



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Cinemática del proceso de fresado de *Acacia melanxylon* R. Br. Su efecto sobre calidad superficial y consumo de energía**

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera.  
Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para optar  
al Título de **Ingeniero en Maderas.**

**PAUBLA LUZ CÁRDENAS CÁRDENAS**

VALDIVIA  
2006

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<i>Nota</i>
Patrocinante:	Sr. Alfredo Aguilera León	<u>64</u>
Informante:	Sr. Juan Eduardo Diaz-vaz.	<u>49</u>
Informante:	Sr. Aldo Rolleri Saavedra	<u>50</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 León

## **AGRADECIMIENTOS.**

En toda mi carrera universitaria y la conclusión de esta tesis, ha habido personas que merecen todo mi agradecimiento por apoyarme en mis años de estudio y también hay quienes la merecen por haber plasmado su presencia en mi vida.

En primer lugar a mi mamá por su apoyo incondicional durante todos los momentos de mi vida, por su cariño y su confianza.

A mis tíos (en especial a mi tío Carlitos), tías, abuelita y a mis primas (Sylvana y Rocío) y primos, por estar siempre apoyándome y por sus buenos consejos.

A Moisés por su amor, apoyo y comprensión que me ha brindado.

A mis grandes amigas (Jirleska y Delia) por todos los momentos compartidos. Gracias por los buenos y malos momentos, por aguantarme y escucharme en todo el tiempo que compartimos juntas.

También agradecer a mi profesor patrocinante y profesores informantes por ayudarme en la realización de este estudio.

A mi mamá con todo el amor que ella merece.

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÒN</b>	<b>1</b>
1.1 <b>Objetivo del proyecto</b>	<b>3</b>
1.2 <b>Objetivos específicos</b>	<b>3</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Fresado</b>	<b>4</b>
2.1.1 Cabezal convencional	5
2.1.2 Cabezal hidrocentrado	5
<b>2.2 El aroma australiano</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Energía de corte</b>	<b>9</b>
2.3.1 Espesor de viruta	9
<b>2.4 Variables que afectan la rugosidad y la energía de corte</b>	<b>10</b>
2.4.1 Variables relacionadas con el material maquinado	10
2.4.2 Variables relacionadas con las condiciones de trabajo	10
2.4.3 Variables propias de la herramienta de corte	11
<b>2.5 Emisión acústica</b>	<b>12</b>
2.5.1 Proceso de medición de la emisión acústica	13
2.5.2 Parámetros de la emisión acústica	15
<b>2.6 Rugosidad superficial</b>	<b>15</b>
2.6.1 Principio de rugosidad por contacto	15
2.6.2 Parámetros de rugosidad	16
<b>2.7 Humectabilidad</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERIAL Y METODO</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Material</b>	<b>19</b>
3.1.1 Madera	19
3.1.2 Equipos e instrumentos	19
3.1.2.1 Portaprobeta	19
3.1.2.2 La máquina	20
3.1.2.3 Herramientas de corte	21
<b>3.2 Metodología</b>	<b>21</b>
3.2.1 Medición de la densidad entre albura y duramen	21
3.2.2 Medición de la Emisión acústica	22
3.2.3 Medición de la rugosidad superficial	22
3.2.4 Medición de la humectabilidad de la superficie.	22

3.2.5	Análisis de las condiciones anatómicas después del maquinado.	23
<b>3.3</b>	<b>Diseño experimental</b>	23
3.3.1	Condiciones de corte, medición de EA y rugosidad superficial	23
<b>3.4</b>	<b>Análisis estadístico</b>	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	27
<b>4.1</b>	<b>Emisión acústica</b>	27
4.1.1	Relación entre emisión acústica y albura y duramen	27
4.1.2	Relación entre emisión acústica y velocidad de rotación	27
4.1.3	Relación entre emisión acústica y tipo de cabezal	28
4.1.4	Relación entre emisión acústica y velocidad de avance	29
4.1.5	Efecto del espesor de viruta en la emisión acústica para madera de albura – duramen en dos diferentes tipos de cabezales	30
4.1.5.1	4200 RPM	30
4.1.5.2	6000 RPM	31
<b>4.2</b>	<b>Rugosidad superficial</b>	33
4.2.1	Relación entre rugosidad superficial y albura- duramen	33
4.2.2	Relación entre rugosidad superficial y velocidad de rotación	33
4.2.3	Relación entre rugosidad superficial y tipo de cabezal	34
4.2.4	Relación entre rugosidad superficial y velocidad de avance	35
4.2.5	Efecto del espesor de viruta en la rugosidad superficial para madera de albura y duramen u según tipo de cabezal	36
4.2.5.1	4200 RPM	36
4.2.5.2	6000 RPM	38
<b>4.3</b>	<b>Relación entre rugosidad superficial y humectabilidad</b>	39
<b>4.4</b>	<b>Como afecta la Velocidad de corte y el Tipo de cabezal en las características anatómicas de la especie</b>	41
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	44
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	46
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Cabezal convencional	5
Figura 2. Cabezal hidrocentrado	6
Figura 3. Direcciones de corte en la madera	8
Figura 4. Trabajo en oposición	11
Figura 5. Trabajo en concordancia	11
Figura 6. Definición de ángulos de trabajo	12
Figura 7. Proceso general de la emisión acústica	14
Figura 8. Irregularidades producidas en la superficie maquinada	16
Figura 9. Mediciones de rugosidad superficial	17
Figura 10. Medida de los ángulos de contacto entre el líquido y la superficie	17
Figura 11. Forma de las probetas para medición de EA y Rz	19
Figura 12. Portaprobeta	20
Figura 13. Máquina tupí	20
Figura 14. Cabezal convencional Z=4	21
Figura 15. Cabezal hidrocentrado Z=6	21
Figura 16. Sensor piezoeléctrico	22
Figura 17. Rugosímetro Mitutoyo SJ - 201	22
Figura 18. Relación entre emisión acústica y albura - duramen	27
Figura 19. Relación entre emisión acústica y velocidad de rotación	28
Figura 20. Relación entre emisión acústica y tipo de cabezal	28
Figura 21. Relación entre emisión acústica y velocidad de avance	29
Figura 22. Relación entre espesor de viruta y EA - 4200 RPM (C.conv.)	30
Figura 23. Relación entre espesor de viruta y EA - 4200 RPM (C.hidro.)	31
Figura 24. Relación entre espesor de viruta y EA - 6000 RPM (C.conv.)	32
Figura 25. Relación entre espesor de viruta y EA - 6000 RPM (C.hidro.)	32
Figura 26. Relación entre rugosidad superficial y albura- duramen	33
Figura 27. Relación entre rugosidad superficial y velocidad de rotación	34
Figura 28. Relación entre rugosidad superficial y tipo de cabezal	35
Figura 29. Relación entre rugosidad superficial y velocidad de avance	36
Figura 30. Relación entre espesor de viruta y Rz - 4200 RPM (C.conv.)	37
Figura 31. Relación entre espesor de viruta y Rz - 4200 RPM (C.hidro.)	37
Figura 32. Relación entre espesor de viruta y Rz - 6000 RPM (C.conv.)	38

Figura 33.	Relación entre espesor de viruta y Rz - 6000 RPM (C.hidro.)	38
Figura 34.	Relación entre rugosidad superficial y humectabilidad (C.conv)	39
Figura 35.	Relación entre rugosidad superficial y humectabilidad (C.hidro)	40
Figura 36.	Fotografía albura 4200 RPM - 11 m/min (C. hidrocentrado)	41
Figura 37.	Fotografía duramen 4200 RPM - 11 m/min (C. hidrocentrado)	41
Figura 38.	Fotografía albura 6000 RPM - 4 m/min (C. hidrocentrado)	41
Figura 39.	Fotografía duramen 6000 RPM - 4 m/min (C. hidrocentrado)	41
Figura 40.	Fotografía albura 4200 RPM - 11m/min (C.convencional)	42
Figura 41.	Fotografía duramen 4200 RPM - 11m/min (C.convencional)	42
Figura 42.	Fotografía albura 6000 RPM - 4 m/min (C.convencional)	42
Figura 43.	Fotografía duramen 6000 RPM - 4 m/min (C.convencional)	42
Figura 44.	Vista del filo de cuchillo con microscopio electrónico (1)	43
Figura 45.	Vista del filo de cuchillo con microscopio electrónico (2)	43

## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Valores obtenidos de densidad	21
Cuadro 2	Condiciones de corte	23
Cuadro 3	Diseño experimental del cabezal convencional	24
Cuadro 4	Diseño experimental del cabezal hidrocentrado	24



## RESUMEN EJECUTIVO

La industria forestal es la segunda generadora de divisas para el país y la segunda basada en un recurso forestal renovable. A lo largo de los últimos 15 años, ha generado aproximadamente el 13% del total anual de los retornos por exportaciones que realiza Chile.

El crecimiento demográfico y el aumento de los ingresos se traducirán en un incremento en la demanda de productos y recursos forestales y la disminución de los recursos constituye un poderoso incentivo para que la industria forestal utilice nuevas especies promisorias, para obtener productos de buena calidad con mayor valor agregado y hacia mercados cada vez más exigentes.

Una especie que está entrando recientemente en nuestro país, es el aramo australiano, el cual ha sido utilizado en numerosos estudios, posee buenas características, ya que tiene un rápido crecimiento, sus productos son de buena calidad por tanto tienen un alto nivel comercial.

Los realizados han arrojado nuevos conocimientos acerca de la especie, sin embargo existe un desconocimiento de cómo debe maquinarse esta madera, para poder obtener buenos resultados.

Por tal razón, el objetivo de este estudio es analizar cuál es el efecto del maquinado de dos tipos diferentes de cabezales (Convencional e Hidrocentrado) en madera de albura y duramen, en la emisión acústica y rugosidad superficial.

La energía de corte se midió por medio de la emisión acústica y la rugosidad superficial por medio del método de contacto utilizando el perfil Rz para su medición.

Los resultados del estudio fueron los siguientes:

- Aumento de la emisión acústica al ir aumentando los espesores de viruta.
- La rugosidad fue mayor a medida que aumenta la velocidad de avance y decreció a medida que aumento la velocidad de rotación.
- Se obtuvo menor gasto de energía y menor rugosidad superficial con el cabezal hidrocentrado.
- En las diferencias entre albura y duramen indican un mayor gasto de energía para el duramen, pero obtuvo una menor rugosidad superficial en comparación con la albura.

Palabras claves: Aramo Australiano, maquinado, cabezal convencional, cabezal hidrocentrado.

## 1. INTRODUCCION

La búsqueda de nuevas especies forestales de interés económico ha sido una de las preocupaciones del sector forestal chileno, en más de tres décadas de investigación aplicada en materias de silvicultura, manejo, aprovechamiento forestal y producción industrial. Se seleccionan especies que cumplan con requisitos de alta productividad, rápido crecimiento y adaptación a distintas condiciones climáticas presentes en el país.

La especie *Acacia melanoxylon* ha sido plantada en muchos países, con variados resultados, tiene una gran demanda en países como Australia Nueva Zelanda y Sudáfrica. En Chile ha presentado una excelente adaptación desde la VII a la X regiones, con desarrollos muy buenos en sitios forestales. Aún cuando se desconocen antecedentes silviculturales de la especie en Chile, se considera que tiene un gran potencial, por el desarrollo que alcanza y por la calidad de la madera que produce. Se recomienda su plantación en áreas con más de 1.000 mm de precipitación. Crece bien en lugares pantanosos. Esta especie tiene un gran potencial para muebles, madera laminada, etc.

En la actualidad el problema fundamental en la industria de madera, es que se enfrenta a una alta competencia en el mercado, obligando que los planes de producción se orienten a la optimización de sus recursos. Por esta razón se deben tener en consideración dos aspectos muy importantes, uno la mano de obra y el otro la optimización de las materias primas y las herramientas a utilizar en el proceso de maquinado. En este último aspecto existe un desconocimiento de los rangos adecuados para las condiciones del corte con el objeto de lograr un correcto maquinado. Este problema está dado principalmente por la heterogeneidad de la madera, y la característica de mayor incidencia es la anisotropía de la madera (sus componentes tienen distintas direcciones), las grandes variaciones de la densidad, anchos de los anillos anuales y ángulos de las fibras dentro de una misma pieza de madera y entre piezas del mismo árbol. Todas estas variables afectan fuertemente los resultados en términos de la potencia de corte, esfuerzos de corte y la calidad superficial.

Dentro de los parámetros de corte que se pueden medir y ajustar, para obtener productos con buenos índices de calidad superficial, se encuentra la velocidad de corte y avance, reguladas en función del espesor de viruta como parámetros inherentes al proceso, y principalmente la densidad y humedad de la madera como parámetros asociados al material a procesar.

El consumo de energía se presenta como una curva donde para cierto rango del espesor de viruta esta es mínima. Sin embargo, si el espesor de viruta se encuentra fuera de esta zona, los consumos de energía y, por tanto, los requerimientos de potencia de corte aumentarán de una manera exponencial.

Otros estudios indican claramente que existe una relación entre el espesor de viruta y la rugosidad superficial obtenida, siendo esta relación de tipo proporcional. Una muy buena correlación es obtenida con espesores de viruta pequeño y rugosidad superficial baja, sin embargo estas condiciones generan un alto consumo de energía y una disminución en la vida útil del elemento de corte. La rugosidad superficial está directamente relacionada con el uso de la pieza. Un efectivo control de la rugosidad superficial de la madera permite, por ejemplo, asegurar un correcto ensamblaje y encolado de las partes y piezas de muebles.

El tipo del maquinado determina la calidad del acabado final lo que influencia directamente los costos. El principal indicador de calidad en maquinado es la rugosidad superficial.

La optimización del maquinado puede medirse a través de sensores de emisión acústica (EA). Varios trabajos indican el uso de EA en el monitoreo de herramientas de corte y procesos de maquinado. Los procesos de maquinado producen ondas de estrés que se propagan a través de la pieza de trabajo y la máquina. Estas ondas producen señales acústicas que dependen de parámetros inherentes a la herramienta, deformación plástica en la zona del corte, formación de viruta y el impacto de la viruta en la pieza (Lemaster, 2000).

## **1.1 Objetivos del proyecto**

### 1.1.1 Objetivo general del proyecto

Determinar el efecto de la cinemática de corte sobre la calidad superficial y el consumo de energía en Acacia melanoxylon.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1- Evaluar el efecto de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial y la emisión acústica en dos tipos de herramienta de corte.

2- Analizar el impacto del cambio de las condiciones de maquinado en la calidad superficial a nivel anatómico entre un cabezal convencional y un hidrocentrado.

3- Medir la humectabilidad de la superficie resultante.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Fresado

Las fresas son unos sólidos de revolución que tienen, uniformemente repartidos sobre su superficie, unas cuchillas llamadas dientes, que se clavan en manera intermitente en la pieza que se trabaja. Están constituidas por numerosas cuchillas de cepillar colocadas radialmente y a intervalos iguales sobre un plato, de tal manera que un diente empieza a cortar el material en el momento que el que le precede se separa de la pieza, también puede ser que varios dientes trabajen simultáneamente. (Blanpain, 1962)

Las fresas son herramientas de corte de alta precisión. Por lo general se fabrican para trabajos especiales. Debido a los elevados costos de materia prima e insumos para la producción, se han desarrollado numerosos estudios en maquinado de madera con el fin de determinar las características que permitan un corte más exacto y al menor costo, así como un monitoreo relevante de la calidad de los procesos de corte.

