

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ASERRADO DE MADERAS COMO RESULTADO DE LA CALIDAD DEL FILO DE SIERRAS DE CINTA

Increase of the productivity in timber sawing because of the blade quality in bandsaws

JHONATTAN TREJO, PABLO NININ, FRANÇOIS NININ,
HERNÁN ARAQUE

Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Universidad de Los Andes. Grupo de Investigación y Desarrollo de la Vivienda con Madera y el Mueble (GIDEVIM). E-Mail: tjhonattan@ula.ve

Recibido marzo 2015. Aceptado Diciembre 2015

Resumen

Se estudió cómo puede ser incrementada la productividad en el proceso de aserrado de maderas del grupo energético II, al aplicar una técnica que mejora la calidad del afilado de sierras de cinta. Para ello, se compararon dos herramientas de corte con idénticas magnitudes geométricas, pero atribuyendo como variable de estudio una Herramienta A representando al afilado convencionalmente aplicado en la industria del aserrío nacional al emplear una piedra abrasiva de granulometría 60 (piedra de desbaste) para el afilado, versus una Herramienta B representando a un acabado final del afilado producto de la utilización de un desbastador equipado con una piedra abrasiva de granulometría 120 (piedra para acabado final) para reducir la rugosidad del metal en el fondo de las gargantas y disminuir las cantidades de rebabas presentes en los dientes de la herramienta afilada bajo las condiciones de la Herramienta A. La Herramienta B tuvo un comportamiento superior, al permitir incrementar el espesor de viruta calculado de 0,58 mm a 0,74 mm, permitiendo tomar 0,16 mm más de madera por cada diente en cada corte, lo que se traduce en incrementos de la productividad del proceso al lograr producir la misma cantidad de piezas aserradas pero un 28 % más rápido al pasar de los 12,5 m/min a 16 m/min (velocidad de alimentación) sin incrementar el consumo energético del proceso ni afectar la rectitud de los cortes.

Palabras claves: Productividad, Aserrado de la madera, Sierras de cintas, Consumo energético, Velocidad de alimentación, Espesor de viruta.

Abstract

It was studied how the productivity could be increased in the process of wood sawing for the energetic group II, with a technique that improves the grinding quality of band saws. Two cutting tools with identical geometry were compared, but attributing as variable of study a "Tool A" as the grinding applied in the venezuelan sawing industry using abrasive stone of

Jhonattan Trejo *et al.*

granulometry 60 (stone of refines), versus a “Tool B” representing a final finish of the product through the utilization of a equipped chisel with an abrasive stone of granulometry 120 (stone by the final finish) to reduce the metal ruggedness down the throats decreasing the amount of burrs on the teeth edges of the tool under the “Tool A” conditions. The “Tool B” had a superior behavior, allowing to increase the chip thickness calculated from 0,58 mm to 0,74 mm, it means that it allowed to take more 0,16 mm of wood for every tooth in all cuts; this implies increases of the productivity of the process, producing the same quantity of pieces of sawn timber but 28 % faster from the 12,5 m/min to 16 m/min (speed of supply) without increasing the energetic consumption of the process and it doesn't affecting the straightness of the cuts.

Key words: Productivity, Timber sawing, Band saws, Energy consumption, Speed of supply, Chip thickness.

1. Introducción

1.1. El aserrado de la madera

El aserrado es una forma de procesamiento primario de las rolas de madera, mediante el uso de maquinarias de corte para obtener diversos productos en forma de paralelepípedo regular denominados piezas aserradas. En el aserrado de la madera al igual que otras formas de mecanizado de materiales (Sarache, 2.000) se busca constantemente cinco principales metas, las cuales se pueden resumir en (JUNAC, 1989): Obtener calidad de superficies y precisión de los cortes. Obtener eficiencia en la operación. Limitar el desgaste de las herramientas. Limitar el consumo de energía y Limitar las pérdidas de materia prima.

Para desarrollar prácticas manufactureras que permitan alcanzar niveles de excelencia productiva en las industrias del aserrío se requiere por lo menos cumplir, controlar y evaluar periódicamente los siguientes aspectos (Ríos, 2005): Requisitos administrativos y documentación para el funcionamiento. Abastecimiento de materia prima (madera en rolas). Característica y necesidades de infraestructura y recursos. Proceso de aserrío. Los productos terminados e Inspecciones sobre la aplicación de los manuales.

Existe una estrecha relación entre la ecoeficiencia y la competitividad de las empresas, puesto que mientras las empresas actúen creativamente y respondan a las exigencias ambientales, no solo reducen los desechos y emplean los recursos más eficientemente, sino también agilizan sus procesos de producción, reducen sus costos, mejoran la calidad de sus productos y toman la delantera ante otras empresas, por lo tanto se vuelven más competitivas (Taylhardt, 1.998).

