafibra				1	4	6,50
47	6,5	5,5	6,7	7,7	7,9														5	6,86
48	5,6	6	4,7	6,1	6,5	8,8	5,8	5,2						resto de nudosidad				1	8	6,09
49	7,5	6,5	4,8	6,1	5,6	5,8	5,1							contrafibra	contrafibra			1	7	5,91
50	7,1	8,5	7,5	6,9	8,2	7,4	5,8	5	6,8	6,1				contrafibra				1	10	6,93

EM71518 132 PIEZAS contenido de humedad medida con xilohigrometro de contacto wagner nivel 3
 RJ MYM FECHA : 30/03/2007 nivel 2
 e=1 1/4" a=7 1/2" l=9 8/4' SEGUNDA MEDICIÓN nivel 1

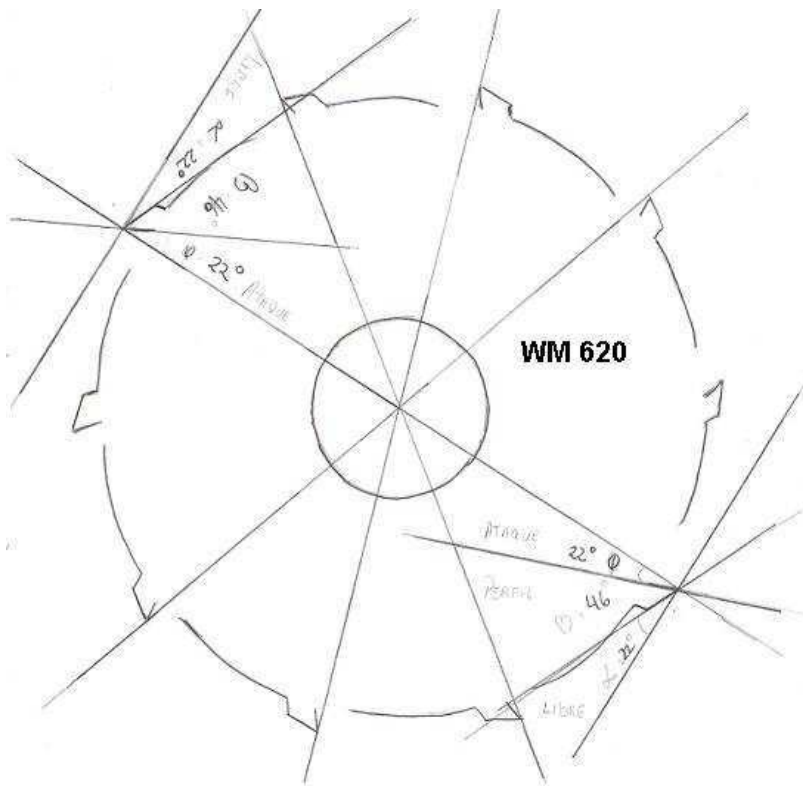
Pieza	Contenido de humedad de cada blocks										Observaciones	Observaciones	Observaciones	nivel 1	nivel 2	nivel 3	blocks	Promedio contenido
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
1	9,8	9,9	9,7	9	11	10,1					contrafibra			1			6	9,92
2	9,5	8,7	9,1	8,3	9,3	9,9											6	9,13
3	9,1	7,8	9,3	10,6	10,4	10,6	8,1										7	9,41
4	9,9	10,1	9,7	9,8	11	12,2	9,8	10,8			contrafibra			1			8	10,41
5	11,7	11	10,1	10,5	10	9,7	9	9,1			contrafibra			1			8	10,14
6	9,4	9,8	10,4	9,8	11	9,8	10,3	9,9			contrafibra			1			8	10,05
7	9,6	11,4	11	9,6	10,1	10,6	9,6	9,3			contrafibra			1			8	10,15
8	7,7	8,8	9,2	9,9	12	9	10,1	8,2	9,9		contrafibra	contrafibra		2			9	9,42
9	10,5	10,4	9,9	9,8	9,8	9,9	9,6	9,7	10,5		contrafibra	contrafibra		2			9	10,01
10	10	9,8	10,3	9	9,6	10,6	10,5	10,5			contrafibra				1		8	10,04
11	10,4	9,6	10,5	10,9	9,1	9	8,5	8,1	7,8								9	9,32
12	9,7	9,3	10,5	10,9	10,9	10,5	9,2				contrafibra	contrafib	contrafibra	1	1	1	7	10,14
13	10	9,1	9,2	10,1	10,3	9,4	9,4	8,8	9,6								9	9,54
14	8,7	8,3	8,2	8,8	9,2	10,1	9,1				contrafibra	contrafib	contrafibra	1		2	7	8,91
15	8,7	10,4	8,4	9,1	11,2	9,8	8,4										7	9,43
16	8,5	9,6	8,6	10	8,5	9,1	7,9	10,1									8	9,04
17	9,2	11,5	7,8	9	10	10,3	9,7				astillamiento	resto de nudo		1		1	7	9,64
18	8,2	10,5	11,1	9,2	9,9	10,1	9,1	9,4	9,7		contrafibra			1			9	9,69
19	9,9	9,6	9,1	9,1	9,8	9,9	9,8	10,3			contrafibra	contrafibra		2			8	9,69
20	9,6	9,1	11,2	11,6	10,3	10,1	11,1	9,32	11,4		contrafibra			1			9	10,41
21	9	9,8	8,7	8,4	9,3	10,1	8,4				resto de nudo				1		7	9,10
22	10,3	10,1	10,3	11	10,8	8,2	8,3	10,4	9,7		contrafibra	contrafibra			2		9	9,90