Como ventaja de las fresas se puede citar:

- Alta resistencia al desgaste (debido a la calidad de los materiales empleados)
  - Alta precisión de corte.
  - Afilado y montajes rápidos (bajo costo de mantención)
- (CORFO/INFOR, 1994)

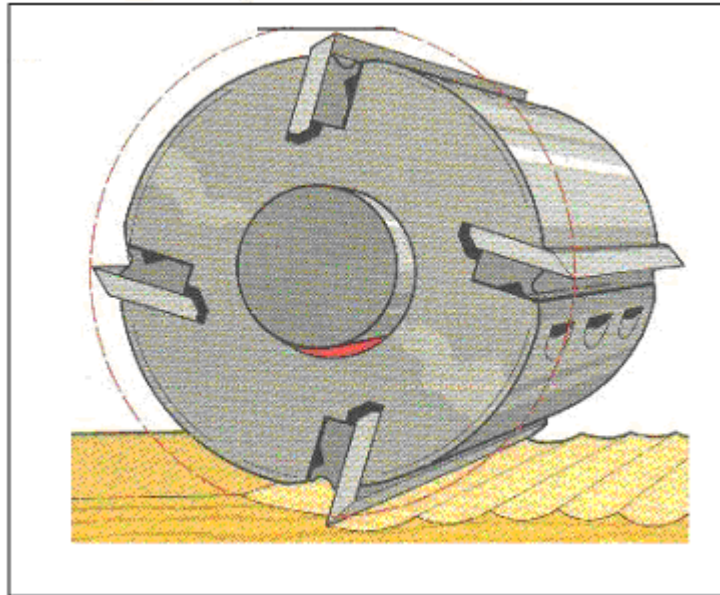
Para este estudio se utilizara una maquina fresadora tupí, la cual se emplea para diferentes trabajos de fresado para piezas rectas o curvas. La maquina consta de una mesa horizontal, una regla de tope, un porta-fresas vertical (a veces también inclinable). Generalmente se emplean anillos especiales para fresar formas, que se pueden ajustar al diámetro del fresado. El numero de revoluciones esta entre 2000 y 18000 RPM, ajustables en etapas; con motores que posibilitan la inversión del giro del eje.

El eje esta acoplado a un sistema de variación del número de revoluciones, ya que es muy frecuente cambiar el diámetro de las fresas de corte, por lo que se debe adecuar las revoluciones del eje al tamaño de estas. A este eje se le debe incorporar las fresas de elaboración de la madera, con la forma de la contramoldura que se requiere utilizar (Vignote y Jiménez, 2000).

Para este estudio se utilizaran dos tipos de cabezales uno convencional y otro hidrocentrado, los que se describen a continuación:

### 2.1.1 Cabezal convencional

Este cabezal tiene una mayor facilidad de mantención e instalación, permite el maquinado en dimensiones amplias, pero se obtienen menores calidades superficiales que con un cabezal hidrocentrado y tiene un mayor consumo de energía. Además son limitados en fuerza de corte y no son recomendados para usar en perfiles.

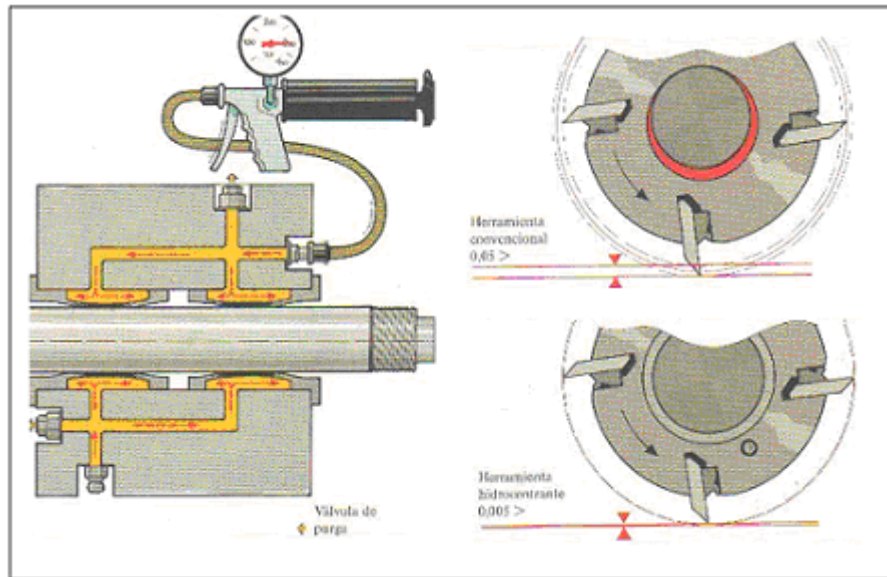


**Figura N° 1:** Cabezal convencional.

### 2.1.2. Cabezal hidrocentrado

El sistema de sujeción de herramientas de corte denominado hidrocentrante, permite una rápida y exacta disposición de la herramienta en los ejes de giro. En la masa de la herramienta existen cámaras anulares que permiten introducir una grasa a una gran presión (alrededor de 300 atmósferas) que obliga por expansión de las cámaras a que la herramienta forme con el eje una unidad compacta sin producirse holgura alguna.

La utilización de éstos en la industria de la madera ha permitido lograr enormes avances en la calidad final de los trabajos en madera y se obtienen mejores resultados que utilizando cabezales convencionales. La razón de esto radica en la sujeción hidrocentrante, que evita la holgura eje-agujero permitiendo alcanzar, como ya se dijera, excelentes acabados superficiales en trabajos de cepillado y perfilado con elevadas velocidades de avance.



**Figura Nº 2:** Cabezal hidrocentrado (Fuente: Weing)

En la figura Nº 2 se muestra la diferencia entre un cabezal hidrocentrante y un cabezal convencional.

En el cabezal hidrocentrado se puede apreciar una sujeción hidráulica, por aplicación de grasa a presión en las cámaras internas del cabezal, además de un manguito hidro de alta elasticidad que se deforma bajo presión apretando el eje, el cual recupera su forma original al liberar la presión.

El cabezal hidrocentrante permite obtener concentricidad total del cuerpo del cabezal.

## 2.2 El aroma australiano

Según sus características la madera de aroma australiano presenta anillos de crecimiento muy marcados, diferenciándose claramente el desarrollo de primavera respecto al de verano. El color del duramen generalmente es café dorado con bandas rojizas u oscuras. La albura es pálida con tonalidades blancas. Las variaciones en color se deben básicamente a la genética, y la calidad del sitio. Se trabaja fácilmente con herramientas manuales y mecánicas, lográndose terminaciones finas y suaves. Se puede pintar, barnizar, encolar, clavar y atornillar sin problemas. Los usos que se le dan a esta especie son muy variados van desde la fabricación de muebles, revestimiento de interior, fabricación de instrumentos musicales y estructuras de embarcaciones, entre otros. Además se puede usar con fines ornamentales, control de dunas, estabilización de laderas, cortinas cortavientos y cortafuegos.

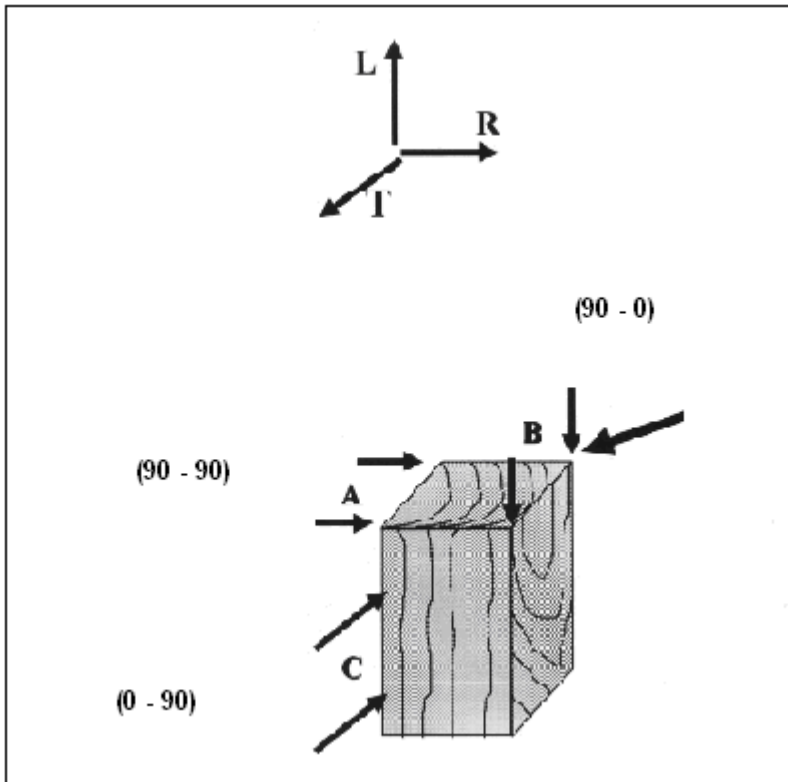
La utilización apropiada de la madera requiere del conocimiento de sus características anatómicas y de sus propiedades físicas y mecánicas.

Es un material que esta compuesto básicamente por células en su mayoría alargadas y ahusadas, pero huecas, de ahí su naturaleza porosa. Estas cumplen distintas funciones en el árbol vivo variando por lo tanto en su aspecto y conformación. Esta diferencia en la composición celular de los árboles, permite agrupar las diversas especies maderables en dos grandes clases: las maderas blandas que corresponden a las coníferas y a las maderas duras, correspondientes a las latifoleadas. La especie a estudiar es la Acacia melanoxylon que pertenece al genero de latifoleadas. (Junta de acuerdo de Cartagena, 1988)

Las latifoleadas tienen una estructura celular mas compleja constituidas por fibras, que son células alargadas, están provistas de puntuaciones y facilitan el paso de los nutrientes y cumplen la función de sostén del cuerpo leñoso.

Las latífoliadas también presentan vasos, que son elementos de conducción de agua y sales minerales constituidos por células tubulares unidas por sus extremos generalmente abiertos y que en algunas maderas pueden formar el 50% de su volumen total. Igualmente presentan células de parénquima para la conducción y almacenamiento de nutrientes no solo en el sentido transversal sino también en el longitudinal. (Junta de acuerdo de Cartagena, 1988).





**Figura Nº 3:** Direcciones de corte en la madera.

Estas direcciones tienen gran influencia en el corte ya que se relaciona entre el ángulo del elemento de corte y la dirección de las fibras, además de la energía que se necesita para producir el corte.

Además de las características anisotrópicas de la madera, se deben tomar en cuenta la densidad y el contenido de humedad ya que estas juegan un rol importante al momento de realizar el proceso de corte en la madera. En relación a la densidad se debe específicamente a las diferencias entre madera temprana y tardía, ya que tienen distintos requerimientos de energía para producir el corte. Y mientras la madera tenga un mayor contenido de humedad, menor será la energía de corte necesaria.

## 2.3 Energía de corte

Es la energía necesaria para transformar la madera en viruta, esta energía es llamada comúnmente trabajo específico ( $W_{sp}$ ), la cual es la energía necesaria para transformar 1 centímetro cúbico de madera en viruta, en 1 minuto.

La forma de calcular la energía de corte es la siguiente:

$$P_c = W_{sp} * a_p * a_e * V_f$$

$$W_{sp} = \frac{P_c}{a_e * a_p * V_f} \quad (W / cm^3 / min)$$

Los factores que influyen en el trabajo específico son:

- la potencia de corte ( $P_c$ )
- la profundidad de corte ( $a_p$ )
- el ancho de corte ( $a_e$ )
- y la velocidad de avance ( $V_f$ )

En el caso que la viruta se haga cada vez mas fina, el trabajo específico crecerá en forma exponencial y si esta se hace mas gruesa el trabajo específico crecerá, pero de una forma mas lenta, por lo tanto esta será una zona de peligro para las maquinas y los operarios.

### 2.3.1 Espesor de viruta

El espesor de viruta promedio ( $e_c$ ) se relaciona en forma directamente proporcional con el avance por diente ( $f_z$ ) y altura de corte (profundidad de corte) ( $a_p$ ), pero inversa al diámetro del cabezal ( $D$ ), Kivimaa, (1950).

Por tanto se representa con la siguiente formula:

$$e_c = \left( \frac{v_f}{Z * N} \right) * \sqrt{A_p / D} \quad (mm)$$

Donde:

$V_f$	Velocidad de alimentación (mm/min)
$Z$	Número de cuchillos
$N$	Velocidad de rotación (RPM)
$A_p$	Profundidad de corte (mm)
$D$	Diámetro del cabezal (mm)

## 2.4 Variables que afectan la calidad superficial y la energía de corte

La definición de energía de corte es muy compleja pues depende de muchas variables, tanto del propio diente como de la madera.

### 2.4.1 Variables relacionadas al material maquinado

- *Densidad*: a medida que exista una mayor densidad aumentaran los esfuerzos de corte, por tanto aumenta el consumo energético.
- *Contenido de humedad*: posee muchas interdependencias con otros factores del proceso de corte. Maderas con un contenido de humedad bajo el PSF, habrá mayor dificultad en hacer el corte.
- *Naturaleza de la especie*: el comportamiento de la madera frente al proceso de corte, así como la calidad superficial obtenida esta relacionada con las características anatómicas de la especie, por lo tanto hace indispensable considerar que especie se esta utilizando y la particularidades de esta.

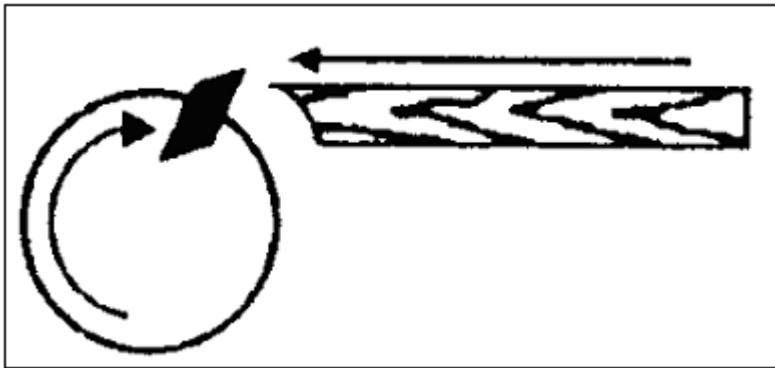
### 2.4.2 Variables relacionados con las condiciones de trabajo

En el proceso de corte intervienen diversos factores que afectan tanto el consumo de energía como la rugosidad superficial:

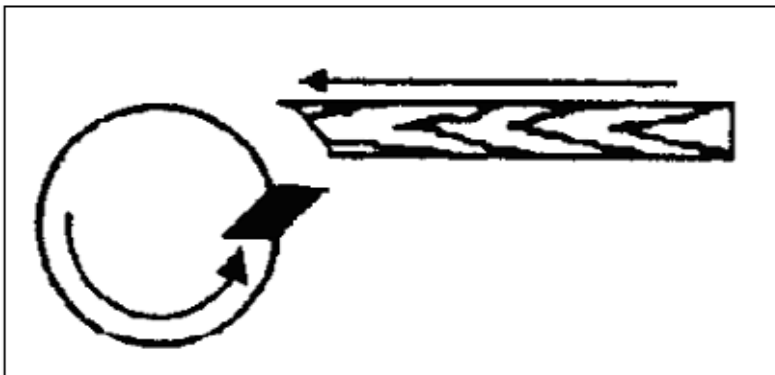
- *Dirección de corte*: depende de la orientación de la arista de corte, dirección de corte respecto a la fibra
- *Profundidad de corte*: la profundidad de corte esta estrechamente relacionado con el espesor de viruta (si cambia uno, cambia el otro).
- *Ancho de corte*: los esfuerzos de corte son proporcionales al ancho de corte y a la profundidad de corte.
- *Velocidad de avance*: se entiende por avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o a esta ultima respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado.
- *Espesor de viruta*: se entiende por viruta, a la madera removida mediante algún tipo de elemento de corte. el espesor de viruta tiene una relación lineal con el esfuerzo de corte. si se requiere mas esfuerzo, aumentara el requerimiento de potencia.
- *Formación de viruta*: las virutas son formadas por una penetración intermitente de la herramienta de corte en la madera, con cuchillos montados sobre el perímetro de un cabezal portacuchillos rotatorio. Una de las características más notorias del corte periférico que el cuchillo va cambiando el ángulo de posición respecto a la dirección de la fibra predominante.

Un aspecto importante en el corte periférico está relacionado con la dirección de la fibra al momento del corte. Esto explica como la relación entre la dirección de rotación del cabezal portacuchillos, con la dirección de alimentación, esta relación supone dos situaciones: que se trabaje en oposición o concordancia, como se observa en las figuras N° 4 y N° 5.

La diferencia entre ambos procesos radica principalmente en como se produce la viruta. En el avance por oposición la formación de viruta inicia con un espesor mínimo y termina con uno máximo. En el caso del avance por concordancia se comienza con un espesor máximo y se termina con un mínimo.