Para Sandvik (1.999) la principal ventaja de las sierras de cintas en el aserrado en comparación con otros métodos, es que las hojas de las sierras de cinta son más delgadas y producen un ancho de corte menor, por ende experimentan menores

esfuerzos de cortes y menor consumo de energía en el corte, producen menor cantidad de residuos en forma de aserrín como consecuencia del corte, lo cual incide positivamente en el rendimiento de la materia prima al producir más piezas aserradas por la misma unidad de volumen rollizo a procesar.

Dentro de los principales detalles técnicos a considerar en la búsqueda de la eficiencia en el proceso de aserrío se tiene la longitud, ancho y espesor de la cinta y una característica importante es la capacidad de la garganta de las sierras, lo cual debe ser considerada para definir la velocidad de alimentación, la velocidad de la herramienta y consecuentemente derivar en un espesor de viruta o cantidad de madera tomada por cada diente en el proceso de corte.

En este sentido, previo al proceso de aserrado, es necesario determinar parámetros que afectan el corte de la madera y juegan un papel primordial en la operación, como los siguientes (JUNAC, 1.989):

Factores inherentes a la materia prima:

- La especie, orientación de las fibras, extractivos y sustancias minerales presentes en la madera.
- Contenido de humedad de la madera.
- Temperatura de la madera.

Factores inherentes al proceso de corte:

- Ancho de corte (longitud de los filos).
- Profundidad de corte (espesor de viruta).
- Velocidad de la herramienta.
- Velocidad de alimentación.

Factores inherentes a la herramienta:

- Parámetros técnicos geométricos de las herramientas de corte (valores angulares, valores de traba, altura de diente, paso, entre otros).
- Influencia de la calidad del filo.

Estos factores influyen directamente sobre los mecanismos de falla de los elementos constitutivos de la madera y éstos a su vez inciden sobre los esfuerzos de corte, sobre el desgaste de los elementos cortantes y sobre la calidad superficial de las piezas aserradas (productos) (Ninin, 1.986 y Muñoz, 1.986).

En la Figura 1, se aprecia una representación gráfica de una sección de sierra de cinta

realizando el corte en la madera típico del aserrado (corte ortogonal 90-90), en la cual se observan: altura de corte (h), velocidad de alimentación (V_f), paso (P), espesor de viruta (t), velocidad de la herramienta (V_c) y el volumen de particular alojadas en las gargantas de los dientes (A). En la Figura 2 se observan los principales parámetros técnicos de las sierras de cintas.

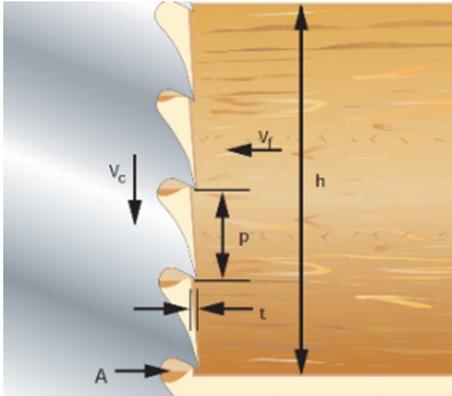


Figura 1. Parámetros técnicos de las sierras de cintas. Fuente: Sandvik, 1999

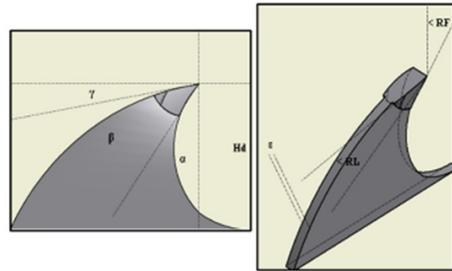


Figura 2. Parámetros técnicos de las sierras de cintas. Donde, γ es el ángulo libre, β es el ángulo de hierro, α es el ángulo de corte, H_d es la altura del diente, RL , RF son los ángulos de rectificación lateral y frontal respectivamente y ϵ el espesor de la cinta.