23	10,3	9,6	8,7	8,4	8,4	10,6	9,3	9,9			contrafibra	contrafibra		2			8	9,40
24	9	10,3	10,4	9	10,5	10,6	9				contrafibra	contrafib	contrafibra	3			7	9,83
25	9,1	9,5	9,3	9,3	8,8	9,9					resto de nud	resto de	contrafibra	1	2		6	9,32
26	9,2	7,7	8,5	8,8	9,3	9,1	8,2	9,9									8	8,84
27	9,8	8,7	8,5	9,3	8,8	8,7	10	10,5	9,4		astillamiento	contrafib	contrafibra		2	1	9	9,30
28	8,4	11	9,6	8,8	10,5	9,8	11	10,4			contrafibra			1			8	9,94
29	9,2	8,3	7,4	8,5	9,6	11,2	8,7	8,1			contrafibra	contrafibra			1	1	8	8,88
30	8,1	8,8	7,9	11,4	12,2						resto de nud	contrafibra		2			5	9,68
31	10,1	9,8	10,3	10,6	7,5	7,7	7,1				contrafibra			1			7	9,01
32	10	9,1	10,8	9,2	8,7	9,8	10,4	9,4			astillamiento	contrafibra		1	1		8	9,68
33	9,4	10	9,6	9,6	9,7	11	11,2	10,8			contrafibra	contrafibra		2			8	10,16
34	10,9	10,4	8,4	10	9	8,7	8,4				contrafibra	contrafibra		2			7	9,40
35	9,6	9,9	8,4	9,7	9,9	7,9	9,7	9,6			contrafibra			1			8	9,34
36	9,2	8,1	8,5	9	10,4	10,4	9,3	11,4	10,8		contrafibra			1			9	9,68
37	9,6	8,7	9,4	8,7	8,1	8,3	9,6	9,6	9,8	7,9	contrafibra				1		10	8,97
38	9,2	8,7	11	9,4	9,1	9,4	9,8	7,9			contrafibra	contrafib	contrafibra	3			8	9,31
39	9,9	9,4	7,7	10,3	12,1	9,6	9,4	8,3	9,2		contrafibra	contrafib	contrafibra	3			9	9,54
40	8,5	9,1	9,3	8,5	9,9	10,5	10,5	11			contrafibra	contrafibra		2			8	9,66
41	9,4	9	8,8	8,2	8,8	9,6	8,7	9,2			contrafibra			1			8	8,96
42	10,5	9,9	10,3	8,4	11	10,6	10,8										7	10,21
43	8,4	9,3	9	11,2	9,1	10						resto de nudo			1		6	9,50
44	9,4	10	10,1	9,4	9,3	9,7	9,9				contrafibra	contrafibra		2			7	9,69
45	10,5	9,9	10,3	10	8,5	11	10,4										7	10,09
46	9,2	10,1	10,1	8,5	9,5	11,6	9	9,3									8	9,66
47	11,5	9,3	9,7	9,8	9	8,7	9,2	9,3			contrafibra			1			8	9,56
48	10,3	9,2	9,3	10,4	7,4	8,1	9,1				resto de nudo			1			7	9,11
49	10,5	9,3	10,9	10,1	9,8	8,8	10,8										7	10,03
50	9,2	8,7	10,1	7,8	9,8	8,5	10,2				contrafibra			1			7	9,19

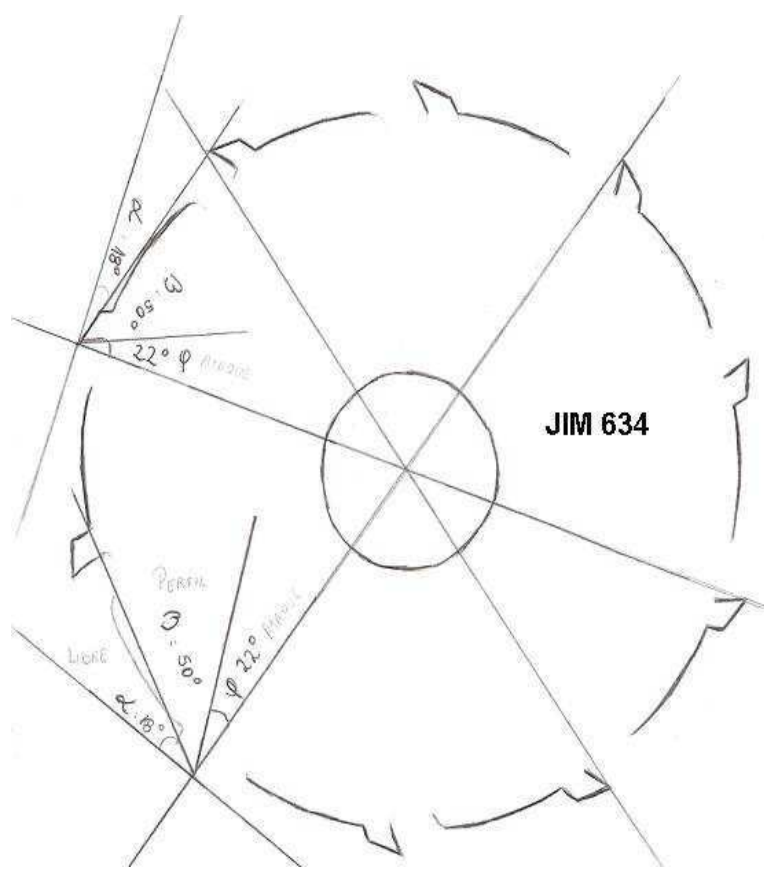
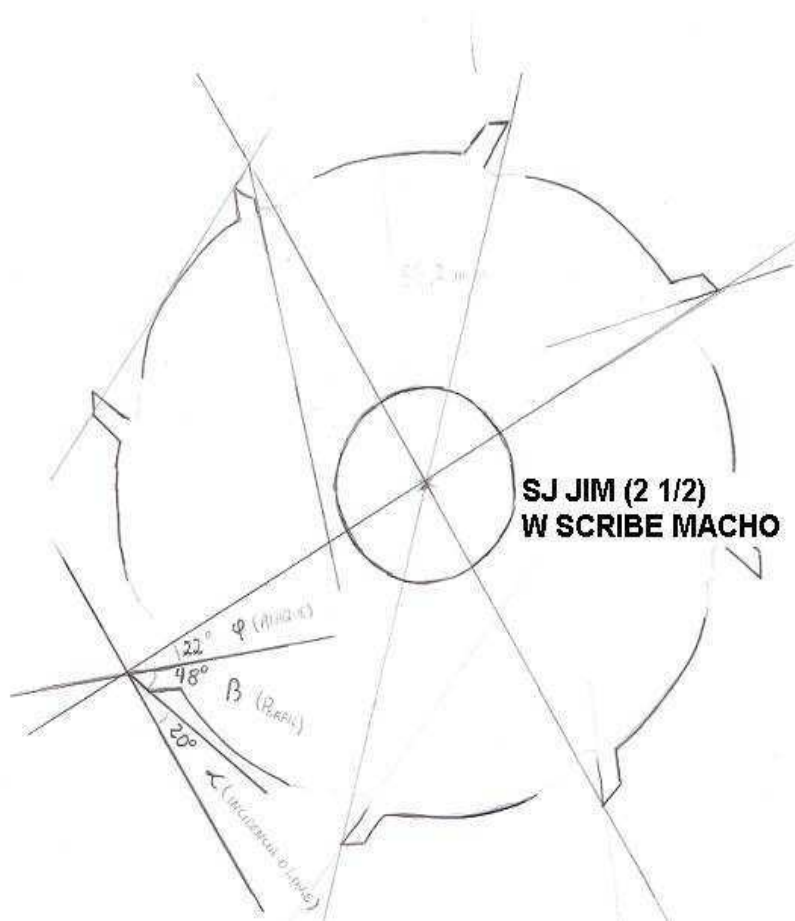
EH33410 162 piezas contenido de humedad medida con xilohigrometro de contacto wagner
 RJ MYM Fecha 04-04-2007
 e=1 1/4" a=7 1/2" l=9 8/4' TERCERA MEDICIÓN