**Figura N° 4:** Trabajo en oposición (Fuente: Lemaster *et al.*, 2000b)



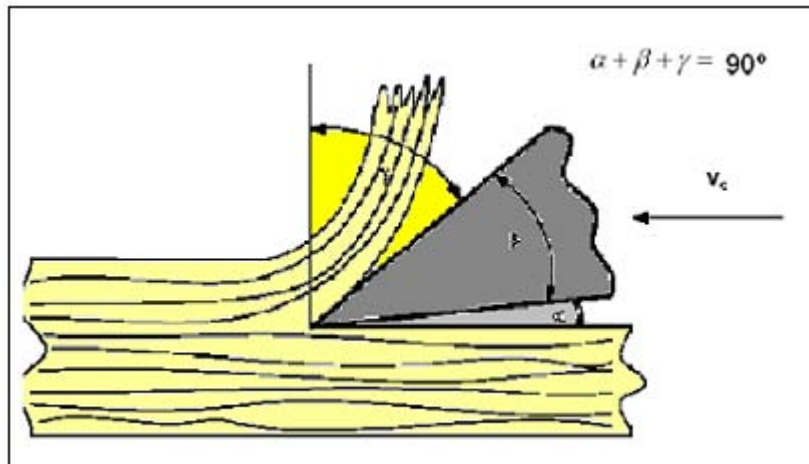
**Figura N° 5:** Trabajo en concordancia (Fuente: Lemaster *et al.*, 2000b)

#### 2.4.3 Variables propias de la herramienta de corte

Dentro de los factores de la herramienta de corte se pueden distinguir, los que son inherentes al elemento de corte y los que son a la herramienta de corte.

El que se incluye dentro del elemento de corte se encuentra:

- *geometría del diente*: la cual está definida por los ángulos de la arista del elemento de corte, siendo los principales el ángulo de ataque ( $\alpha$ ), de perfil ( $\beta$ ), e incidencia ( $\gamma$ ), figura N° 6.



**Figura Nº 6:** Definición de ángulos de trabajo.

- Corte A 90-90 aserrio, trozado (corte transversal)
- Corte B 90- 0 aserrio, cepillado (corte longitudinal)
- Corte C 0 -90 debobinado (corte tangencial o radial)

Si se hace el corte en forma longitudinal, se consigue un desprendimiento de la fibra por delante del filo de la herramienta. Si por el contrario el corte se hace en dirección perpendicular, el fenómeno es mucho mas complejo, en donde se necesita mayor esfuerzo de corte. (Vignote y Jiménez, 2000)

Los factores de la herramienta de corte son:

- Velocidad de corte ( $V_c$ ): velocidad del elemento de corte [m/s]
- Diámetro del cabezal (D)
- Numero de cuchillos (Z)

## 2.5 Emisión Acústica

La emisión acústica es una técnica de evaluación no destructiva de materiales (END), la cual identifica las propiedades físicas y mecánicas de un material sin alterar sus capacidades en el uso final de este.

Es conocido que las señales de emisión acústica son una buena herramienta en el monitoreo de la rugosidad superficial con diferentes condiciones de corte. Estudio previos permiten afirmar que cambios en las condiciones de corte afectan las señales

de emisión acústica, estas variaciones están relacionadas con la rugosidad superficial y la formación de viruta (Vega y Aguilera, 2004).

Se ha definido como emisión acústica a una clase de fenómeno que genera ondas elásticas transitorias por la liberación rápida de energía a partir de fuentes localizadas en el interior del material.

La señal de emisión acústica (EA) es generalmente detectada por instrumentos empleando sensores (transductores) los cuales, estimulados por las ondas de esfuerzo, transforman las ondas mecánicas en señales eléctricas.

El gran inconveniente de la aplicación de EA en procesos de control, es el análisis y la interpretación de las señales, debido a que estas no son periódicas y contienen muchas frecuencias que no pueden ser descritas por un modelo matemático específico. Debido a esto se utilizan herramientas de análisis estadístico para caracterizar las señales. El transductor más común es un sensor piezoeléctrico.

Una manera fácil de medición de las señales es a través de un voltímetro RMS (raíz media cuadrática). Se asume que el voltaje proveniente del transductor es proporcional a la raíz media cuadrática de la energía emitida durante el proceso de deformación, por lo tanto, el voltaje de salida de la cara de un sensor piezoeléctrico es proporcional al estrés en la cara del sensor y por ello la densidad de energía de una onda de estrés es proporcional al cuadrado del estrés (Lemaster *et al*, 1982).

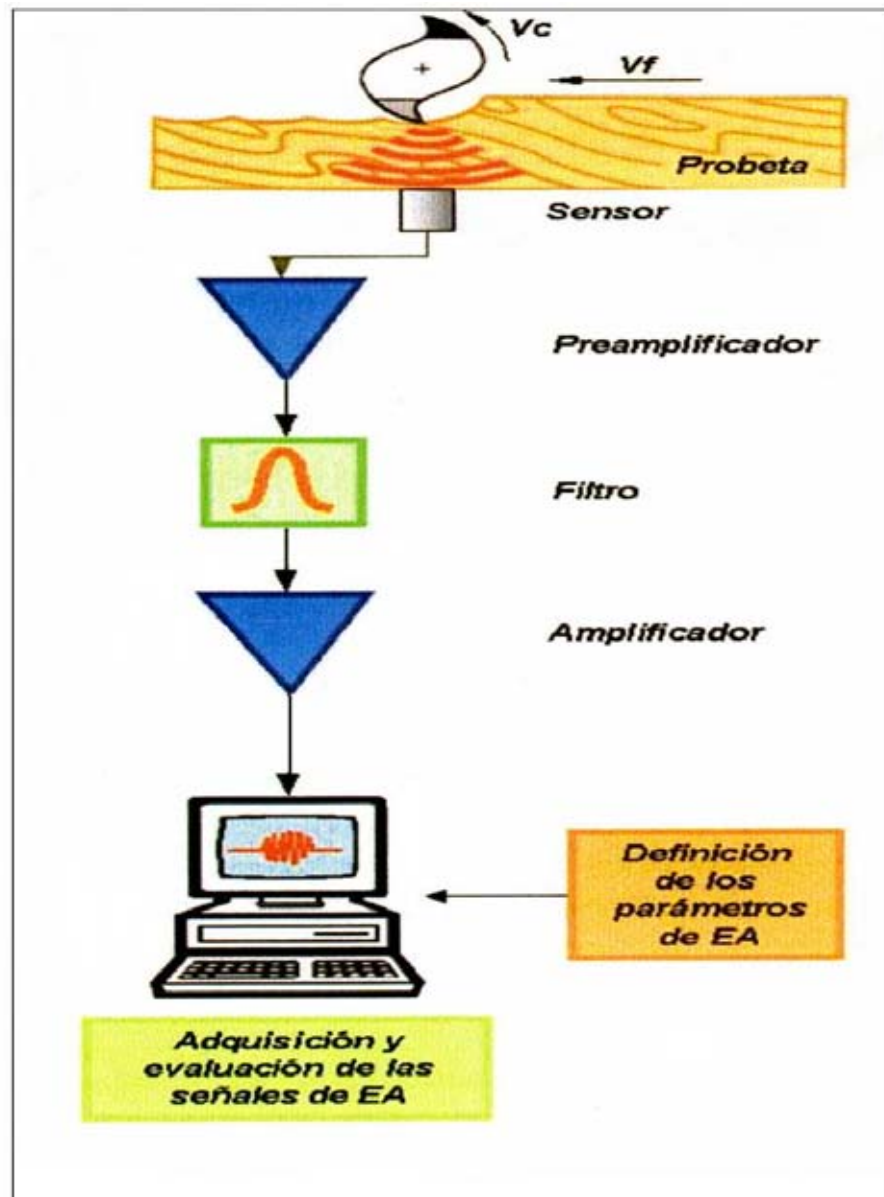
### 2.5.1 Proceso de medición de la Emisión Acústica

Elementos básicos para el proceso:

- 1- El objeto de estudio evaluado: Aplicando un corte o una carga, etc. Esto se denomina como fuente de EA, la que produce tensión mecánica.
- 2- Fuente: Punto donde es aplicado el esfuerzo.
- 3- Propagación de la onda: De la fuente al sensor. Se va atenuando a medida que se propaga.
- 4- Sensores: Convierten la onda mecánica en señal eléctrica de EA. Estos sensores son generalmente piezoeléctricos, altamente sensibles para captar de buena forma las señales de EA.
- 5- Adquisición de datos medidos: Convertir la señal eléctrica de EA en un set de datos electrónicos. En general, esta acción es realizada por una tarjeta electrónica instalada en un computador.
- 6- Muestra de los datos medidos: Generar diagramas con los datos medidos. Existen variados sistemas para graficar las emisiones de EA.

- 7- Evaluación de la muestra: Interpretación de los datos y diagramas generados.  
El gran problema en la aplicación de EA en los procesos de control es el análisis o interpretación de las señales.

En la figura N° 7 se muestra el proceso de obtención de la emisión acústica.



**Figura N° 7:** Proceso general de la emisión acústica (Fuente: adaptado de Vallen, 2002 y Huang *et al.*, 1998)

## 2.5.2 Parámetros de emisión acústica

Las señales de EA poseen parámetros que permiten rescatar información útil sobre los eventos que se están evaluando, tal y como expone kawamoto. (1998):

- Umbral: Es el nivel de energía (en Volts) prefijado con el objeto de eliminar las señales contaminadas indeseables
- Duración de la señal de EA: Es el tiempo transcurrido entre la primera y la última señal sobre el nivel de detección prefijado (umbral).
- Energía: El área encerrada bajo la curva en el eje positivo es la energía producida por un evento de EA. Esta es proporcional a la energía real de la onda de EA y a la vez, es representativo de la intensidad y la duración de esta señal. Este parámetro se mide en voltios.
- Amplitud del evento de EA: Se define como el máximo valor alcanzado durante un evento de EA. La amplitud es medida en voltios.
- Tiempo a la máxima amplitud: Es el intervalo de tiempo transcurrido entre la primera señal, que sobrepasa el nivel de tensión determinado por el umbral y la señal máxima de amplitud.

## 2.6 Rugosidad superficial

### 2.6.1 Principio de rugosidad por contacto

Para comprender lo que significa rugosidad es necesario comprender que es una superficie. Una superficie es un borde que separa una capa o sustancia de otra, este se conoce como rugosidad nominal que no incluye la rugosidad en la superficie. La superficie real es el resultado de la remoción de la superficie nominal producto de un proceso químico o físico. Las desviaciones en la topografía de una superficie nominal a una superficie real inducen forma, ondeado y aspereza.

La ondulación incluye desviaciones en la longitud de onda de la superficie real, producto de la remoción de la superficie nominal. La rugosidad se define como una irregularidad de la superficie producida por las longitudes de onda más pequeñas en ella. La rugosidad superficial resulta de un proceso particular o producto de las características del material (PDI 1998)

La rugosidad es importante debido a que determina la fricción con otra superficie. La rugosidad superficial determina la apariencia y su comportamiento con otros compuestos como pinturas, barnices selladores etc.

Según PDI (1998), la altura de un perfil en un punto en particular es la distancia desde el perfil hasta su línea media. La altura de un perfil es positiva si se encuentra sobre la línea media y negativa si esta debajo de ella. La línea media es una línea

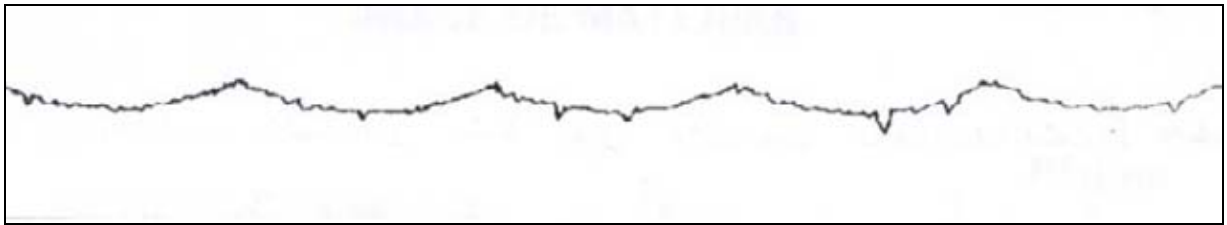


de referencia desde la cual las desviaciones en un perfil son medidas. Es el punto cero del perfil total.

El punto más alto, cumbre, de un perfil es una región que se encuentra sobre la línea media e intersecta esta misma en cada final. La altura de una cumbre es definida como el punto de máxima altura en una región.

El valle de un perfil es análogo a una cumbre, región que reside bajo la línea media y la intersecta en cada final. La profundidad de un valle es el punto menor dentro de ese valle (PDI, 1998).

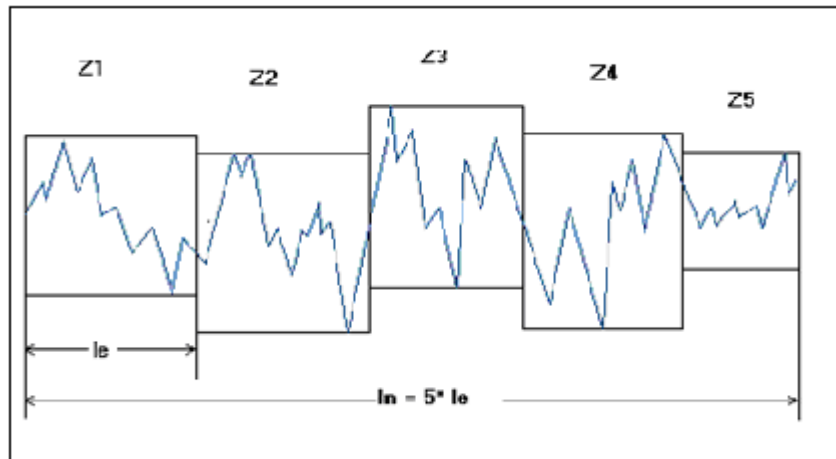
El sistema de coordenadas de un perfil superficial es tridimensional. Consta de un plano horizontal X, un plano vertical conformado por los valles y cumbres, y un eje Z que es perpendicular a la superficie y se asocia con los desplazamientos.



**Figura Nº 8:** Irregularidades producidas en una superficie maquinada. (Fuente: Jackson *et al.*, 2002)

## 2.6.2 Parámetros de rugosidad

La caracterización de la superficie por método de contacto emplea parámetros matemáticos y estadísticos para su interpretación. Dentro de estos parámetros se encuentra el  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$  y  $R_{vk}$  (Hiziroglu 1996, citado por Rolleri 2003). En este caso el parámetro utilizado para medir la rugosidad será el  $R_z$  que es el promedio de la altura de las cinco cumbres más altas, más los cinco valles más profundos en la longitud de evaluación, ya que según las normas Din 4768, ISO 13563 y JISB0601-2001, se sugiere el uso de este parámetro para las mediciones de la rugosidades las superficies de los materiales.

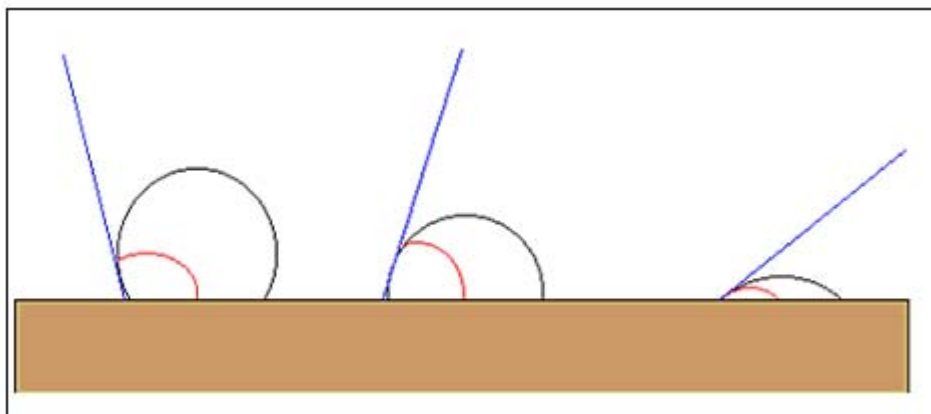


$$R_z = 1/5 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

**Figura Nº 9:** Rz es definido como las alturas y los valles más altos medidos en cinco mediciones consecutivas (Fuente: Rolleri, 2003)

## 2.7 Humectabilidad

La humectabilidad en la madera por un elemento líquido es medida por el ángulo de contacto de la superficie de la madera. Existen diversos factores que tienen influencia en la humectabilidad en la madera, como son la porosidad, densidad y composición química de la superficie de la madera, así como la temperatura, viscosidad y la tensión superficial del líquido, (Wellons 1977; Tsoumis 1991, citado por Rolleri 2003).