2. Herramientas de corte empleadas

Se prepararon dos (2) herramientas de cortes o sierras de cinta (Herramienta A y Herramienta B) bajo condiciones similares en referencia a sus parámetros geométricos (Figura 2), definidos por:

2.1. Características de las Herramientas

- Ancho = 200 mm
- Espesor = 1,45 mm
- Longitud = 9.000 mm

2.2. Parámetros Técnicos de las Dentaduras

- Perfil = Pico de Loro
- Paso = 50 mm
- Altura de los dientes = (17 – 18) mm
- Capacidad de las gargantas = 504 mm³
- Ángulo de Corte (α) = 30°
- Ángulo Libre (γ) = 10°
- Ángulo de Hierro (β) = 50°

- Traba (derecha e izquierda) (λ) = 0,8 mm
- Ángulo de Rectificación Frontal = 7°
- Ángulo de Rectificación Lateral = 6°

2.3. Herramienta A

Representa al tipo de afilado convencionalmente empleado en la industria nacional del aserrío, el cual consiste en luego del respectivo diagnóstico y adecuación de los parámetros geométricos de la herramienta, se realiza el correspondiente afilado de los dientes mediante el uso de una equipo en el cual se hace pasar una piedra de desbaste por cada diente en recorrido desde la punta del diente pasando por el fondo de las gargantas hasta llegar al dorso del diente sucesivo, como se aprecia en los puntos 1, 2, y 3 de la Figura 2 y Figura 3.

Estas grietas son una consecuencia del fenómeno metalúrgico conocido como “templado”, el cual por acción de la fricción acentuada entre la piedra abrasiva sobre el acero de la sierra, provoca elevadas temperaturas localizadas en una capa delgada del material las cuales modifican la estructura del acero y cuando se enfrían a temperatura ambiente promueven la aparición de la martensita por fricción, la cual es caracterizada por una alta dureza pero muy frágil, casi como vidrio.

Trejo et al. (2007) y Trejo et al. (2011), demostraron experimentalmente cómo estas superficies rugosas y estas cantidades excesivas de rebabas sobre las herramientas de corte inciden de forma directa y significativamente en el deterioro acelerado de las herramientas de corte, en el consumo energético del proceso, así como en las cantidades de productos defectuosos o de baja calidad como consecuencia de emplear herramientas de cortes en tales condiciones.

En la Herramienta A, se empleó la tradicional piedra abrasiva de óxido de aluminio blanco, con una liga cerámica vitrificada de granulometría 60 habitualmente empleada en Venezuela. Esta técnica es aplicada sobre la dentadura de las herramientas de corte con la finalidad de afilar los dientes y corregir tanto la línea de corte como las aristas de cada diente, tal como se aprecia en la Figura 3.

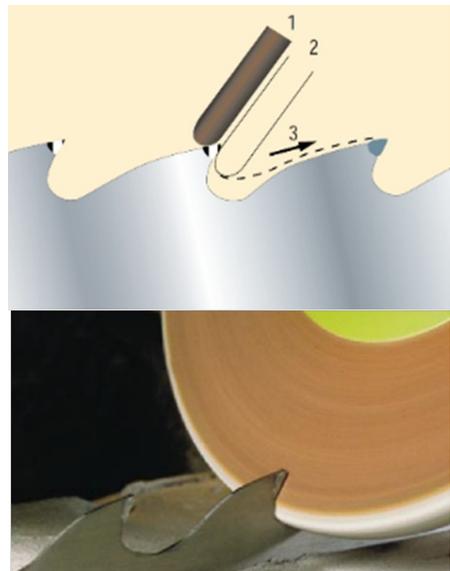


Figura 3. Afilado sin lubricante de los dientes de las sierras de cintas empleando una piedra abrasiva. Fuente: Sandvik, 1999.

Una de las características típicas observadas luego de este tipo de afilado es la evidencia de altas cantidades de rebabas en las gargantas (Figura 4), superficies con abundante rugosidad en los fondos de gargantas (Figura 5), dorso de los dientes y sobre las caras de corte, ocasionadas por la aparición de grietas perpendiculares al eje de las cintas, las cuales son producto del paso de la piedra abrasiva para desbaste (granulometría 60).

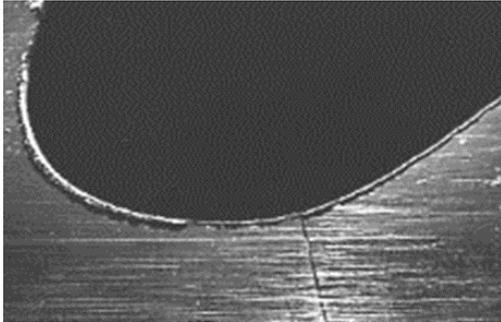


Figura 4. Formación de rebabas producto del afilado. Fuente: Sandvik, 1999.

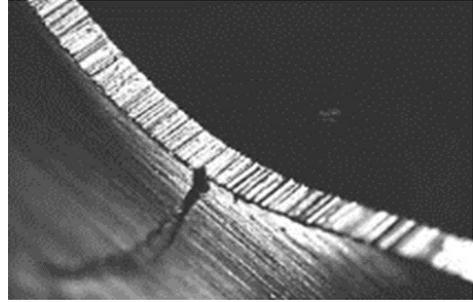


Figura 5. Rugosidad y grietas en las gargantas (perpendiculares a eje de la sierra) producto del afilado. Fuente: Sandvik, 1999.