nivel 3
 nivel 2
 nivel 1

Pieza	Contenido de humedad de cada blocks												Observaciones	Observaciones	Observaciones	nivel 1	nivel 2	nivel 3	blocks	Promedio contenido de humedad por pieza	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									
1	10,3	9,4	8,3	10,1	9,8	11,2												6	9,85		
2	9,3	9,2	10,1	9,4	10,5	10,8	10	9,4	9,7	9,3	8,8			contrafibra	contrafibra		2	11	9,68		
3	11,1	11,2	10,5	10,3	10	9,9	10,9	10,4	9,4	9,2	10,6	9,2		contrafibra	contrafibra	resto de nudo	2	1	12	10,23	
4	9,2	10	10,6	10,5	8,4	10,8	9,3	8,8	9,9	10,3				contrafibra	contrafibra		2		10	9,78	
5	9,6	10,1	9,3	11,6	9,1	10,5	10,5	10	9,8					resto de nudo				1		9	10,06
6	9,7	9	10,5	10,5	10,5	9,7	10	10,5	11	9,9	10			contrafibra	contrafibra		1	1	11	10,12	
7	9,2	9	10,8	10,3	11,9	10,6	10	11	10,6	10,6	11,6	9,8		contrafibra	contrafibra	resto de nudo	2	1	12	10,45	
8	11,6	11,4	10	9,5	10,5	9,1	10,9	12,8						contrafibra	contrafibra			1		8	10,73
9	11,5	10,3	9,1	10,4	11,7	9,9	9,4	9,2	8,8					contrafibra	contrafibra		1	1	9	10,03	
10	9,3	10,9	9,3	10,3	10,3	8,4	8,5													7	9,57
11	11,5	11,4	10,9	10,4	10	10,3	10,5	9,8	9,8	11,1	12			contrafibra	contrafibra		2		11	10,70	
12	10,1	10,6	11	11,5	9,2	10,6	10,9	11,1	10,3	11,6	9,9	10,3		contrafibra	contrafibra	contrafibra	3		12	10,59	
13	9	10,6	10,8	10,3	10,9	10,3	9,9							contrafibra	resto de nudo		2		7	10,26	
14	9,7	10,6	9,4	9,8	9,1	10,8	10,8							contrafibra	contrafibra	astillamiento	2	1	7	10,03	
15	9,4	11,6	10	9,2	9,9	8,8	9,4	9,3						contrafibra	resto de nudo	contrafibra	1	1	1	8	9,70
16	10,1	9,6	9,3	10,4	9,7	9,8	10,8							resto de nudo				1		7	9,96
17	11,2	10	10,8	10,3	11,4	10,9	8,3							contrafibra				1		7	10,41
18	10,4	9,8	11,4	11,6	11,2	10,4	9,6							contrafibra	contrafibra		2		7	10,63	
19	11	11,9	11,7	10,3	8,1	8,8	10	10,6	9,9	10,3	10	9,6		contrafibra	contrafibra	resto de nudo	3		12	10,18	
20	10,5	9,4	9,4	9,7	9,7	11,1	10,4	10,1	9,7	10,9	11,9	8,8		contrafibra	contrafibra	resto de nudo	1	1	1	12	10,13
21	10	11,5	10,5	10,3	12,8	9,3	10,1	10,5						contrafibra	contrafibra		1	1		8	10,63
22	9,3	10,1	9,9	9,8	9,6	9,3	10,9	11						contrafibra	contrafibra	contrafibra	3		8	9,99	