**Figura Nº 10:** Medida de ángulos de contacto entre los líquidos y la superficie (Fuente: Rolleri, 2003).

La humectabilidad es más alta a medida que los ángulos sean más pequeños (esto no siempre se puede cumplir debido al carácter anisotrópico de la madera). Cuanto más alta es la tensión superficial de un líquido, más baja es su capacidad de humectar una superficie, (Bandel 1995, citado por Rolleri 2003)

La humectabilidad es muy importante cuando se trata de determinar la interacción entre un fluido y una superficie sólida. La superficie del sólido solo estará totalmente húmeda si las tensiones superficiales del sólido y el líquido son iguales. La medición de los ángulos de contacto de distintos fluidos sobre una superficie se ha empleado con frecuencia en los intentos de determinar la energía libre superficial del sustrato. Para conseguir adherencia del líquido la energía superficial del fluido debe ser inferior que la energía de la superficie de contacto.

La medición del ángulo de contacto es la mejor aproximación para investigaciones relacionadas con problemas de humedad. Con un equipo apropiado la humectabilidad puede medirse con precisión no solo por velocidad de absorción, sino también por humectabilidad superficial.

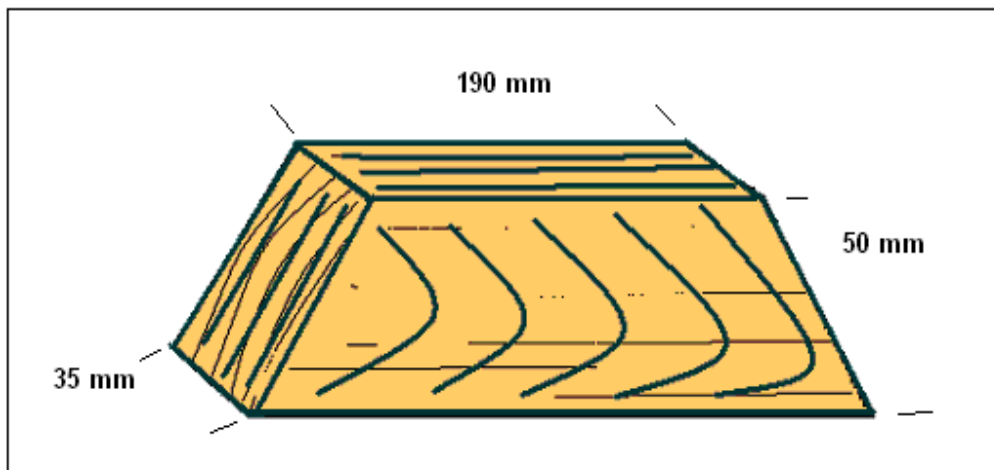
### 3. MATERIAL Y METODOS

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Madera

Se utilizara madera de *Acacia melanoxylon* para confeccionar las probetas del experimento.

Además, las probetas deben tener un contenido de humedad promedio y su densidad debe ser homogénea. Las dimensiones de la probeta deberán ser de 190mm de largo, 50 mm de ancho y 35 mm de espesor. Esto se muestra claramente en la figura N° 11:



**Figura N° 11:** Forma de las probetas para medición de EA y rugosidad superficial

Las probetas utilizadas deberán estar libres de defectos tales como nudos, pudrición, resina, etc.

Además, deberán poseer un número constante de anillos de crecimiento y respecto al ángulo de las fibras deberá ser constante.

##### 3.1.2 Equipos e instrumentos

###### 3.1.2.1 Portaprobeta

La probeta se fija en el portaprobeta, el que tiene por función la sujeción de la probeta durante el proceso de corte, como también la incorporación del sensor

piezoeléctrico para las mediciones de emisión acústica, como se puede observar en la figura N° 12.



**Figura N° 12:** Portaprobetas

### 3.1.2.2 La máquina

Se emplea una fresadora de tipo tupí marca "Griggio" (figura N° 13), que posee una potencia de motor de 4 Kw y velocidad de rotación variable de 3200 a 8000 RPM, nominales. Además, se le adiciono un elemento de avance automático con velocidad regulable en 4, 8, 11 y 22 m/min, teóricos.



**Figura N° 13:** maquina tupí

### 3.1.2.3 Herramientas de corte

Los elementos de corte son cuchillos de acero rápido, los cuales se montaron en dos cabezales portacuchillos que tenían la capacidad de fijar cuatro y seis cuchillos ( $Z=4$  y  $Z=6$  uno para un cabezal convencional y el otro para el cabezal hidrocentrante). El cabezal convencional (figura N° 14) tiene una fluctuación de 0.05 y el cabezal hidrocentrante (figura N° 15) una de 0.005, por tanto el efecto sobre la longitud de onda, calidad superficial y energía de corte varía según la herramienta, por estas razones las respuestas que se obtendrán en el cabezal hidrocentrante serán mucho mejores que las obtenidas en el cabezal convencional.



Figura N° 14: Cabezal convencional  $Z=4$



Figura N° 15: Cabezal hidrocentrante  $Z=6$

Las probetas para la medición de EA y rugosidad superficial serán maquinadas en oposición con una profundidad de corte de 2 mm.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Medición de la densidad entre Albura y Duramen

Los valores de densidad se obtuvieron calculando el peso y el volumen de la probeta sin tratamiento, luego las probetas fueron secadas en estufa a  $103 \pm 2$  °C, para obtener el volumen y peso seco, posteriormente fueron dejadas en agua para poder calcular el peso y el volumen verde.

Cuadro N° 1: valores obtenidos de densidad

Densidad	Albura $\text{kg/m}^3$	Duramen $\text{Kg/m}^3$	Promedio
Básica	545.2	613.1	579.1
Anhidra	571.6	645.7	608.6
Verde	1021.7	1078	1049.8

### 3.2.2 Medición de la Emisión acústica

Para esta medición se empleara un sensor piezoeléctrico el que se puede observar en la figura N° 16, el cual entra en contacto con la probeta, la que a su vez entrega las señales con una frecuencia de respuesta de 1 MHz. Estas emisiones deberán ser recogidas por una tarjeta SEK 3243 y son interpretadas por un programa compatible con PC (Borland C).



**Figura N° 16:** Sensor piezoeléctrico

### 3.2.3 Medición de la rugosidad superficial

La rugosidad producida mediante el maquinado se evaluara con un rugosímetro del tipo "stylus", marca Mitutoyo, modelo SJ-201 (figura N° 17), con un diámetro de cabezal de 5  $\mu\text{m}$ . Las mediciones se realizaran perpendiculares a las marcas producidas por los cuchillos durante el corte, con un recorrido de 25 mm.



**Figura N° 17:** Rugosímetro Mitutoyo SJ-201

### 3.2.4 Medición de la humectabilidad de la superficie.

Esta medición se realizara sacando una foto de la probeta por medio de una cámara digital. En la superficie de la probeta se deposita una gota de un líquido (agua destilada) y se medirá el ángulo que desarrolla la gota con respecto a la superficie de la madera por medio de un programa llamado IMAGE J.

### 3.2.5 Análisis de las condiciones anatómicas después del maquinado.

Se analizaron pequeñas muestras de madera a través de un microscopio electrónico, para observar las diferencias que deja en la superficie el maquinado de un cabezal convencional comparado con un cabezal hidrocentrado, también como inciden estos en el maquinado de madera de albura y duramen.

## 3.3 Diseño experimental

### 3.3.1 Condiciones de corte, medición de EA y Rugosidad superficial

Se deberán procesar las probetas de albura y duramen para las mediciones de EA y rugosidad superficial según las siguientes condiciones:

**Cuadro Nº 2:** condiciones de corte

Factor	Condiciones
Velocidad de avance (Vf) m/min	4 - 8 y 11
Velocidad de rotación en RPM	4200 - 6000
Diámetro del cabezal con Z=4 Y Z=6 (mm)	123 y 150 respectivamente
Número de cuchillos	4 y 6
Ancho de corte (ae) en mm	35
Profundidad de corte (ap) en mm	2
Probeta	<i>Acacia melanoxylon R.Br.</i>

En el proceso de maquinado la medición de EA y rugosidad superficial se tiene que:

Las constantes del proceso son:

- Ancho de corte
- Material de la probeta
- Diámetro de corte
- Geometría de corte
- Contenido de humedad
- Ángulo de las fibras ( a favor de la fibra)
- Dirección de corte (oposición)
- Profundidad de corte



Las variables del proceso:

- Estructura anatómica de la madera (Albura y Duramen)
- Velocidad de avance
- Velocidad de rotación
- Diámetro del cabezal
- Número de cuchillos

Elementos de respuesta del proceso:

- Medición de la emisión acústica
- Medición de la rugosidad superficial

Las probetas serán maquinadas a 4200 y 6000 RPM y con las siguientes velocidades de avance 4, 8 y 11 (tres repeticiones por ensayo).

Las probetas de duramen y albura, fueron maquinadas en oposición con una profundidad de corte de 2mm (ap).

Espesores de viruta y Avance por diente de un cabezal convencional y un hidrocentrado.

**Cuadro N° 3:** Diseño experimental cabezal convencional

Cabezal convencional Z = 4			
RPM	m/min	e (mm)	fz (mm)
4200	4	0,03	0,24
	8	0,06	0,48
	11	0,08	0,65
6000	4	0,02	0,17
	8	0,04	0,33
	11	0,06	0,46

**Cuadro N° 4:** Diseño experimental cabezal hidrocentrado

Cabezal hidrocentrado Z=6			
RPM	m/min	e (mm)	fz (mm)
4200	4	0,02	0,16
	8	0,04	0,32
	11	0,05	0,44
6000	4	0,01	0,11
	8	0,03	0,22
	11	0,04	0,31

Con esto se puede concluir que a menores espesores de viruta mejor es la calidad superficial, por tanto estaríamos obteniendo mejores resultados con el segundo cabezal.

Las siguientes determinaciones se llevaron a cabo con cada probeta:

- Antes del maquinado se obtuvo la densidad y el contenido de humedad.
- Luego durante el maquinado se midió la emisión acústica.
- Posterior al maquinado se midió la rugosidad superficial y humectabilidad, y se sacaron fotos a nivel anatómico por medio de un microscopio electrónico a las probetas que fueron maquinadas en las mejores y peores condiciones para cada cabezal.

Respecto a la medición de la emisión acústica esta se mide en volts (V) producidos durante el proceso de corte. A estos volts se le aplico la raíz cuadrática media (RMS).

Antes de calcular la raíz cuadrática media (RMS) de la EA, se filtraron los datos entregados por la tarjeta SEK 3243, trabajándose solo con el 50% central de los datos, y de esta forma evitar la EA producida por el cuchillo en el comienzo del corte y a la salida del cuchillo de la probeta, siendo estos los sectores mas inestables en el comportamiento de la emisión acústica.

La rugosidad fue medida según el parámetro Rz, definido por Japanese industrial Standard (JIS) como la sumatoria entre el promedio de las cinco mayores alturas y las cinco mayores depresiones, respecto al promedio general.

### **3.4 Análisis estadístico**

Las diferentes condiciones de corte entregaron un factorial de 3 (Vf) \* 2 (RPM) \* 2 (tipo de madera) ,12 variantes por tipo de cabezal a los que se les realizo un análisis de varianza. Si se encuentran diferencias significativas se llevará a cabo un Test DMS (Diferencia Mínima Significativa) para determinar cuál tratamiento tiene diferencia de cuál (comparación de medias).

Todos los datos obtenidos, de emisión acústica en RMS (v) y rugosidad superficial (Rz) fueron analizados con el paquete estadístico STATGRAPHICS plus 5.0.

En una primera parte se analizaron las relaciones entre los espesores de viruta promedio y la EA y rugosidad superficial, resultantes del maquinado y se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% para la evaluación de la emisión acústica, respecto a los espesores de viruta producidos.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza del 95% para la EA y rugosidad superficial, respecto de la velocidad de corte y la velocidad de alimentación. Paralelamente se realizó una prueba de Tukey a los factores independientes como velocidad de corte y velocidad de alimentación. Ambas pruebas fueron realizadas en albura y duramen.

Se realizaron modelos de regresión simples entre los espesores de viruta promedio la EA y la rugosidad superficial.

Luego se busco la relación entre la emisión acústica y la rugosidad superficial, mediante una correlación entre ambos parámetros, para luego construir modelos de regresión. Para comprobar si la EA podría ser un predictor de la rugosidad superficial a distintos niveles de espesor de viruta, todos estos análisis fueron revisados individualmente para cada cabezal.

#### Variables Independientes

- Velocidad de alimentación (m/min)
- Velocidad de corte (RPM)
- Tipo de madera
- Tipo de cabezal

#### Variables Dependientes

- Emisión acústica RMS (Volt)
- Rugosidad superficial Rz ( $\mu\text{m}$ )

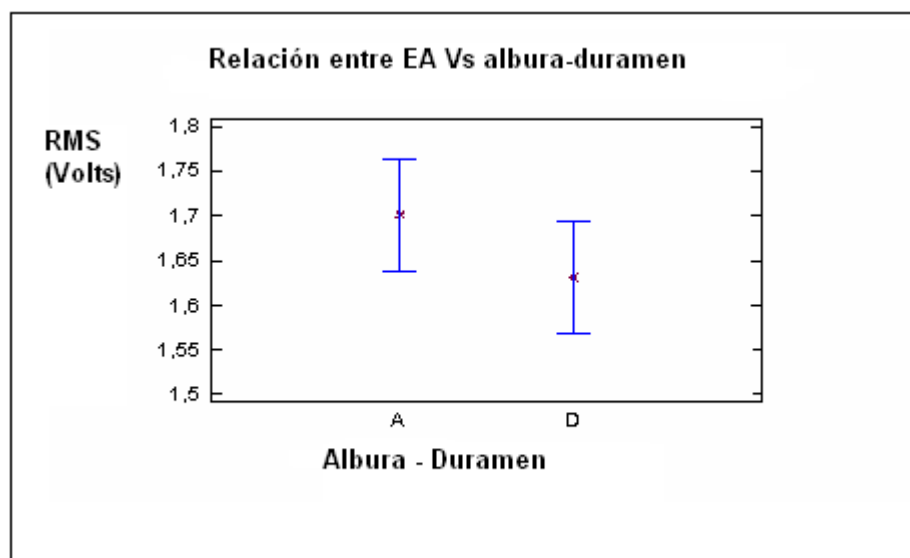
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Emisión acústica

#### 4.1.1 Relación entre Emisión acústica y Albura – Duramen

Según lo entregado por el test de Tukey no existe una diferencia significativa entre los resultados de emisión acústica en relación con la albura y el duramen.

Los resultados se muestran en la figura N° 18:



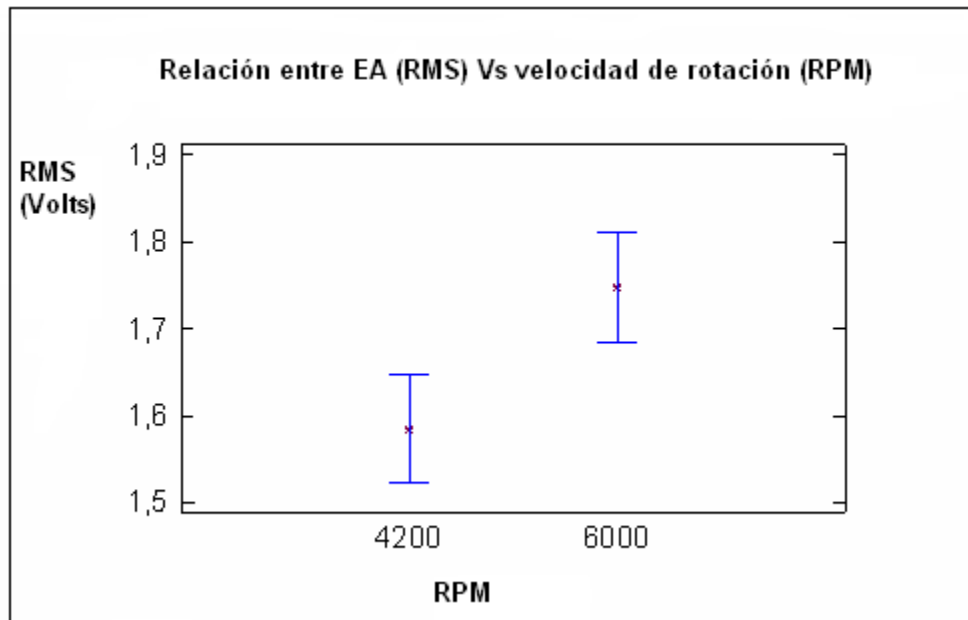
**Figura N° 18:** Promedios de Emisión acústica con intervalos de confianza del 95%, para albura y duramen.