Estas grietas son una consecuencia del fenómeno metalúrgico conocido como “templado”, el cual por acción de la fricción acentuada entre la piedra abrasiva sobre el acero de la sierra, provoca elevadas temperaturas localizadas en una capa delgada del material las cuales modifican la estructura del acero y cuando se enfrían a temperatura ambiente promueven la aparición de la martensita por fricción, la cual es caracterizada por una alta dureza pero muy frágil, casi como vidrio.

Trejo *et al.* (2007) y Trejo *et al.* (2011), demostraron experimentalmente cómo estas superficies rugosas y estas cantidades excesivas de rebabas sobre las herramientas de corte inciden de forma directa y significativamente en el deterioro acelerado de las herramientas de corte, en el consumo energético del proceso, así como en las cantidades de productos defectuosos o de baja calidad como consecuencia de emplear herramientas de cortes en tales condiciones.

2.4. Herramienta B

Representó un tipo de afilado con alta calidad de superficie luego del tradicional afilado de la herramienta de corte según lo descrito anteriormente (Herramienta A), se aplicó una técnica recomendada por Sandvik (1999), la cual consiste en pasar por todas las gargantas de la sierra un equipo rotativo escarificador o desbastador de forma similar a lo observado en la Figura 6, para eliminar tanto las rebabas como las grietas en los fondos de las gargantas de la sierra productos del afilado.

Para este estudio, se utilizó como equipo de desbaste un taladro debido a su alta

velocidad de giro (aproximadamente 30.000 rpm) equipado con una piedra abrasiva de mayor granulometría que para el caso de la Herramienta A, es decir, una piedra para acabado final de granulometría 120 matriz resinoide con el objetivo de reducir al mínimo la rugosidad promedio de las gargantas de los dientes, la cantidad de material en forma de rebaba y dejar los fondos de gargantas con superficie pulidas y libre de grietas visibles macroscópicamente.



Figura 7. Técnica para eliminar las rebabas, las grietas en las gargantas (rugosidad) y aumentar la calidad final del afilado. Fuente: Sandvik, 1999

Para validar científicamente la comparación de las herramientas de corte (Herramienta A y Herramienta B), se emplearon los parámetros geométricos recomendados por Ninin (1.986), para el Grupo Energético correspondiente, con una intensidad de muestreo del 20 % de los dientes que conforman las herramientas y seleccionados aleatoriamente.

Luego de preparar las herramientas, se logró obtener la conformidad comparativa de ambas herramientas, puesto que el coeficiente de variación CV (%) determinado entre los dientes seleccionados fue inferior al 10 %, discriminado de la siguiente manera:

CV (%) de la muestra (para $n = 40$ dientes/Sierra) = 6,44 %.

CV (%) del ángulo de corte (α) = 6,44 %.

CV (%) del ángulo libre (γ) = 6,73 %.

CV (%) del ángulo de hierro (β) = 6,59 %.

CV (%) de la Traba izquierda (λi) = 7,12 %.

CV (%) de la Traba derecha (λd) = 7,08 %.

3. Maquinaria utilizada

La maquinaria empleada fue una Sierra de Cinta Principal vertical de 1.400 mm de diámetro de volantes, con potencia no holgada de 54 HP, perteneciente al aserradero experimental del Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes (LNPF-ULA), Mérida – Venezuela-

3.1. Materia prima procesada

La especie utilizada fue un Pino pátula (*Pinus patula*) procedente de la Estación Experimental Bosque San Eusebio de la Universidad de Los Andes, ubicada en Mérida-Venezuela, con una densidad básica promedio de 0,527 gr/cm³ en sus zonas más homogéneas, que corresponde al Grupo Energético II el cual abarca un rango de

Jhonattan Trejo *et al.*

densidad de (0,5 – 0,6) gr/cm³.

3.2. Condiciones del procesamiento

La madera en rolas fue procesada con un contenido de humedad promedio (CH %) superior al valor del Punto de Saturación de las Fibras (superior al 30 %).

Se estandarizaron las alturas de corte (Hc) a 30 cm (± 3 cm), con la finalidad de mantener siempre la misma cantidad de dientes cortando en un instante dado, para este caso, 6 dientes cortando a la vez.

Se calculó el Espesor de viruta (Evopt) para una altura de corte (Hc) estandarizada a 30 cm, considerando la capacidad instalada de la maquinaria empleada, velocidad de la herramienta (Vh) de 1.082 m/min, velocidad de alimentación (Val) de 13 m/min y paso (P) de 50 mm (Ninin, 1.986).

Partiendo que:

$$Evopt = (Val + P)/Vh, \quad Evopt = 0,58 \text{ mm}$$

Durante el procesamiento, se tomaron lecturas referidas con el consumo de energía en Amper (A) del motor de la Sierra Principal.