23	10,1	9,2	10	10	8,5	10,3	10,5	11						contrafibra	contrafibra		2		8	9,95	
24	10,6	9,1	9,7	11,6	9,6	9,6	10	11,2						contrafibra	contrafibra			1		8	10,18
25	9,3	10	10,3	9,8	10,1	10,4														6	9,98
26	11,2	9,2	9,8	10,1	9,8	9,7														6	9,97
27	8,5	10,8	10,5	11,2	10	10,3	9,7	11,2	10,5	9,1	9,7	9,6		contrafibra			1		12	10,09	
28	10,4	11	10,3	10,3	9,9	9	10,8													7	10,24
29	9,8	9	9,7	10,1	8,8									astillamiento				1		5	9,48
30	10,1	9,9	11,2	11,6	10,5	10,5	10,3	9,7	11	12,4	11,5	10,5		contrafibra	contrafibra		2		12	10,77	
31	9,2	9,3	9,9	9,1	9,1	9,1	9,6	9,8	8,8	10				contrafibra					1	10	9,39
32	8,7	11,2	11,2	9,9	9,7	11,4	11,4													7	10,50
33	11	11,1	9,7	10,5	10,3	10	9,8													7	10,34
34	9,9	10,5	10,5	10,5	9,4	9,3	10,9	11,5	10,4	10,8	11									11	10,43
35	8,9	10	9,8	9,7	11,6	11,4	11,1	10	9,3	9,1	10,5	10,4		contrafibra				1		12	10,15
36	9,4	10,6	10,3	10	9,2	10,9	11,6	10,1	10,9	9,9	10,6	9,1		resto de nudo				1		12	10,22
37	9,3	10,8	11,4	10,5	10,6	10								contrafibra	astillamiento			2		6	10,43
38	9,8	9,6	10,6	9,3	12,4															5	10,34
39	10,3	10,3	9,8	9,9	9,3	9	10,5	10,1	9,9	8,8				contrafibra	contrafibra			2		10	9,79
40	8,7	10,8	9,3	10,1	8,8	8,7	8,4	9,3	7,5					contrafibra	resto de nudo		2		9	9,07	
41	10	9,2	9,7	10,5	10,6															5	10,00
42	10,8	11	11,7	11,6	11,6	11,5	10,1	10,5	10,9	11,5	9,8	10,5		resto de nudo				1		12	10,96
43	9,2	9,1	10,9	12	11	10,6	8,8	8,7	9,4	10,9	10,8	10,1		contrafibra	contrafibra	resto de nudo	2	1	12	10,13	
44	10,5	10,5	11,4	10,5	10,5	10,1	10,3	10,5	10,8	11,6	10,8	11,2		contrafibra	contrafibra	contrafibra	2	1	12	10,73	
45	10,1	10,4	10,5	10,1	10	9,9	10,8	10,8	10,3	10,8	10,4	10,1		contrafibra	resto de nudo		1		1	12	10,35
46	10,5	9,8	9,9	9,2	11,6	12								contrafibra	contrafibra		1	1	6	10,50	
47	11,6	11,1	11,9	11,2	12,3	12,6	11,2	9,2	9,6	11,5	11,5	11		contrafibra			1		12	11,23	
48	10,5	11,2	10,5	11,5	10,1	10,8								contrafibra					1	6	10,77
49	10	9,9	11,1	10,4	9,4	9,6	10,9							contrafibra	contrafibra	contrafibra	3		7	10,19	
50	10,9	9,7	10,9	11,6	10,3	9,3								contrafibra			1		6	10,45	