Los datos para albura y duramen muestran un comportamiento similar en los resultados de la emisión acústica.

Los promedios de emisión acústica dieron un poco más elevados en la albura, esto puede haberse debido al carácter anisotrópico de la madera.

#### 4.1.2 Relación entre Emisión acústica y velocidad de rotación

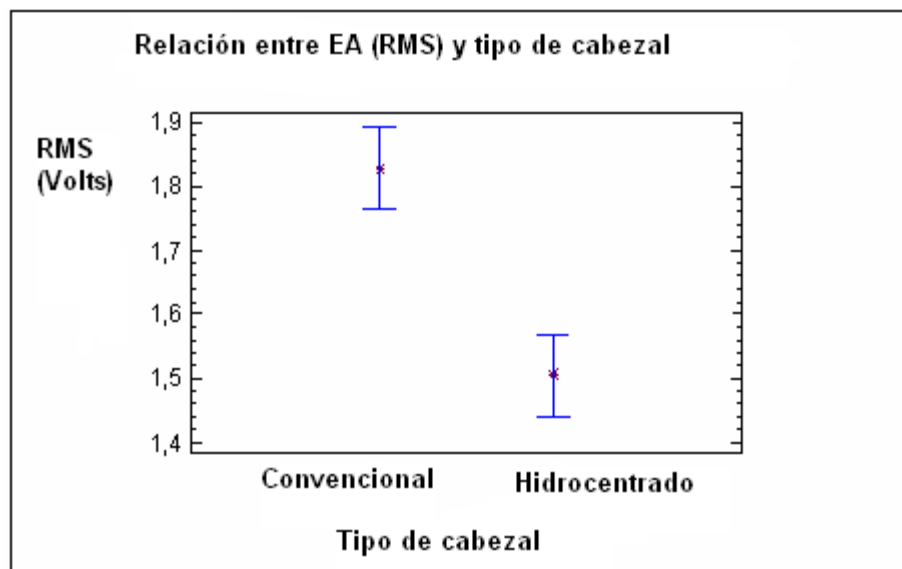
En este caso según Tukey, existe una diferencia significativa en la relación entre EA y la velocidad de rotación ya que a mayor velocidad de rotación se produce un aumento en el gasto de energía, en la figura N° 19 se aprecia más claramente esta tendencia:



**Figura N° 19:** Promedios de Emisión acústica con intervalos de confianza del 95%, para distintas velocidades de rotación.

#### 4.1.3 Relación entre Emisión acústica y el Tipo de cabezal

Para este caso el test de Tukey demuestra que la diferencia entre los cabezales es significativa, señalando que el cabezal hidrocentrado tiene un menor gasto de energía que el cabezal convencional. Los resultados obtenidos se presentan en la figura N° 20:

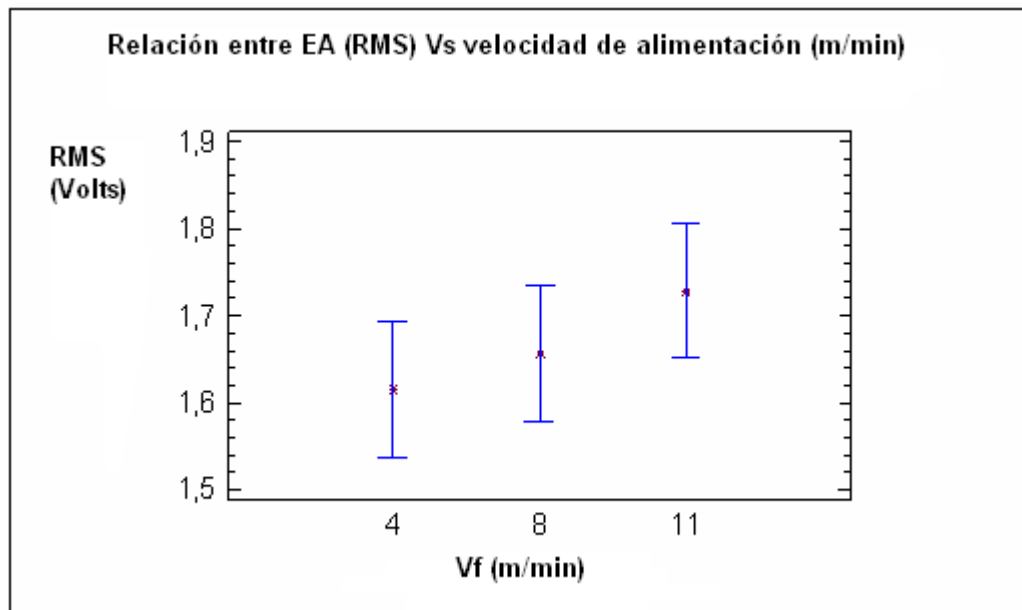


**Figura N° 20:** Promedios de Emisión acústica con intervalos de confianza del 95%, para los dos tipos de cabezales.

En el presente grafico se puede observar una gran diferencia entre los dos tipos de cabezales, demostrando que el cabezal hidrocentrado consume menor energía que el convencional, esto debido a la característica de la herramienta (un cabezal con un  $Z=6$  y el otro con un  $Z=4$ ).

#### 4.1.4 Relación entre Emisión acústica y Velocidad de Avance

En la relación entre EA y las distintas velocidades de avance empleadas, no se observan ninguna diferencia significativa según lo evaluado por el test de Tukey, solo se puede apreciar un leve aumento en el consumo de energía a medida que aumenta la velocidad de avance, en la figura N° 21 se puede apreciar mas claramente:



**Figura N° 21:** Promedios de Emisión acústica con intervalos de confianza del 95%, para las distintas velocidades de avance.

En el grafico se observa la tendencia ascendente de la emisión acústica con respecto al aumento en la velocidad de alimentación. Ante un aumento de la velocidad de avance se tienen mayores espesores de viruta por lo que la EA aumenta, esta tendencia se manifiesta para los dos tipos de cabezales.

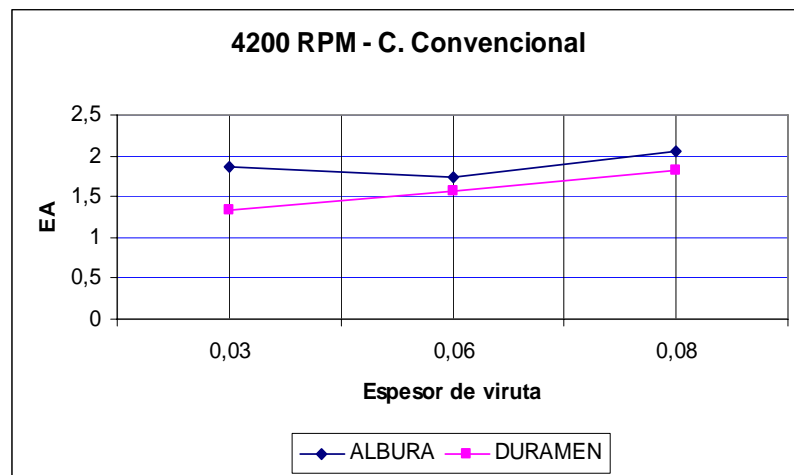
#### 4.1.5 Efecto del espesor de viruta en la Emisión acústica para madera de albura – Duramen en dos diferentes tipos de cabezales

Los valores que se obtuvieron en EA para albura y duramen son similares, esto puede deberse a que los valores de densidad obtenidos no presentaban una gran diferencia entre albura y duramen.

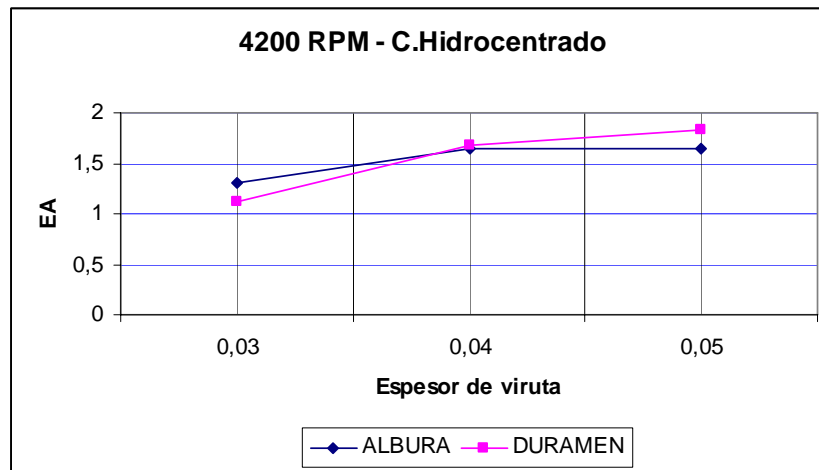
A medida que aumenta el espesor de viruta se incrementa la EA, sin embargo se presentan algunos valores anormales para el cabezal convencional, que podrían haberse producido por las vibraciones de la maquina, pero manteniendo valores superiores a los del cabezal hidrocentrado.

##### 4.1.5.1 4200 RPM:

En el grafico N° 22 se puede observar que para un mismo espesor de viruta hay distintos resultados para albura y duramen. Para el cabezal convencional hay un mayor consumo de energía que en el hidrocentrado para un mínimo espesor de viruta, esto se produce por las características de la herramienta ya que el cabezal hidrocentrado tiene un mejor posicionamiento en los ejes de giro, produce un mejor acabado y un menor gasto de energía.



**Figura N° 22:** Relación entre el Espesor de viruta y la EA, Para cabezal Convencional a 4200 RPM y diferencia entre Albura y Duramen.



**Figura Nº 23:** Relación entre el Espesor de viruta y la EA, Para cabezal Hidrocentrado a 4200 RPM y diferencia entre Albura y Duramen.

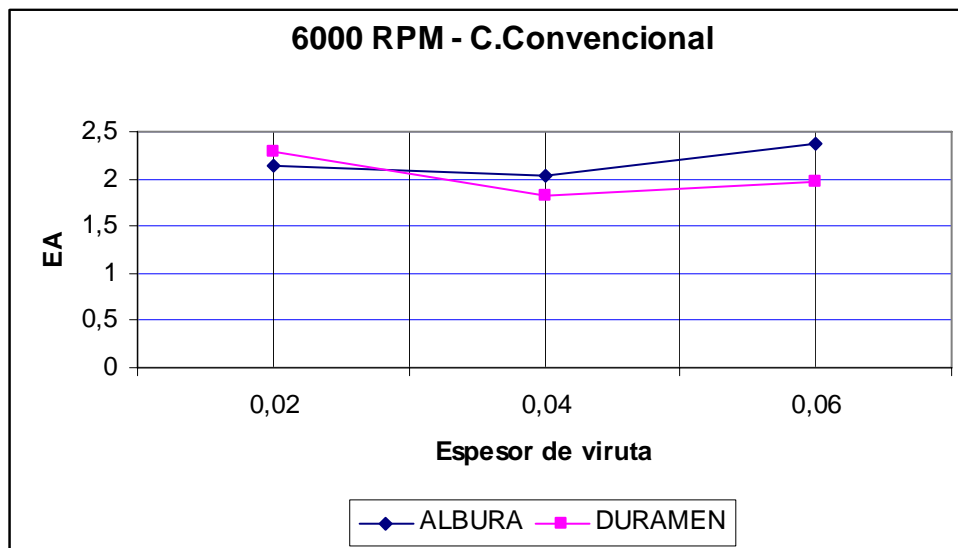
Como se puede observar en las figuras anteriores, se muestran valores de EA superiores para el cabezal convencional a medida que aumenta el espesor de viruta, con una tendencia mas clara al aumento de EA en el cabezal hidrocentrado.

En el caso del duramen para el cabezal hidrocentrado se puede observar un ligero aumento en los valores de respuesta de la EA a medida que aumenta el espesor de viruta, para el caso del cabezal convencional los valores bajaron un poco, esto puede deberse a las vibraciones de la maquina o a los ángulos de las fibras que no fueron tomados en cuenta en este estudio.

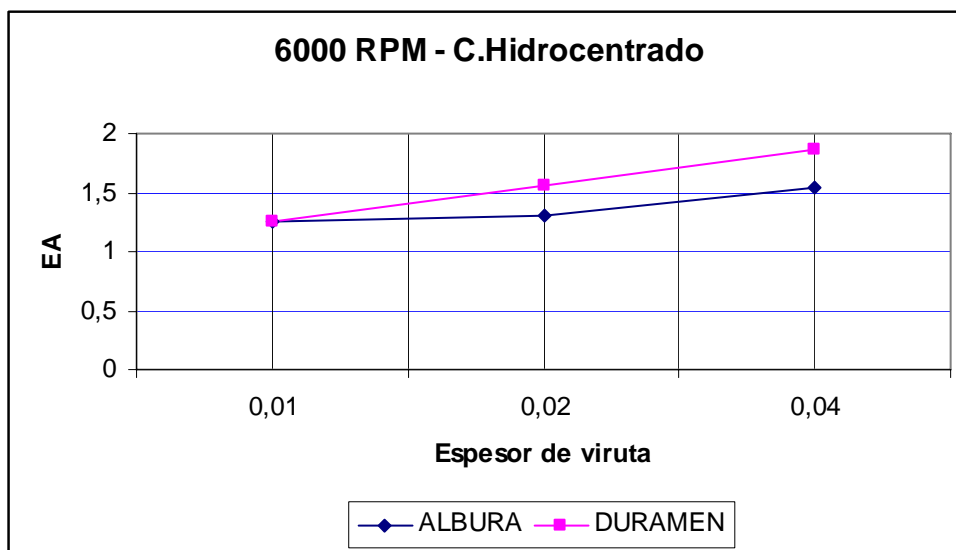
#### 4.1.5.2 6000 RPM:

Para este caso cambia la velocidad de rotación de 4200 a 6000 RPM por tanto los valores de Emisión acústica aumentan al haber un mayor gasto de energía. Los valores para el cabezal convencional son muy superiores a los del cabezal hidrocentrado, esto es porque la herramienta hace un mayor esfuerzo de corte sobre la probeta por tanto obtiene un mayor consumo de energía, como se muestra en la figura Nº 24 y Nº 25.





**Figura N° 24:** Relación entre el Espesor de viruta y la EA, Para cabezal Convencional a 6000 RPM y diferencia entre Albura y Duramen.



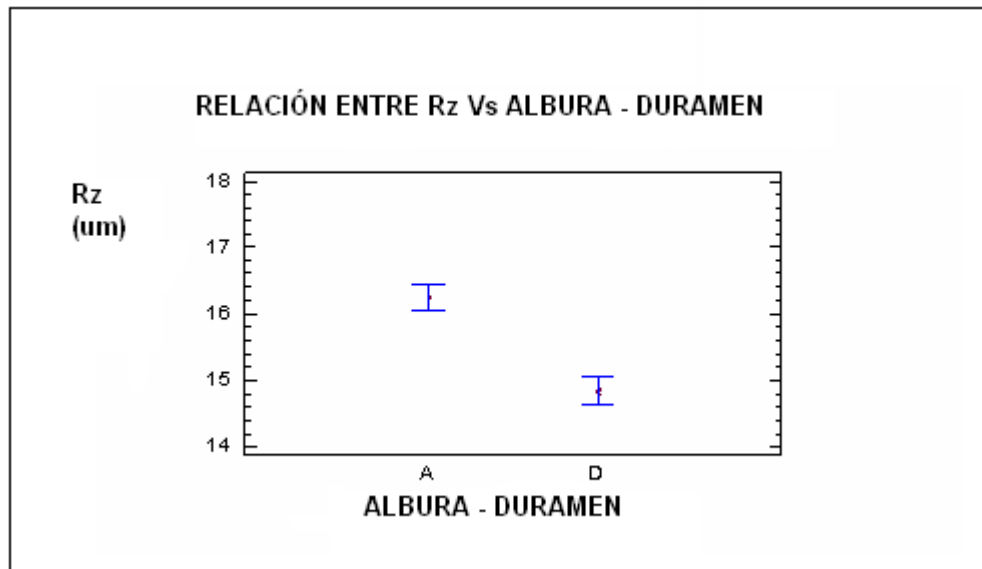
**Figura N° 25:** Relación entre el Espesor de viruta y la EA, Para cabezal Hidrocentrado a 6000 RPM y diferencia entre Albura y Duramen

Para el caso del duramen con una velocidad de rotación de 6000 RPM, se muestra un ligero descenso en los valores de EA en el cabezal convencional, como se dijo anteriormente esto puede haberse debido a variaciones y vibraciones en la maquina o a los ángulos de las fibras, para el caso del cabezal convencional sigue con la tendencia al aumento de la EA a medida que aumentan los espesores de viruta.