Se evaluaron en forma simultánea, aleatoria y constante, la rectitud del corte con respecto a la superficie formada en la rola a través de la observación del desvío de la línea de corte con una regla metálica larga colocada sobre la superficie originada por la trayectoria de la herramienta y cuantificando la desviación con un Vernier digital (precisión 0,001 mm), para determinar así cuando era improductivo continuar el procesamiento.

Se tomaron fotografías digitales siguiendo el principio del Estroboscopio, durante la salida de la herramienta en el corte de la madera, en diferentes espesores de viruta y para cada caso.

4. Resultados y análisis

4.1 Espesores de virutas y consumo energético en la Herramienta A y la Herramienta B

A modo comparativo en lo correspondiente a la Herramienta A, se realizó una tabla de estimación de la variación promedio del consumo energético (Δ Amper), en diversos espesores de viruta (Ev) y la aparición de los desvíos promedios de la línea de corte (Desvíos Prom), bajo parámetros de control como la Velocidad de herramienta (Vh) y Velocidad de alimentación (Val), según se observa en la Tabla 1.

La aparición continua de desvíos promedios de la línea de corte (Desvíos Prom) en el caso de la Herramienta A, se hacen presente justo al superar el Espesor de viruta calculado ($E_v = 0,58$ mm). Esta situación coincide con un notable incremento del consumo energético del motor (de 10 a 15 Amper de variación), señalado en la Tabla 1 en color rojo.

Tabla 1: Valores comparativos entre V_h , V_{al} , E_v , Desvíos, Δ Amper para la Herramienta A

V_h (m/min)	V_{al} (m/min)	E_v (mm)	Desvíos Prom (mm)	Δ Amper
1.082,4	8	0,37	0	9
1.082,4	12,5	0,58	0	10
1.082,4	14	0,65	1,92	15
1.082,4	16	0,74	2,19	22
1.082,4	18	0,83	4,11	28
1.082,4	20	0,92	6,15	32

Ninin (1.986), explica que el Espesor de Viruta Optimo (E_{vopt}) es aquella cantidad teórica de madera tomada por cada diente durante cada corte y para una altura de corte dada que satura la capacidad de evaluación de las gargantas con el aserrín resultante y con el menor consumo de energía posible. En este caso, se evidenció físicamente la aparición de los desvíos promedios de la línea de corte de forma constante (Figura 7, barras azules) justo al incrementar el Espesor de viruta calculado (0,58 mm).

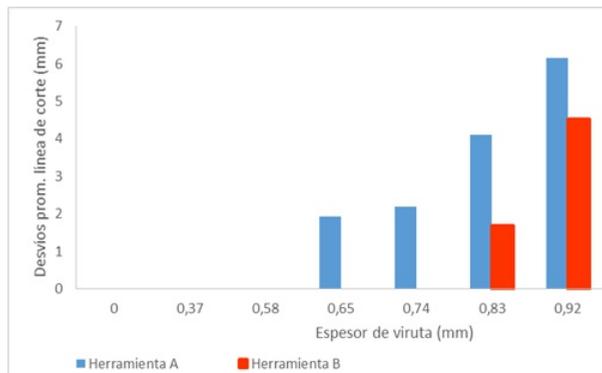


Figura 7. Variación del Consumo de Intensidad de Corriente (Amper) versus Espesor de viruta (mm). Herramienta A.

En el caso de la Herramienta A, gráficamente se evidenció como el consumo de intensidad de corriente se incrementa drásticamente obteniendo los valores máximos justo al superar el Espesor de viruta calculado (círculo azul Figura 8).

Este fenómeno es producto del incremento de los esfuerzos de cortes, mayores dificultades para evacuar el aserrín de las gargantas, derivando en el alabeo de la herramienta y consecuentemente mayores requerimientos energéticos del motor para poder seccionar la madera, por lo tanto, para el caso de la Herramienta A, el Espesor de viruta calculado y el Espesor de viruta óptimo corresponden al mismo valor, Herramienta A = 0,58 mm.

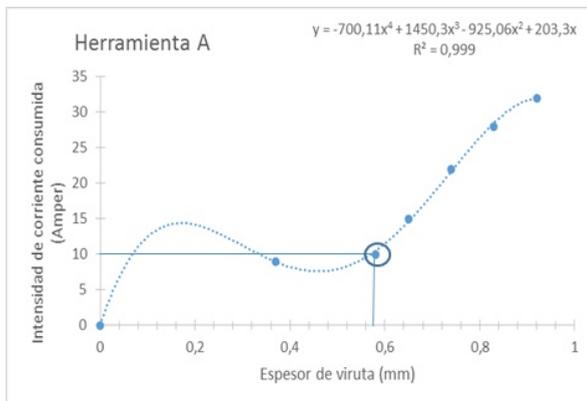


Figura 8. Variación del Consumo de Intensidad de Corriente (Amper) versus Espesor de viruta (mm). Herramienta A.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de la estimación de la variación del consumo energético promedio (Δ Amper), en diversos espesores de viruta (E_v) y la aparición de los desvíos promedios de la línea de corte (Desvíos Prom) en la Herramienta B, bajo parámetros de control como la Velocidad de herramienta (V_h) y Velocidad de alimentación (Val).

