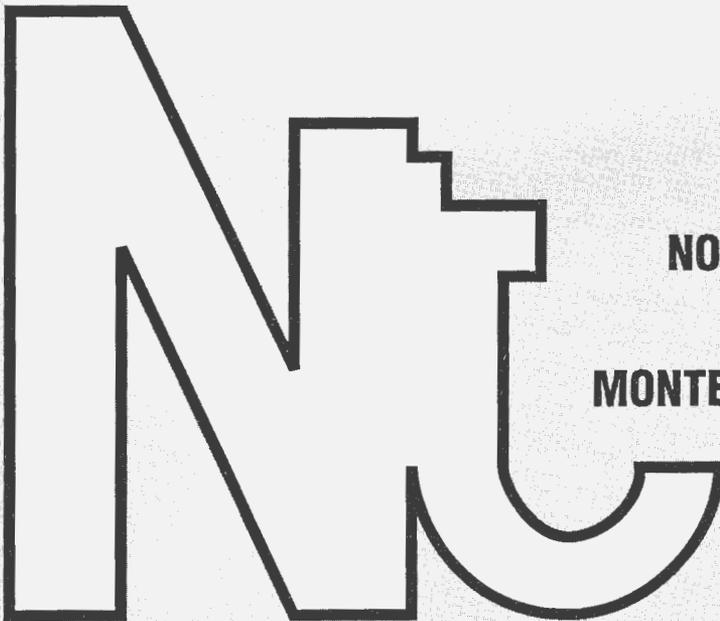


Universidad de la República  
FACULTAD DE AGRONOMIA



# **OPTIMIZACION DEL ASERRADO A TRAVES DEL ANALISIS DEL DISEÑO DE LAS HOJAS DE SIERRA**

**Ing. Agr. Luis Sayagués**



**NOTAS TECNICAS**

**N° 35**

**MONTEVIDEO - URUGUAY**

Las solicitudes de adquisición y de intercambio con esta publicación deben dirigirse al Departamento de Documentación, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo - URUGUAY

**Comisión de Publicaciones:**

Ing. Agr. Jorge Hernández

Ing. Agr. Jorge Pazos

Ing. Agr. Roberto Olivero

Ing. Agr. Gustavo Uriarte (Editor)

Bach. Silvana Machado

Bach. Ivanna Bollazzi

Optimización del aserrado a través del análisis del  
diseño de las hojas de sierra - Luis Sayagués  
Montevideo: Facultad de Agronomía, 1995 -- 28 p.  
(Nota Técnica: 35)

I ASERRADO

I Sayagués, Luis

CDU 630:82

## **OPTIMIZACION DEL ASERRADO A TRAVES DEL ANALISIS DEL DISEÑO DE LAS HOJAS DE SIERRA**

Ing. Agr. Luis Sayagués

### **1. INTRODUCCION**

El sector del aserrado, en nuestro país, como en todos los países subdesarrollados, depende tecnológicamente del exterior. Por tratarse de un sector fuertemente condicionado por las condiciones locales, la importación de tecnología moderna exige, para asegurar un mínimo de posibilidades de éxito, la realización de evaluaciones profundas de su adaptabilidad local.

La tendencia en los países desarrollados, es hacia la automatización total del proceso, debido, fundamentalmente, al alto costo de la manode obra y a la necesidad de procesar enormes volúmenes de madera. En nuestro país, en cambio, ésto está todavía lejano, por razones de costo e infraestructura, principalmente y también por la falta de una masa forestal suficientemente grande. En las condiciones actuales, sin embargo, es posible obtener buenos resultados económicos, realizando una "optimización técnica básica" en los aserraderos existentes, que es, a la vez, un paso obligado para la futura incorporación de tecnologías más avanzadas.

Esta optimización básica debe estar dirigida, esencialmente, a la mejora del corte de las sierras, ya que toda la producción del aserradero pasa por ellas. La productividad, la eficiencia y la calidad de la producción, dependen de ello.

En el presente trabajo, se tratarán los aspectos que son determinantes para lograr la optimización del corte, dentro de las condiciones predominantes en la mayoría de los aserraderos uruguayos.