## 4.2 Rugosidad superficial

### 4.2.1 Relación entre Rz y albura- duramen

Según los resultados obtenidos mediante el test de Tukey se observa que hay una diferencia significativa entre albura y duramen, obteniendo resultados más bajos en el duramen. Se puede apreciar más claramente en el siguiente grafico:

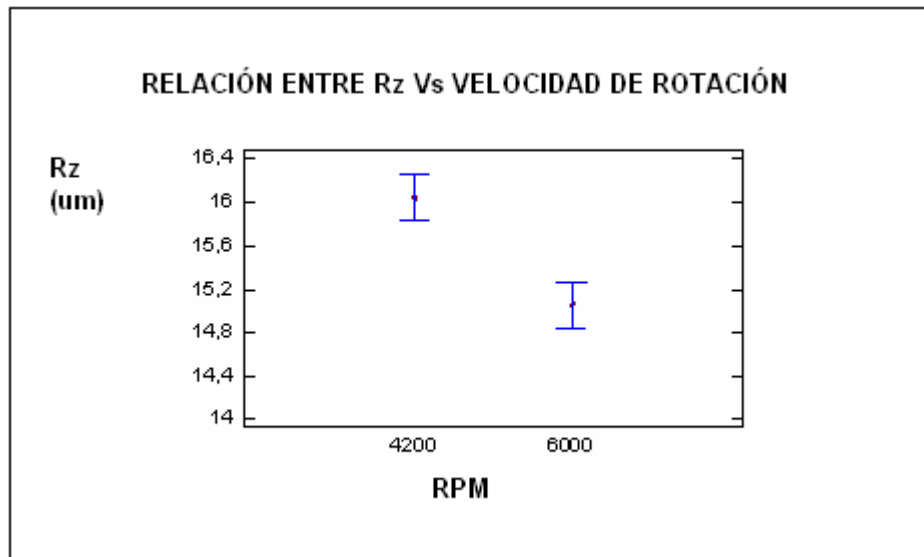


**Figura Nº 26:** Promedios de Rugosidad superficial con intervalos de confianza del 95%, para Albura y Duramen.

En la figura Nº 26 se observa la diferencia entre albura y duramen en relación a Rz, el duramen presentó una menor rugosidad superficial, esto debido a la densidad y las características anatómicas de la especie.

### 4.2.2 Relación entre la Rugosidad superficial y la Velocidad de Rotación

A medida que existe una mayor velocidad de rotación debe haber una menor rugosidad, según los resultados obtenidos se cumple con este requisito, ya que existe una diferencia significativa entre los resultados de los dos tipos de rotaciones. Lo que se puede apreciar en la figura Nº 27:

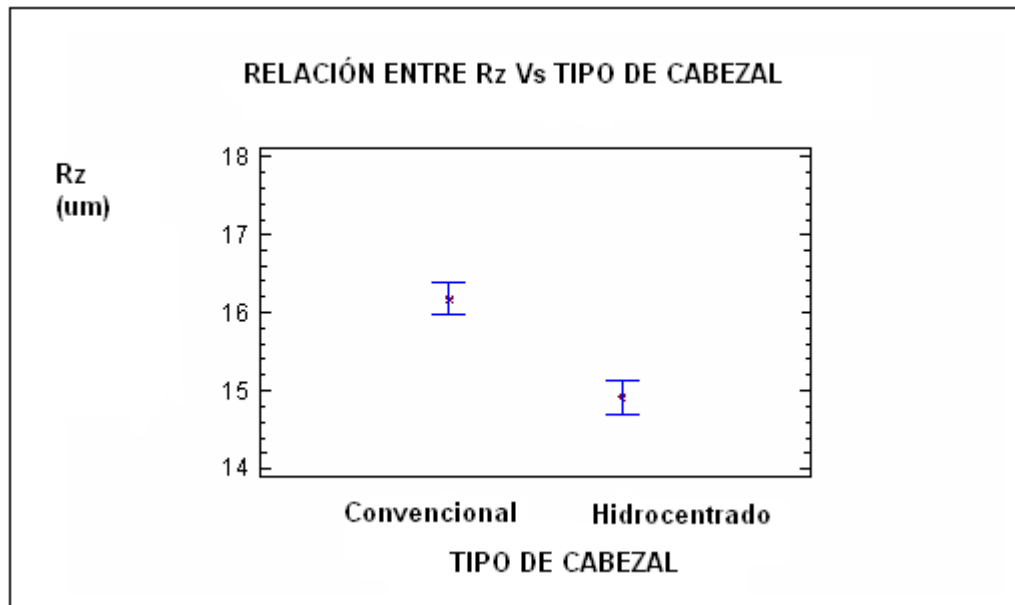


**Figura Nº 27:** Promedios de Rugosidad superficial con intervalos de confianza del 95%, para distintas Velocidades de rotación.

La disminución de la rugosidad superficial se debe a que decrece la amplitud de las ondas dejadas por el corte producto de un incremento en la velocidad rotacional.

#### 4.2.3 Relación entre Rugosidad superficial y Tipo de Cabezal

Se obtuvieron mejores resultados en la rugosidad con el cabezal hidrocentrado, ya que hace un trabajo mas fino, hay un contacto mas suave entre el cuchillo y la superficie, esto se debe a que el cabezal hidrocentrante tiene una mayor concentricidad total y esta mejor posicionado a los ejes de giro. La diferencia que entrego el análisis estadístico es significativa entre los dos tipos de cabezales, en el gráfico Nº 28 que se muestra a continuación sale más claramente esta tendencia:

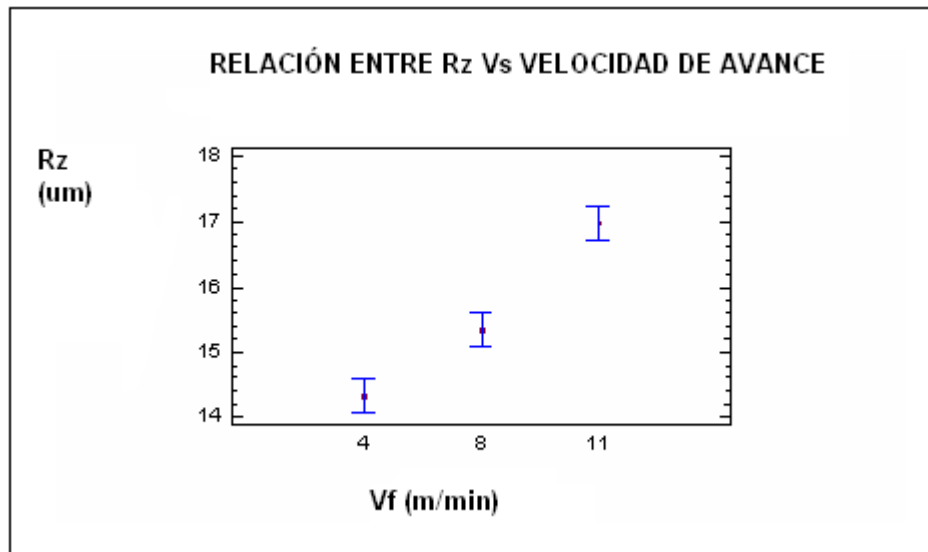


**Figura Nº 28:** Promedios de Rugosidad superficial con intervalos de confianza del 95%, para los dos distintos tipos de cabezales.

#### 4.2.4 Relación entre Rugosidad superficial y Velocidad de Avance

La rugosidad superficial es ascendente a medida que se aumenta la velocidad de alimentación. En la figura Nº 29 se muestra la tendencia de la rugosidad superficial a 4, 8 y 11 m/min.

Por tanto si existe una diferencia significativa con las distintas velocidades de avance, ya que a medida que aumenta la velocidad de avance aumenta la rugosidad superficial, esto producido por que al ir el carro de avance a mayor velocidad produce un trabajo mucho más imperfecto.



**Figura N° 29:** Promedios de Rugosidad superficial con intervalos de confianza del 95%, para las distintas velocidades de avance.

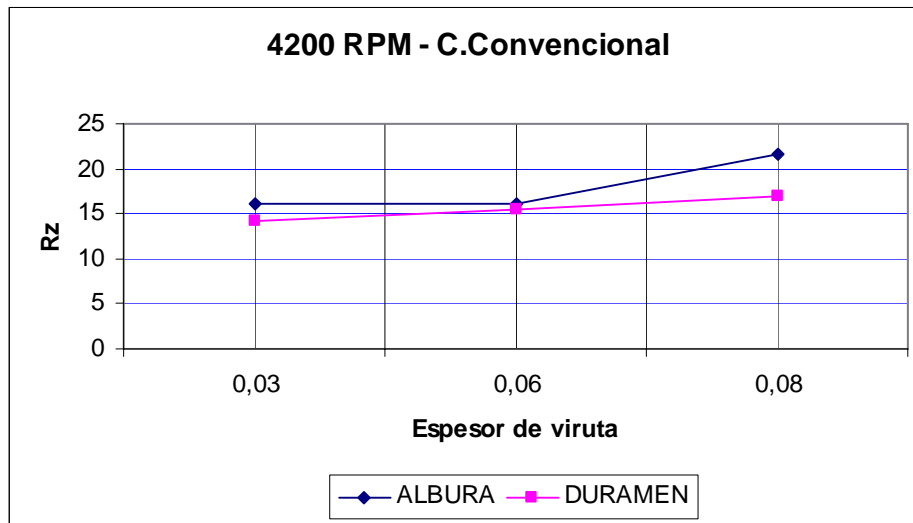
A mayor velocidad de alimentación mayor rugosidad superficial. Al aumentar la velocidad de alimentación, disminuye el tiempo de contacto entre la pieza y herramienta de corte produciendo una superficie de menor calidad.

#### 4.2.5 Efecto del Espesor de viruta en la Rugosidad superficial para madera de albura y duramen y según tipo de cabezal

##### 4.2.5.1 4200 RPM:

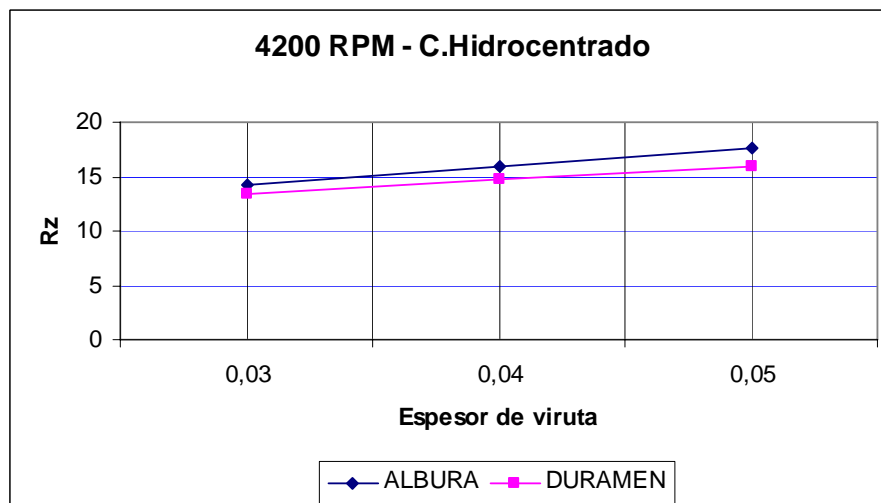
Los valores que se obtuvieron en Rz para albura y duramen tienen una diferencia significativa, dando valores mas altos en el caso de la albura para los dos tipos de cabezales, como se observan en las siguientes figuras N° 30 y N° 31.

A medida que aumenta el espesor de viruta se incrementa la Rz, obteniéndose resultados superiores en el caso del cabezal convencional.



**Figura N° 30:** Relación entre Rz y Espesor de viruta para cabezal Convencional, para 4200 RPM.

Para una velocidad de rotación de 4200 RPM, se puede observar que la rugosidad superficial dio mucho mas alta en el cabezal convencional, esto es producido como se dijo anteriormente, por las características de la herramienta (esta tendencia se repite para el caso de albura y duramen y en las dos velocidades de corte). La rugosidad superficial para el caso del duramen dio mayores resultados para el cabezal convencional, se vuelve a marcar la tendencia que se venia dando anteriormente, para el mismo espesor de viruta de 0.03 hay una diferencia significativa entre los dos tipos de cabezales.



**Figura N° 31:** Relación entre Rz y Espesor de viruta para cabezal Hidrocentrado, para 4200 RPM

#### 4.2.5.2 6000 RPM:

Al cambiar la velocidad de rotación de 4200 a 6000 RPM, se obtiene una menor rugosidad superficial, La disminución de la rugosidad se debe a que decrece la amplitud de las ondas dejadas por el corte producto de un incremento en la velocidad rotacional (figura N° 32).

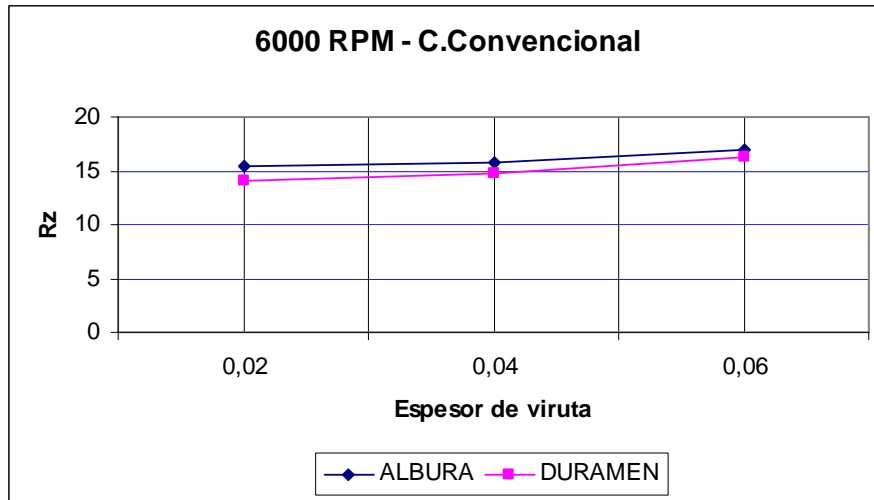


Figura N° 32: Relación entre Rz y Espesor de viruta para cabezal Convencional, para 6000 RPM

Los valores de rugosidad superficial obtenidos en el duramen para una velocidad de rotación de 6000 RPM es menor que en los casos anteriores, ya que aquí entran en juego dos factores, que en el duramen se obtienen menores valores de rugosidad por sus características anatómicas y la velocidad de rotación, ya que al aumentar produce una superficie mas fina y de mejor calidad superficial.