Tabla 2: Valores comparativos entre V_h , Val , E_v , Desvíos promedio, Δ Amper para la Herramienta B

V_h (m/min)	Val (m/min)	E_v (mm)	Desvíos Prom (mm)	Δ Amper
1.082,4	8	0,37	0	5
1.082,4	12,5	0,58	0	6
1.082,4	14	0,65	0	8
1.082,4	16	0,74	0	10
1.082,4	18	0,83	1,69	16
1.082,4	20	0,92	4,52	21

La Herramienta B, experimentó una postergación en la aparición de los desvíos de la línea de corte, por encima del Espesor de viruta calculado de 0,58 mm a 0,74 mm (Tabla 2).

Gráficamente se evidenció en la Herramienta B (Figura 9) el comportamiento del consumo de la intensidad de corriente. Constatando el valor referido al

Espesor de viruta libre de desvíos de la línea de corte ubicado en 0,74 mm y al compararlo con la figura anterior (círculo de color rojo) se aprecia que a partir de este valor, el consumo de energía experimentado por el motor de la sierra toma el mismo valor que para el caso del espesor de viruta óptimo de la Herramienta A (10 A) y a partir de allí se incrementa de manera constante y con tendencia creciente sostenida obteniendo los valores máximos para la Herramienta B.

En este sentido, los menores valores referidos al consumos de energía para el caso de la Herramienta B al incrementar el Espesor de viruta calculado en el rango de 0,58 mm a 0,74 mm, puede ser atribuido a la disminución de la cantidad de rebabas producto de un afilado convencional, a la disminución de la rugosidad en las

gargantas de los dientes de la herramienta de corte, lo cual favorece tanto el corte de la madera como a la evolución del aserrín en las cavidades (gargantas) para ser evacuadas cuando el diente sale de la madera luego de terminar el corte en el trayecto de la altura de corte.

Para el caso de la Herramienta B, el Espesor de viruta calculado y el Espesor de viruta óptimo no corresponden al mismo valor ($E_v = 0,58$ mm según definición presentada por Ninin, 1986, $E_{vopt} = 0,74$ mm).

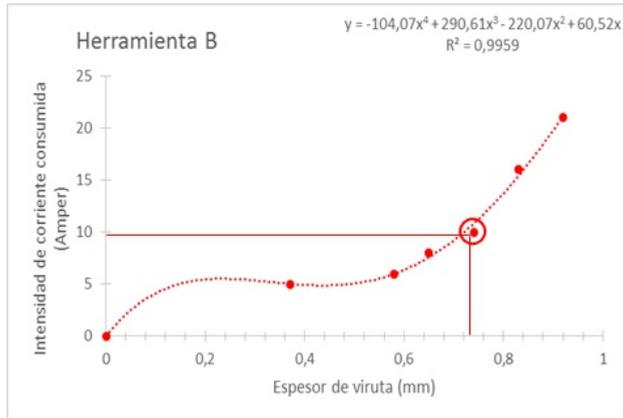


Figura 9. Variación del Consumo de Intensidad de Corriente (Amper) versus Espesor de viruta (mm). Herramienta B

Comparando gráficamente el Consumo de energía promedio entre la Herramienta A y la Herramienta B (Figura 10), se observa no solo una postergación del punto donde se incrementan los valores máximos al aumentar el espesor de viruta (círculo azul Herramienta A y círculo rojo Herramienta B), sino que también se aprecia una notable reducción en los valores generales del consumo energético del motor en el uso de la Herramienta B con respecto a la Herramienta A.

Estos resultados evidencian que con la Herramienta B se puede llegar a alcanzar un 28 % más que el Espesor de viruta calculado, sin comprometer el consumo energético producto del esfuerzo del motor, ni incurrir en los desvíos de la línea de corte, los cuales van a incidir de forma directa en las variaciones dimensionales de las piezas aserradas obtenidas.

4.2. Visualización gráfica de los Espesores de viruta óptimos. Herramienta A = 0,58 mm y B = 0,74 mm

Para comprender mejor lo ocurrido en cada caso (Herramienta A y B), se realizaron fotografías digitales siguiendo el principio del Estroboscopio para visualizar la saturación de las gargantas en el punto de salida del corte de cada diente en la madera.