## **2. VARIABLES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA SIERRA**

Las variables relacionadas al diseño que afectan el funcionamiento de cualquier hoja de sierra, son muchas y bastante complejas. Sobre algunas de ellas, inclusive, no existe consenso entre los investigadores. Se analizarán, a continuación, las variables básicas de las sierras sinfín y circulares, que se emplean en el corte de trozas y en el canteo de costeros.

### **2.1. Geometría del diente**

La geometría del diente, está determinada por los ángulos del diente. Estos ángulos son: el ángulo de ataque; el ángulo de diente y el ángulo de salida (figura 1). Estos ángulos deben estar perfectamente adecuados a la tarea a que está destinada la sierra. En el cuadro 1, se presentan algunas recomendaciones sobre ángulos del diente, recopiladas en la bibliografía técnica especializada.

Al respecto del ángulo de ataque, se puede decir, en general, que las sierras circulares usan ángulos de ataque mayores que las sierras sinfín; las velocidades de avance mayores, requieren ángulos de ataque mayores que las velocidades menores y el aserrado de maderas blandas, como los pinos, requiere de ángulos de ataque mayores que las maderas duras, como algunos eucaliptos. Un ángulo de ataque apropiado, asegura que el diente penetre dentro de la madera, para realizar la acción de aserrado sin que se produzcan efectos adversos. Cuando el ángulo de ataque es excesivo para la tarea, la sierra puede tender a avanzar sobre la troza y en el caso de las sierras sinfín, la hoja puede llegar a saltar de los volantes. Si la velocidad de la madera es demasiado baja para el ángulo de ataque, el diente, en vez de engancharse en la madera, es forzado. Esto produce una tracción excesiva y un incremento del consumo de energía. El filo de corte del diente se desgasta más rápidamente, aumentando la frecuencia del afilado. Un ángulo de ataque demasiado pequeño, aumenta las necesidades de potencia y el riesgo de aparición de grietas. Como regla práctica, se debe usar el mayor ángulo de ataque que la tarea permita. En los aserraderos australianos que trabajan con sierras circulares de dientes trabados para aserrar eucaliptos, es frecuente encontrar ángulos de ataque próximos a los 30°.

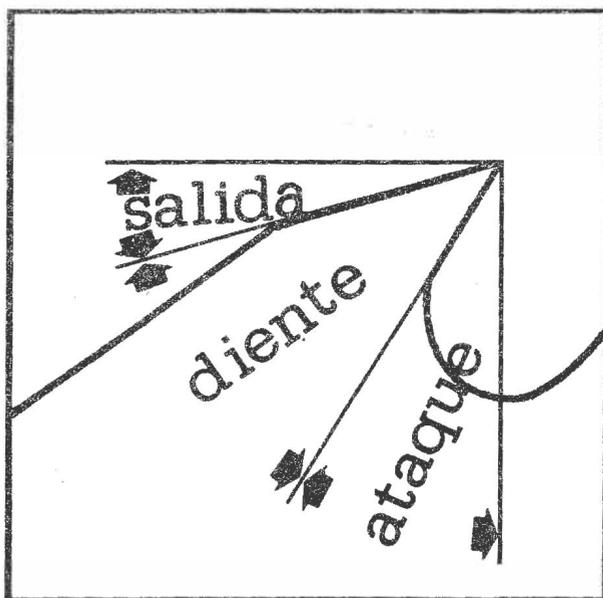


Figura 1. Ángulos de los dientes de sierra

Cuadro 1. Ángulos del diente, adecuados para diferentes condiciones de aserrado de trozas.

Tipo de Sierra	Velocidad de avance (m/min)	Densidad de la madera(*)	ANGULOS DEL DIENTE		
			ataque	diente	salida
SINFIN	45-70	<0,42	25°- 30°	44°- 52°	12°- 16°
	25-45	0,43-0,51	20°- 24°	56°- 60°	8°- 12°
	<25	>0,52	15°- 22°	60°- 67°	6°- 8°
CIRCULAR	-	<0,46	25°- 40°	35°- 55°	10°- 15°
	-	>0,46	10°- 20°	55°- 70°	10°- 15°

(\*) Corresponde al peso específico básico

El ángulo del diente determina la resistencia y la dureza del diente. Se puede decir, en general, que las velocidades de avance mayores, usadas en maderas blandas de coníferas, requieren ángulos del diente menores y que las velocidades de avance menores, usadas con maderas duras de latifoliadas, requieren ángulos del diente mayores (figura 2).