Anexo 4
Método de cálculo de geometría de cuchillos





Anexo 5
Componentes químicos y sus propiedades, para aceros de cuchillos de tipo HSS.

Aluminio	Se utiliza básicamente como desoxidante en elaboración del acero.
Azufre	Se considera un elemento perjudicial en las aleaciones de acero y, por tanto, se considera una impureza. Sin embargo, su presencia es positiva para mejorar la maquinabilidad en los procesos de mecanizado. Cuando el porcentaje de azufre es alto puede causar
Carbono	Es un elemento clave en el acero; su porcentaje varía del 0,01% al 1,5%, de unos tipos de acero a otros. El carbono es el elemento responsable de dar la dureza y la resistencia del acero.
Boro	Logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado.
Cobalto	Muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. El cobalto es un elemento poco habitual en los aceros.
Cromo	Es un elemento clave para crear acero inoxidable; también se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.
Fósforo	Se considera un elemento perjudicial en los aceros, porque reduce la ductilidad y la tenacidad, haciéndolo quebradizo; sin embargo, a veces se agrega para aumentar la resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.
Manganeso	Se usa para desoxidar el acero y para aumentar su capacidad de endurecimiento en el temple.
Molibdeno	Es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidables austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.
Nitrógeno	Se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.
Níquel	Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El níquel se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.
Plomo	Se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.
Silicio	Aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.
Titanio	Se usa para estabilizar y desoxidar el acero.
Tungsteno	También conocido como wolframio, se añade para fabricar acero rápido, porque soporta muy bien las altas temperaturas.
Vanadio	Forma parte del acero de herramientas porque aumenta la capacidad de endurecimiento.
Zinc	Es elemento clave para producir chapa de acero galvanizada