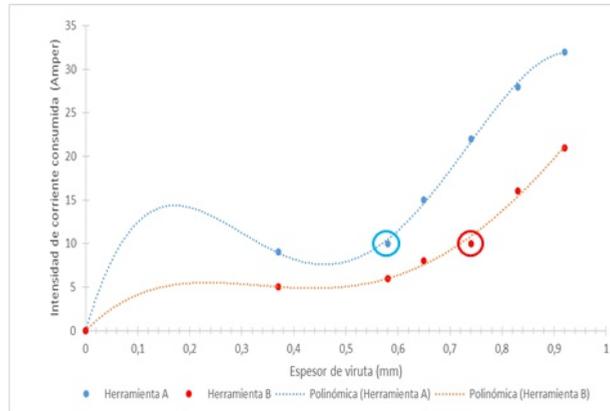


Figura 10. Variación del Consumo de Intensidad de Corriente (Δ Amper) Herramienta A y B

La saturación de las gargantas con el aserrín producto del corte bajo los parámetros referidos al Espesor de viruta óptimo experimentado (0,58 mm) se observa en la Figura 11, con saturación parcial de la cavidad de la garganta con las partículas de virutas y aserrín. En ambas herramientas, el primer diente (Diente 1) se encuentra ocupado con las partículas; en el segundo diente (Diente 2) las partículas se van desalojando progresivamente hacia el exterior de la herramienta, para llegar al tercer diente (Diente 3) en sentido descendente, en donde se comienza a notar una diferencia en la cantidad de partículas alojadas en las gargantas para finalmente llegar a un cuarto y último diente (Diente 4) en donde se evidencia, en la Herramienta B (derecha), que se encuentra totalmente desocupado de partículas, mientras que en el caso de la Herramienta A (izquierda) aún existen remanentes de partículas por desalojar la cavidad.



Figura 11. Espesor de viruta óptimo experimentado (0,58 mm) Herramienta A

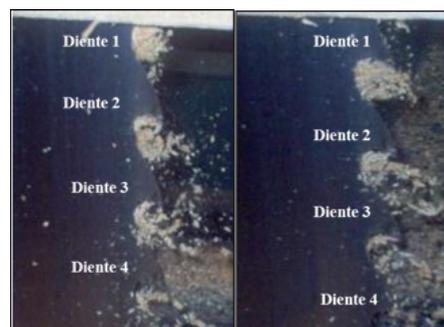


Figura 12. Evacuación de las partículas, Herramienta A (izquierda), Herramienta B (derecha)

La información obtenida de forma experimental es contrastable y energéticamente se puede expresar por medio de la fórmula matemática propuesta por Antoine (s/f) citado por Ninin (1.986):

$$F=a+b+(c'+ c'')$$

Donde:

F = es la componente paralela a la fuerza de corte.

a = es el corte de las fibras.

b = es el doble cizallamiento lateral.

c' = es la transformación de la viruta en aserrín.

c'' = corresponde a la evacuación del aserrín de la herramienta.

En el caso específico de los resultados encontrados en este estudio, se demuestra la influencia directa sobre las componentes c' y c'', principalmente con c'' y la baja rugosidad del metal alcanzado producto del tratamiento empleado en la Herramienta B.

4.3. Incremento en la productividad local del proceso

Casanova (2002) resalta que la productividad es un indicador de la eficiencia, el cual relaciona las cantidades de productos elaborados por un sistema productivo y los recursos empleados para ellos.

En virtud de ello, si se descartan los resultados reportados en Trejo *et al.* (2.007) en cuanto al beneficio obtenido por la mitigación de los efectos del desgaste de las herramientas de corte al lograr extender el tiempo de trabajo, así como lo presentado en Trejo *et al.* (2.011), en donde se evidenció una notable disminución de la cantidad de productos defectuosos o no conformes con las normas de calidad y se analiza solo los resultados presentados en este estudio referidos con la posibilidad de incrementar el espesor de viruta de 0,58 mm a 0,74 mm como el caso de la Herramienta B, es decir, lograr incrementar la velocidad de alimentación de 12,5 m/min a 16 m/min (aproximadamente 28 % más rápido) sin tener que incurrir en costos de adecuación tecnológica o inversión adicional, se puede afirmar que se logra un incremento en la productividad local del proceso, ya que en la misma unidad de tiempo disponible para el proceso, se pueden llegar a obtener cerca de un cuarto adicional de la producción alcanzada con la herramienta convencional tipo A.

5. Conclusiones

La Herramienta B tuvo un comportamiento superior a la Herramienta A, al permitir incrementar el espesor de viruta de 0,58 mm a 0,74 mm, es decir, permitió tomar un 28 % más de madera en cada corte por cada diente.