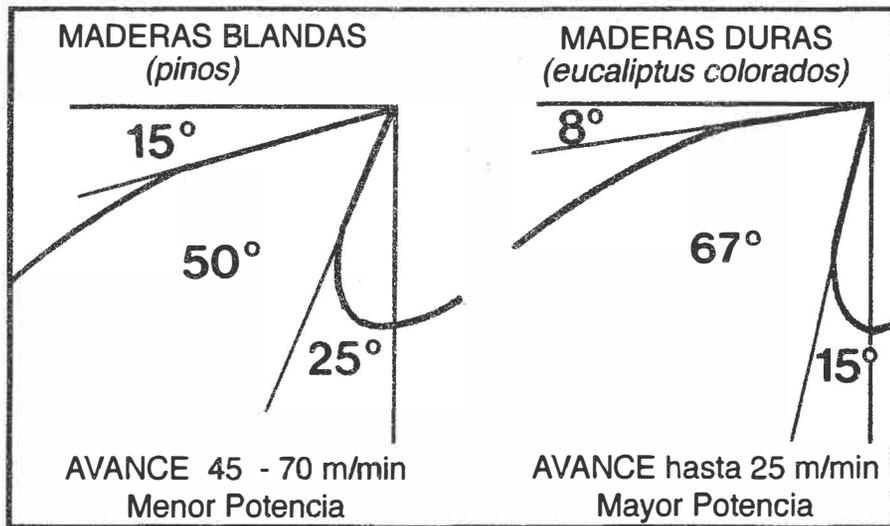


Figura 2. Configuración del diente para dos condiciones diferentes de aserrado.

La velocidad de avance, debe adecuarse a la dureza de la madera. Si los ángulos del diente son demasiado pequeños para la tarea, el filo de corte se vuelve frágil y el diente tiene tendencia a quebrarse al cortar. Con un ángulo del diente excesivo, la velocidad de avance se ve disminuída y la demanda de energía, aumenta.

El ángulo de salida debe ser suficiente para que el dorso del diente despeje la madera, a medida que avanza a través del corte. Si el dorso del diente roza contra la madera durante el corte, se producirá fricción y calentamiento de la sierra (figura 3).