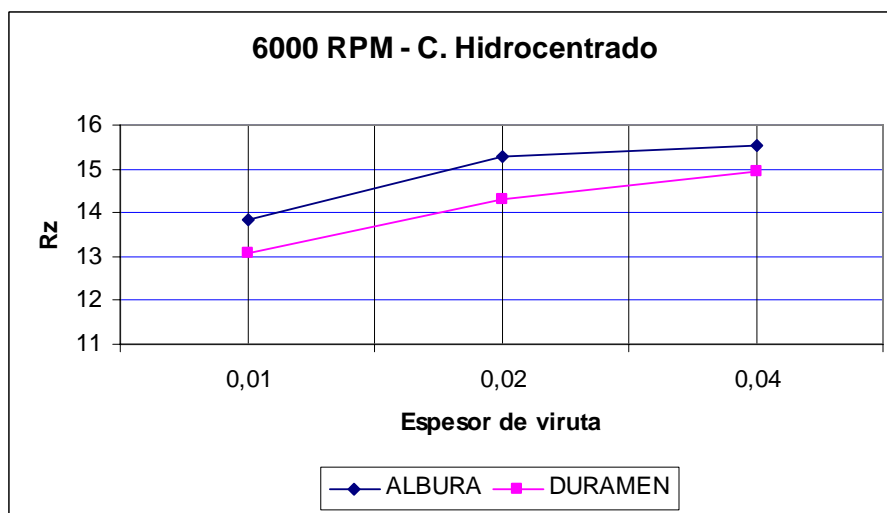
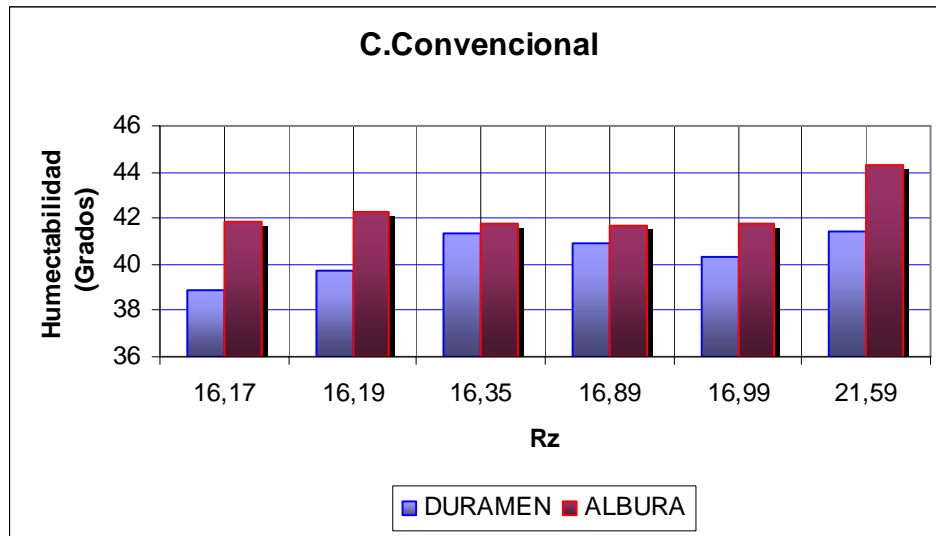


Figura N° 33: Relación entre Rz y Espesor de viruta para cabezal Hidrocentrado, para 6000 RPM

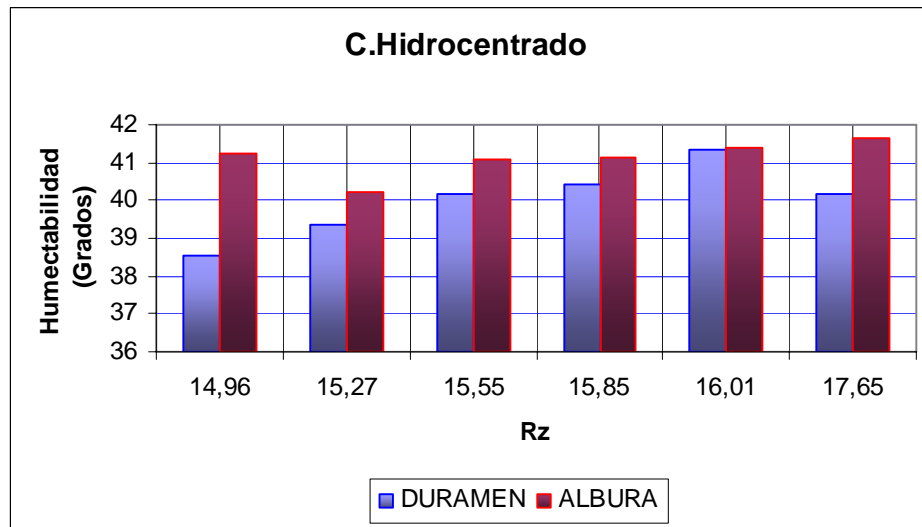
### 4.3 Relación entre Rugosidad superficial y Humectabilidad



**Figura N° 34:** Relación entre Rz y humectabilidad para cabezal convencional, según sus diferencias de albura y duramen.

En la figura N° 34 se puede observar claramente que la albura tiene una menor humectabilidad que el duramen, ya que los ángulos obtenidos son superiores. Pero esto puede mal interpretarse, ya que al existir una mayor rugosidad en la albura se originan una mayor cantidad de alturas y valles, por tanto se puede haber producido que al depositar el líquido en la madera este haya quedado entre dos alturas, por tanto la gota de agua queda mas perfecta obteniendo un ángulo mas elevado, y en el duramen al obtener una superficie mas lisa la gota de agua queda achatada, por tanto va a disminuir el ángulo de contacto entre la gota de agua y la madera (esto se puede ver mas claramente en las fotografías obtenidas del microscopio electrónico).





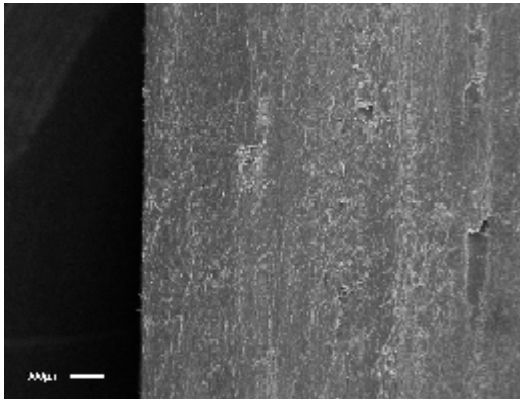
**Figura Nº 35:** Relación entre Rz y humectabilidad para cabezal hidrocentrado, según sus diferencias de albura y duramen.

Para el cabezal hidrocentrado los valores de humectabilidad parecieran mayores que para el convencional, pero se produce el mismo efecto antes mencionado, al obtener superficies mas lisas la gota de agua se abate sobre la superficie.

#### 4.4 Como afecta la Velocidad de corte y el Tipo de cabezal en las características anatómicas de la especie

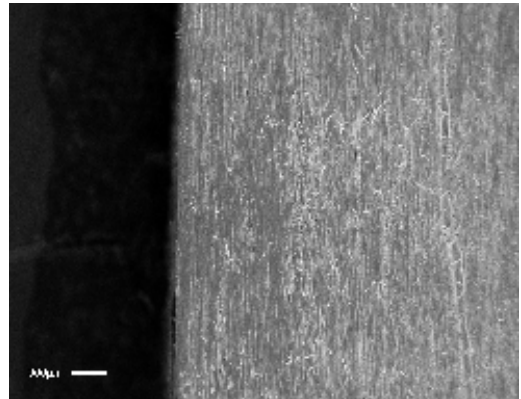
En las fotos que se muestran a continuación se hace hincapié en los efectos producidos por las condiciones de corte y al tipo de cabezal utilizado, se fotografiaron las peores y mejores condiciones de cada cabezal para dar respuesta a los valores obtenidos anteriormente de Rugosidad superficial y humectabilidad.

Cabezal hidrocentrado

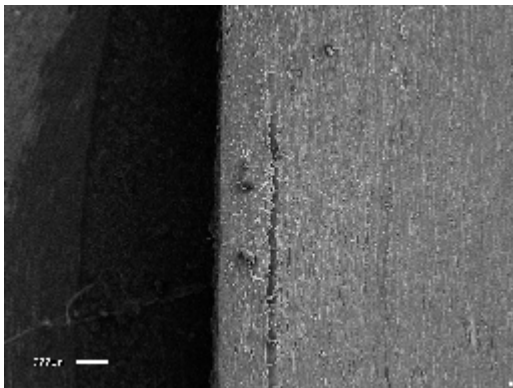


**Figura N° 36:** fotografía de albura  
Condición 4200 RPM – 11 (m/min)

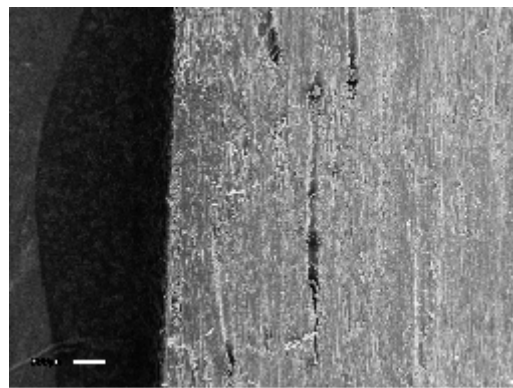
Cabezal hidrocentrado



**Figura N° 37:** fotografía de duramen  
Condición 4200 RPM – 11 (m/min)

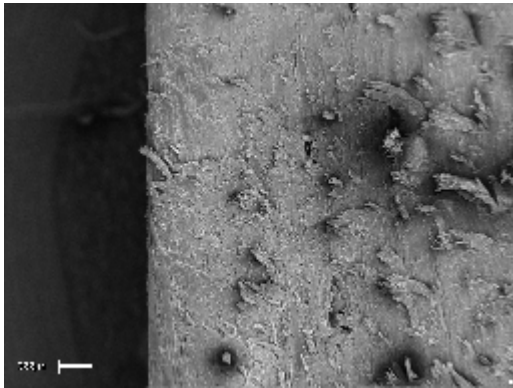


**Figura N° 38:** fotografía de albura  
Condición 6000 RPM – 4 (m/min)



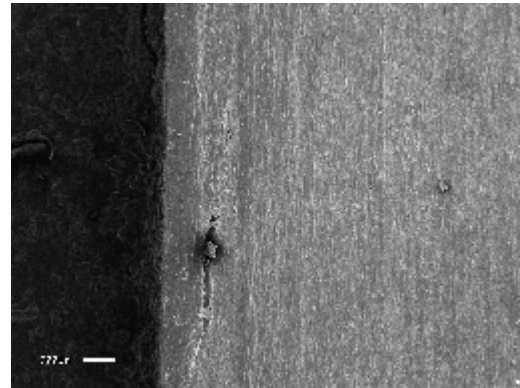
**Figura N° 39:** fotografía de duramen  
Condición 6000 RPM – 4 (m/min)

### Cabezal convencional

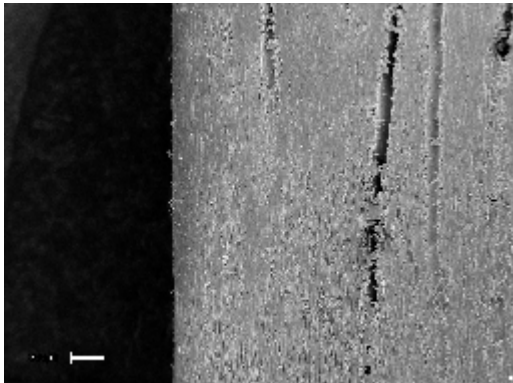


**Figura Nº 40:** fotografía de albura  
Condición 4200 RPM – 11(m/min)

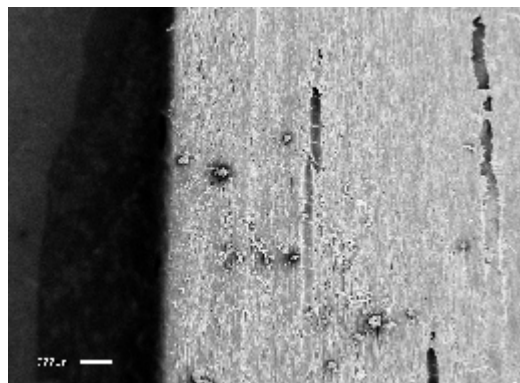
### Cabezal convencional



**Figura Nº 41:** fotografía de duramen  
Condición 4200 RPM – 11 (m/min)



**Figura Nº 42:** fotografía de albura  
Condición 6000 RPM – 4(m/min)



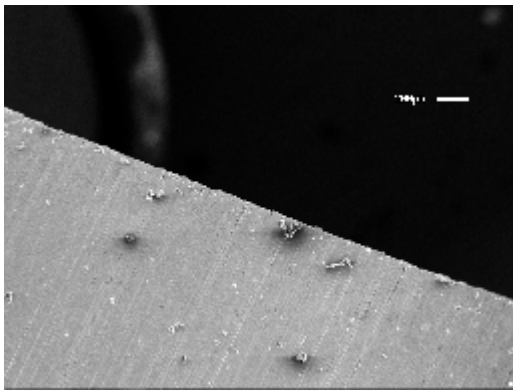
**Figura Nº 43:** fotografía de duramen  
Condición 6000 RPM – 4 (m/min)

Por lo que se puede apreciar en las fotografías se logra ver claramente las diferencias que existen entre los dos tipos de cabezales. Para el cabezal hidrocentrado se aprecian superficies mas finas para la peor y mejor condición, si la comparamos a los resultados obtenidos en el cabezal convencional es inmensa la diferencia que se puede estimar entre ambos cabezales, con esto nos podemos dar cuenta que los resultados que se obtuvieron en rugosidad y humectabilidad están dentro de la normalidad, ya que todas las superficies de la albura presentan un mayor número de irregularidades que las presentadas en el duramen, y en el caso de los resultados de humectabilidad por lo que podemos ver en las fotografías es muy probable que las gotas de agua puedan haber quedado dentro de un valle en el

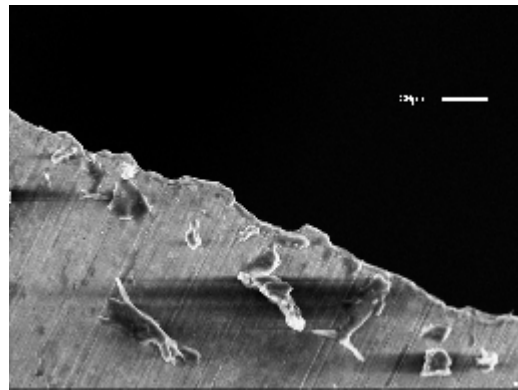
caso de la albura y que se hayan achatado para el caso del duramen donde las superficies estaban mas lisas y sin demasiadas irregularidades.

Si se toman en cuenta las velocidades de rotación utilizadas también se puede observar diferencias significativas, pues si se comparan ambas velocidades es notorio el cambio que se produce al usar una o la otra, ya que para una velocidad de 4200 RPM – 4 (m/min) los resultados en las superficies son bastante irregulares, obteniendo superficies muy rugosas y de baja calidad.

#### Calidad del filo del cuchillo



**Figura N° 44:** vista del filo del cuchillo con microscopio electrónico.



**Figura N° 45:** vista del filo del cuchillo a mayor aumento con el microscopio electrónico.

Esta fue la condición de la herramienta de corte, si el cuchillo hubiese estado nuevo o con menos uso es probable que hubiese dado mejores resultados en la calidad superficial de la madera.

El desgaste de los cuchillos y su influencia sobre la EA producida durante el proceso de corte, indican que la EA es influenciada por el nivel de desgaste del elemento de corte en forma significativa (Vega, 2004)

## 5. Conclusiones

### Emisión Acústica

- Los valores de EA fueron similares entre albura y duramen para las dos condiciones de corte utilizadas, esto puede haberse debido a que los valores de densidad obtenidos eran similares (también puede haber influido el contenido de humedad de las probetas).
- Según los tipos de cabezales, se obtuvieron valores de EA superiores para el cabezal convencional e inferiores para el hidrocentrado, esto debido a las características de la herramienta (sujeción hidráulica que produce menores vibraciones)
- Los valores de EA con respecto a la velocidad de alimentación manifestaron una tendencia significativa a medida que aumentaba la velocidad de avance aumentaba también la EA (esta tendencia se manifestó en albura y duramen y en ambos tipos de cabezales)

### Rugosidad Superficial

- La rugosidad superficial obtenida fue mayor en el cabezal convencional que en el Cabezal hidrocentrado, esto debido a las características de la herramienta de corte.
- La velocidad de rotación y la velocidad de avance tienen una influencia significativa en los resultados de la rugosidad superficial.
- La rugosidad superficial aumenta al incrementar el espesor de viruta para albura y duramen.
- La rugosidad superficial obtenida es mayor en la madera de albura que en la madera de duramen, esto es producido por las características anatómicas de la especie.

- La humectabilidad debe ser menor en el duramen, por tener menor rugosidad, pero el ángulo de contacto que se obtiene entre la gota de agua y la madera de duramen es menor al ángulo de contacto que se obtiene en la madera de albura, esto es producido por que la gota de agua se posiciona sobre un valle, por lo tanto la gota de agua queda mas perfecta y se obtiene un ángulos mayor que en el duramen donde pasa lo contrario, la gota de agua se achata y queda un ángulo mas pequeño.
  
- Al obtener las fotografías desde el microscopio electrónico se pudo concluir lo siguiente:
  - Se obtienen mejores calidades superficiales en el cabezal hidrocentrado, siendo significativa su diferencia con los resultados de calidad superficial entregados por el cabezal convencional.
  - A mayor velocidad de rotación y menor velocidad de avance, se obtienen excelentes resultados en la calidad superficial en la madera.

## **6. BIBLIOGRAFÍA.**

**Aguilera, A., Vega, M., 2004.** Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *Pinus radiata* Don. Bosque (Chile) 25 (3): 25-32.

**Aguilera, A., Vega, M., 2005.** Caracterización de la rugosidad superficial y la emisión acústica en maquinado de *Pinus radiata* Don. Bosque (Chile) 26(1):101-108.