Al disminuir la rugosidad del metal de los dientes y los fondos de las gargantas como

Jhonattan Trejo *et al.*

en el caso de Herramienta B, se obtienen mejoras considerables en cuanto al deslizamiento de las partículas (virutas) sobre las gargantas de los dientes, lo que favorece la desocupación de las partículas alojadas en las gargantas hacia exterior de la herramienta, prolongando así el punto donde ocurre una sobresaturación de las gargantas con las partículas seccionadas en el corte de la madera.

Es probable que para el caso de la Herramienta A, afilado convencional, debido a las mayores rugosidades presentes en el fondo de las gargantas se presenten dificultades de evaluación del aserrín hacia el exterior de la herramienta, acumulándolo en el trayecto del corte, lo que deriva en un alabeo de la herramienta expresado por los desvíos de la línea de corte al incrementar la velocidad de alimentación por encima del espesor de viruta calculado, así como incrementos sustanciales en el consumo energético del proceso, el cual es un indicador del incremento del esfuerzo de corte.

Al incrementar el espesor de viruta (dentro de lo posible), se obtienen diversos beneficios. Cada diente debe pasar menos veces por la madera para realizar una misma superficie aserrada, lo cual contribuye a disminuir las acciones del desgaste de las herramientas, ya que el desgaste por abrasión es una función del número de pasadas que debe efectuar un filo para producir una superficie determinada, por ello, es una función inversa del espesor de viruta.

Al estandarizar las características geométricas de la herramienta y la velocidad de la herramienta (V_h), se pueden incrementar los espesores de viruta al aumentar la velocidad de alimentación (V_a), lo cual no solo repercute de forma inversa sobre el desgaste de las herramientas, sino de forma proporcional a la productividad de la empresa, ya que si con la Herramienta A se obtiene 1 m^3 de madera aserrada de Pino en una unidad de tiempo determinada, con la Herramienta B se puede llegar a producir $1,28 \text{ m}^3$ de madera aserrada de Pino en la misma unidad de tiempo y sin incrementar el consumo energético del proceso, ni afectar la calidad dimensional de las piezas aserradas, lo cual justifica la aplicación del tratamiento recomendado.

6. Recomendaciones

Repetir la metodología empleada en esta investigación utilizando otras especies que correspondan a otros Grupos Energéticos.

Evaluar los perfiles de desgaste de las herramientas de corte a largo plazo, producto del incremento de los espesores de viruta óptimos.

7. Agradecimientos

Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA) donde se realizó esta investigación, al Instituto para el Desarrollo Forestal (INDEFOR-ULA) por la

donación de la madera.

8. Bibliografía

- CASANOVA, F. (2.002). Formación profesional, productividad y trabajo decente. Boletín 153. Cinterfor. Uruguay.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. (1.989). Manual del Grupo Andino para Aserrío de Sierras de Cintas y Sierras Circulares. 1era Edición. Perú.
- MUÑOZ, A. (1.986). Técnicas de Preparación y Reparación de Herramientas Cortantes. Universidad de Los Andes. Venezuela.
- NININ, L. (1.986). Manual de Aserrado y Afilado. Universidad de Los Andes. Venezuela.
- RIOS, M. (2.005). Manual de buenas prácticas de manufactura para la Industria de Aserrío. Programa de Desarrollo de Políticas de Comercio Exterior. Perú. [Consultado: 10 de febrero de 2011] Disponible en: http://www.mincetur.gob.pe/comercio/Otros/Penx/estudios/Dimensionamiento_Clasificacion_Visual/Inf_Final_MBP.pdf
- SALES, C. (1.990). La scie a ruban. Theorie et pratique du sciage des bois en grumes. Centre Technique Forestier Tropical. Departement du CIRAD. France.
- SANDVIK. (1.999). The Handbook. Production, use and maintenance of Wood bandsaw blades. Sweden.
- SARACHE, L. (2.000). Procesos de conformado con arranque de viruta. Publicaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes. Venezuela.
- TAYHARDAT, A. (1.998). Ecoeficiencia: Moda o Visión? Rev. DEBATES IESA, Gerencia y Ambiente. Vol. 3(4).
- TREJO, J., P. NININ, F. ROSSO y F. NININ. (2.007). Disminución del desgaste de herramientas cortantes y ahorro energético como efecto de la calidad del filo de Sierras de Cintas. Rev. Forestal Latinoamericana. 22(41). 37-56.
- TREJO, J., P. NININ. (2.011). Variación de la calidad de los productos en el aserrado de maderas como efecto de la calidad del filo de sierras de cintas. Rev. Universidad, Ciencia y Tecnología. 15(61). 232-241.