**Blanpain, E. 1962.** Teoría y práctica de las herramientas de corte. Barcelona – España.

**CORFO, INFOR. 1994.** Manual de fresas y cuchillos para madera. Santiago – Chile.

**Junta de acuerdo de Cartagena. 1988.** Manual del grupo andino para la preservación de madera. Lima – Perú. p. III-1.

**Kawamoto, S., Williams, S., 2002.** Acoustic emission and acoustic- ultrasonic techniques for wood composites a review. Forest products laboratory. General technical report 134.

**Kivimaa, E. 1950.** Cutting force in wood working. The state institute for technical research, Finland. Helsinki 102 p.

**Lemaster, R., Klamencki, B., Dornfeld, D.1982.** Analysis of acoustic emission inslow wood cutting. Wood science and technology 15 (2): 150 -160.

**Lemaster, R., Lu, L., Jackson, S. 2000.** The use of process monitoring techniques on CNC wood routers, part 1, sensor selection. Forest products journal 50 (7/8): 31 – 38.

**PDI, 1998.** Surface Metrology Guide home. Precision devices incorporated. Internet: [http://www. Predev.com/sdg/](http://www.Predev.com/sdg/) (Mayo 30, 2005)

**Rolleri, A.2003.** Characterization of wood – based panel surfaces by contact and no contact methods. The faculty forest sciences and forest ecology of Georg – August – University. Gottingen, Alemania.

**Vignote, S., Jiménez, F.2000.** Tecnología de la madera. 2ª edición. Madrid – España. p.317-319.

**Vega, M. 2004.** Comportamiento de la madera de pino radiata D. Don frente a diferentes condiciones de fresado. Tesis ing. For. Valdivia, universidad austral de chile, Fac. de Cs. Forestales.

## **ANEXOS**



**ANEXO 1**  
Abstract

## **ABSTRACT**

The forestry industry is the second one generating foreign currency for this country and the second one based upon one forestry renewable resource. Through the last fifteen years, it has generated about 13% of the annual total from the returns due to exportations Chile makes.

The population growth and the income increasing will be developed in an increasing of the demand in relation with forestry products and resources and the diminishing of resources is a powerful motivation in order that the forestry industry uses new promising species, so as to obtain high quality products. With a higher added value towards more pressing markets.

One species that is at present going in our country is the Australian Blackwood, which has been used in many researches. It has good characteristics, since it presents a fast growing. The high quality of its products makes them valuable in a high level market.

The researches carried out show knew knowledge about this species. Nevertheless, there is ignorance on how this type of wood must be processed to obtain good results.

For that reason, the objective of this research is to analyze which is the effect with two different heads in the process (conventional and Hydroconcentrated) in wood of whiteness and the lasting period, in the acoustic emission and superficial wrinkly surface.

The energy of the cut out was measured by means of the acoustic emission and the superficial wrinkly surface, by means of the contact method, using the Rz profile for the measurement

The research results were the following:

- Increasing in the acoustic emission when increasing thickness in shaving
- The wrinkly surface was higher when increasing advance speedy and diminished when the rotation speedy went up.
- A lesser energy waste was obtained and a lesser superficial wrinkly surface with the Hydroconcentrated head.
- The differences between whiteness and the lasting period point out that the consumption of energy for the lasting period. Nevertheless, a minor wrinkly surface was obtained compared with whiteness.

Key words: Blackwood, Head conventional, Head hydroconcentrated

**ANEXO 2**  
Estadística descriptiva

Rangos para RMS

Nivel	Frecuencia	Media	Error Estándar	Limite Inferior	Limite Superior
Media Total	96	1,66627			
RPM					
4200	48	1,58469	1,58469	1,4951	1,67428
6000	48	1,74785	1,74785	1,65826	1,83745
Vf					
4	32	1,61497	0,0552318	0,05523	1,7247
8	32	1,65609	0,0552318	0,05523	1,76582
11	32	1,72775	0,0552318	0,05523	1,83748
A - D					
A	48	1,170183	0,0450966	0,04509	1,79143
D	48	1,63071	0,0450966	0,04509	1,7203
Cabecal					
1	48	1,82727	0,0450966	0,04509	1,91686
2	48	1,50527	0,0450966	0,04509	1,59486

1:C.Convencional  
2:C.Hidrocentrado

Rangos para Rz

Nivel	Frecuencia	Media	Error Estándar	Limite Inferior	Limite Superior
Media Total	96	15,5439			
RPM					
4200	48	16,0373	0,14982	15,7396	16,3349
6000	48	15,0504	0,14982	14,7528	15,3481
Vf					
4	32	14,3234	0,183491	13,9589	14,688
8	32	15,3297	0,183491	14,9651	15,6942
11	32	16,9784	0,183491	16,6139	17,343
A - D					
A	48	16,2426	0,14982	15,9449	16,5401
D	48	14,8452	0,14982	14,5476	15,1429
Cabecal					
1	48	16,1725	0,14982	15,8749	16,4701
2	48	14,9152	0,14982	14,6176	15,2129

### Relación entre Emisión acústica y Albura – Duramen

Tipo	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
Duramen	48	1,63071	0,0450966
Albura	48	1,70183	0,0450966

### Relación entre Emisión acústica y velocidad de rotación

RPM	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
4200	48	1,58469	0,0450966
6000	48	1,74785	0,0450966
Contraste		Diferencias	limites
4200-6000		0,163167	0,126703

### Relación entre Emisión acústica y el Tipo de cabezal

Cabezal	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
2	48	1,500527	0,0450966
1	48	1,82727	0,0450966
Contraste		Diferencias	Limites
01-Feb		0,322	0,126703
Cabezal Hidrocentrado: 2 Cabezal Convencional: 1			

### Relación entre emisión acústica y velocidad de avance

Vf	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
4	32	1,61497	0,0552318
8	32	1,65609	0,0552318
11	32	1,72775	0,0552318
Contraste		Diferencias	
4_8		-0,041125	0,186148
4_11		-0,112781	0,186148
8_11		-0,0716562	0,186148

### Relación entre Rz y albura- duramen

Tipo	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
Duramen	48	14,8452	0,14982
Albura	48	16,2425	0,14982
Contraste		Diferencias	Limites
A - D		1,39729	0,420933

### Relación entre la Rugosidad superficial y la Velocidad de Rotación

Cabezal	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
6000	48	15,0504	0,14982
4200	48	16,0373	0,14982
contraste		Diferencias	Limites
4200 -6000		0,986875	0,420933

### Relación entre Rugosidad superficial y Tipo de Cabezal

Cabezal	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
2	48	14,9152	0,14982
1	48	16,1725	0,14982
Contraste		Diferencias	Limites
1_2		1,25729	0,420933

### Relación entre rugosidad superficial y velocidad de avance

Vf	Nº Obs	Promedio (mm)	Ls Sigma
4	32	14,3234	0,183491
8	32	15,3297	0,183491
11	32	16,9784	0,183491
Contraste		Diferencias	Limites
4_8		-1,00625	0,618421
4_11		-2,655	0,618421
8_11		-1,64875	0,618421

### **ANEXO 3**

- Espesor de viruta Vs Emisión acústica
- Espesor de viruta Vs Rugosidad superficial
- Rugosidad superficial Vs Humectabilidad

## Espesor de viruta Vs Emisión acústica

ALBURA				
	RPM	Vf	Ex	RMS
C. CONV	4200	4	0,03	1,864
	4200	8	0,06	1,735
	4200	11	0,08	2,048
C.HIDRO	4200	4	0,03	1,297
	4200	8	0,04	1,637
	4200	11	0,05	1,652

DURAMEN				
	RPM	Vf	Ex	RMS
C.CONV	4200	4	0,03	1,33
	4200	8	0,06	1,563
	4200	11	0,08	1,831
C.HIDRO	4200	4	0,03	1,119
	4200	8	0,04	1,684
	4200	11	0,05	1,832

ALBURA				
	RPM	Vf	Ex	RMS
C. CONV	6000	4	0,02	2,146
	6000	8	0,04	2,025
	6000	11	0,06	2,368
C.HIDRO	6000	4	0,01	1,261
	6000	8	0,02	1,305
	6000	11	0,04	1,541

DURAMEN				
	RPM	Vf	Ex	RMS
C.CONV	6000	4	0,02	2,279
	6000	8	0,04	1,817
	6000	11	0,06	1,973
C.HIDRO	6000	4	0,01	1,248
	6000	8	0,02	1,551
	6000	11	0,04	1,863



## Espesor de viruta Vs Rugosidad superficial

ALBURA				
	RPM	Vf	Ex	Rz
C. CONV	4200	4	0,03	16,17
	4200	8	0,06	16,19
	4200	11	0,08	21,59
C.HIDRO	4200	4	0,03	14,3
	4200	8	0,04	16,01
	4200	11	0,05	17,65

DURAMEN				
	RPM	Vf	Ex	Rz
C.CONV	4200	4	0,03	14,15
	4200	8	0,06	15,47
	4200	11	0,08	16,89
C.HIDRO	4200	4	0,03	13,44
	4200	8	0,04	14,74
	4200	11	0,05	15,85

ALBURA				
	RPM	Vf	Ex	Rz
C. CONV	6000	4	0,02	15,5
	6000	8	0,04	15,84
	6000	11	0,06	16,99
C.HIDRO	6000	4	0,01	13,86
	6000	8	0,02	15,27
	6000	11	0,04	15,55

DURAMEN				
	RPM	Vf	Ex	Rz
C.CONV	6000	4	0,02	14,12
	6000	8	0,04	14,82
	6000	11	0,06	16,35
C.HIDRO	6000	4	0,01	13,06
	6000	8	0,02	14,29
	6000	11	0,04	14,96

## Rugosidad superficial Vs Humectabilidad

CONVENCIONAL		
	RZ	H
DURAMEN	14,12	38,89
	14,15	39,73
	14,82	41,34
	15,47	40,93
	15,5	40,29
	15,84	41,44
ALBURA	16,17	41,85
	16,19	42,3
	16,35	41,76
	16,89	41,67
	16,99	41,77
	21,59	44,3

HIDROCENTRADO		
	RZ	H
DURAMEN	13,06	38,54
	13,44	39,35
	13,86	40,18
	14,29	40,4
	14,3	41,32
	14,74	40,16
ALBURA	14,96	41,24
	15,27	40,22
	15,55	41,06
	15,85	41,16
	16,01	41,39
	17,65	41,65

**ANEXO 4**  
**Cuadros generales**

**Resultados obtenidos en las mediciones de EA, Rz y Humectabilidad para cada tipo de cabezal y diferenciando Albura y Duramen**

**CABEZAL CONVENCIONAL Z=4**

	RPM	Vf	ESP. VIRUTA	EA (RMS)	RUGOSIDAD	HUMECT.
A	4200	4	0,03	2,006	15,06	41,35
A	4200	4	0,03	1,864	16,17	42,18
A	4200	4	0,03	1,725	18,79	43,01
A	4200	8	0,06	1,729	15,67	41,3
A	4200	8	0,06	1,751	16,18	36,95
A	4200	8	0,06	1,735	16,19	37,24
A	4200	8	0,06	1,726	16,72	33,46
A	4200	11	0,08	1,541	19,31	37,75
A	4200	11	0,08	1,697	21,59	37,63
A	4200	11	0,08	1,502	22,14	36,31
A	4200	11	0,08	2,048	23,31	38,84
A	6000	4	0,02	2,146	14,37	44,71
A	6000	4	0,02	2,523	15,50	45,09
A	6000	4	0,02	2,746	15,99	44,82
A	6000	4	0,02	2,677	16,13	45,74
A	6000	8	0,04	2,025	14,89	43,64
A	6000	8	0,04	1,817	15,84	43,44
A	6000	8	0,04	1,725	16,02	43,22
A	6000	8	0,04	1,701	16,6	43,46
A	6000	11	0,06	2,368	16,26	42,71
A	6000	11	0,06	2,023	16,47	44,18
A	6000	11	0,06	2,093	16,99	45,1
A	6000	11	0,06	1,887	18,23	48,41

CABEZAL CONVENCIONAL Z=4

	RPM	Vf	ESP. VIRUTA	EA (RMS)	RUGOSIDAD	HUMECT.
D	4200	4	0,03	1,281	13,52	41,08
D	4200	4	0,03	1,412	13,92	40,77
D	4200	4	0,03	1,330	14,15	41,4
D	4200	4	0,03	1,296	15	42,35
D	4200	8	0,06	1,604	15,11	43,66
D	4200	8	0,06	1,555	15,3	36,21
D	4200	8	0,06	1,563	15,47	37,6
D	4200	8	0,06	1,53	16	32,93
D	4200	11	0,08	1,277	15,94	39,51
D	4200	11	0,08	1,493	16,11	38,54
D	4200	11	0,08	1,534	16,89	39,67
D	4200	11	0,08	1,831	18,62	40,96
D	6000	4	0,02	2,147	13,87	39,83
D	6000	4	0,02	2,457	13,89	38,91
D	6000	4	0,02	2,232	14,6	37,94
D	6000	4	0,02	2,279	14,12	39,89
D	6000	8	0,04	1,494	14,1	41,95
D	6000	8	0,04	1,703	14,82	40,01
D	6000	8	0,04	1,817	15,09	42,11
D	6000	8	0,04	1,799	15,27	35,96
D	6000	11	0,06	1,973	16,01	38,86
D	6000	11	0,06	1,695	16,33	37,53
D	6000	11	0,06	1,790	16,35	38,42
D	6000	11	0,06	1,702	16,72	38,88

CABEZAL HIDROCENTRADO Z=6

	RPM	Vf	ESP. VIRUTA	EA (RMS)	RUGOSIDAD	HUMECT.
A	4200	4	0,03	1,258	14,05	42,8
A	4200	4	0,03	1,07	14,27	37,92
A	4200	4	0,03	1,297	14,30	41,98
A	4200	4	0,03	1,562	14,57	45,23
A	4200	8	0,04	1,637	16,01	41,39
A	4200	8	0,04	1,535	15,46	41,73
A	4200	8	0,04	1,697	16,08	38,93
A	4200	8	0,04	1,679	16,5	43,51
A	4200	11	0,05	1,832	17,17	40,42
A	4200	11	0,05	1,628	16,52	43,1
A	4200	11	0,05	1,652	17,65	39,97
A	4200	11	0,05	1,497	19,27	36,4
A	6000	4	0,01	1,27	13,5	43,06
A	6000	4	0,01	1,261	13,86	42,83
A	6000	4	0,01	1,288	13,97	41,12
A	6000	4	0,01	1,224	14,1	44,3
A	6000	8	0,02	1,455	14,51	40,26
A	6000	8	0,02	1,305	15,27	41,89
A	6000	8	0,02	1,128	15,43	41,45
A	6000	8	0,02	1,333	15,88	43,96
A	6000	11	0,04	1,428	14,83	39,31
A	6000	11	0,04	1,649	15,32	43,19
A	6000	11	0,04	1,541	15,55	42,80
A	6000	11	0,04	1,547	16,49	45,91

CABEZAL HIDROCENTRADO Z=6

	RPM	Vf	ESP. VIRUTA	EA (RMS)	RUGOSIDAD	HUMECT.
D	4200	4	0,03	1,198	13,1	43,48
D	4200	4	0,03	1,047	13,32	37,07
D	4200	4	0,03	1,119	13,44	39,35
D	4200	4	0,03	1,111	13,9	37,51
D	4200	8	0,04	2,088	14,25	40,5
D	4200	8	0,04	2,038	14,48	36,87
D	4200	8	0,04	1,937	14,74	38,48
D	4200	8	0,04	1,684	15,5	38,08
D	4200	11	0,05	1,628	14,94	42,68
D	4200	11	0,05	1,832	15,65	43,66
D	4200	11	0,05	1,652	15,85	40,82
D	4200	11	0,05	1,497	16,95	36,13
D	6000	4	0,01	0,669	12,62	38,14
D	6000	4	0,01	1,635	12,76	36,07
D	6000	4	0,01	1,248	13,06	38,54
D	6000	4	0,01	1,441	13,79	41,42
D	6000	8	0,02	1,512	14,05	38,87
D	6000	8	0,02	1,481	14,1	41,25
D	6000	8	0,02	1,551	14,29	40,40
D	6000	8	0,02	1,661	14,73	41,09
D	6000	11	0,04	1,83	14,73	38,31
D	6000	11	0,04	1,747	14,89	39,64
D	6000	11	0,04	1,863	14,96	40,24
D	6000	11	0,04	2,011	15,27	42,78