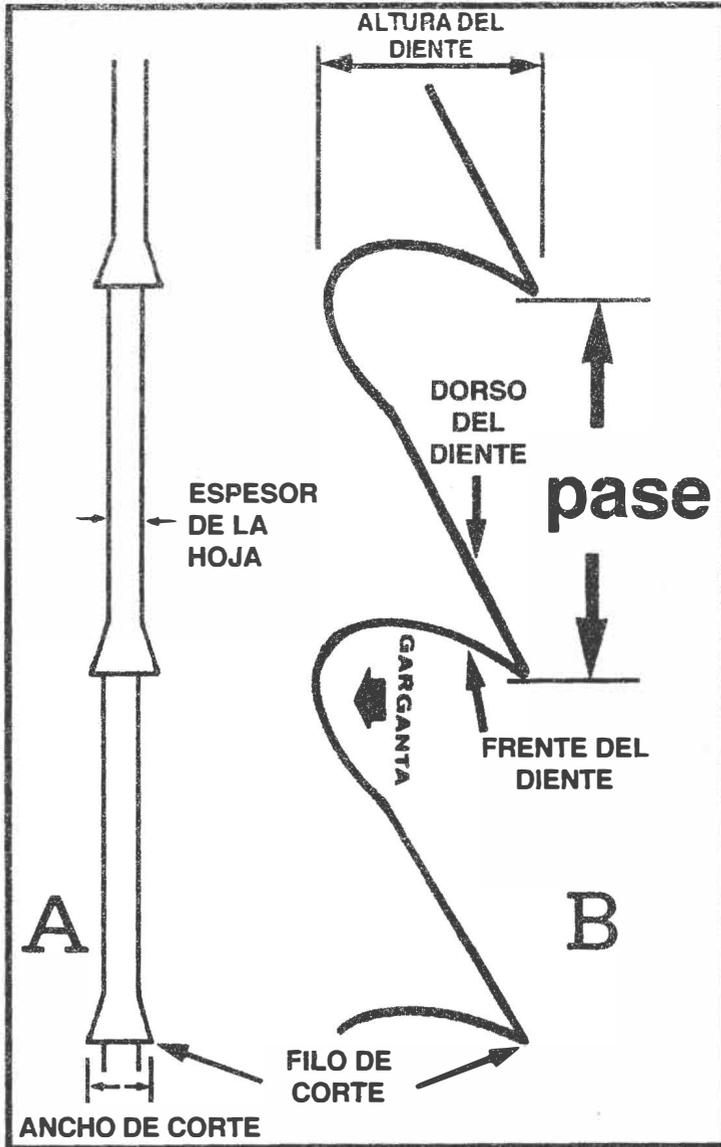


Figura 3. Anatomía de los dientes recalcados de sierra sinfín, en vista superior (A) y lateral (B).

Los ángulos de salida grandes tienen la tendencia de disminuir la velocidad de avance, pero además hacen que la sierra se desafilé más rápido, porque reducen el ángulo del diente. Consecuentemente, un ángulo de salida menor forma un diente más fuerte y enlentece la pérdida del filo de corte. Por otra parte, un ángulo de salida menor, exige una fuerza de alimentación mayor.

En el caso de las sierras circulares de grandes dimensiones y dientes trabados, usadas para aserrar trozas de eucaliptos, algunas experiencias australianas indican que un ángulo de salida de  $1^\circ$  o  $2^\circ$  sería suficiente para la mayor parte de las condiciones de aserrado que se presentan allí, si se consiguieran evitar los desvíos de los dientes. Estos desvíos provienen de las fuerzas laterales que se ejercen sobre el disco o directamente sobre el diente. La principal fuerza lateral se produce por los movimientos transversales de la madera durante el aserrado. Estos movimientos, producidos por las tensiones internas de las trozas de eucaliptos y por el choque del disco al entrar en las rajaduras de la madera, son prácticamente inevitables en este tipo de aserrado. En la práctica, ésto ha llevado a que en los aserraderos de sierra circular en Australia, se empleen ángulos de salida mucho mayores, de  $15^\circ$  y con frecuencia cercanos a los  $20^\circ$ .

## 2.2. Tamaño de la garganta

Una de las más importantes funciones de la garganta del diente, es la de alojar y remover las partículas de aserrín del local del corte. Todo lo que dificulte al diente la realización de esta tarea, debe ser evitado. Estas dificultades pueden deberse a una velocidad de avance excesiva o demasiado lenta; una altura de corte excesiva; una velocidad de corte muy alta o a falta de potencia para la sierra.

El resultado de estos defectos, puede ser la producción de una cantidad excesiva de aserrín, con la producción de partículas de aserrín demasiado finas que escapan por el costado de la garganta o demasiado gruesas, que obturan la garganta, con la posibilidad de parar la sierra en seco dentro del corte.

No es fácil calcular cuanto aserrín puede alojar una garganta, porque depende de muchos factores, como densidad de la madera, contenido de humedad, porcentaje de la garganta que puede ser efectivamente utilizado y de la cantidad de aserrín derramado.

El aserrín recién producido ocupa de 2 a 6 veces más espacio, antes que después de compactado. El aserrín de madera verde, de baja densidad, se expande menos, mientras que aserrín de madera seca, o de madera dura, de alta densidad, se expande más.

El aserrín se compacta en la garganta, debido a la presión ejercida por las partículas de aserrín que se muevan a alta velocidad, golpeando en el aserrín que acaba de depositarse en la garganta. Cuanto más llena está la garganta, mayor es la presión dentro de ella. Se ha conseguido, en pruebas de laboratorio, que la presión dentro de la garganta llegue hasta  $140 \text{ kg/cm}^2$ , que es la presión requerida para comprimir el aserrín en un volumen igual de madera sólida. Sin embargo, es poco probable que las condiciones que lleven a alcanzar esta presión en la garganta, se alcancen regularmente durante un aserrado normal. El aserrín se compacta normalmente, en las gargantas, hasta 50% de su volumen en estado libre en el caso de las sierras sinfín y de las circulares grandes. El espacio que el aserrín ocupa, depende de la forma de la garganta. Una garganta bien redondeada puede ser sólo 1,3 veces mayor que el volumen de madera sólida de la cual se genera el aserrín, mientras que una garganta poco profunda o angular, en la que el aserrín no puede compactarse, debe ser más de 1,5 veces (y hasta 3 veces) mayor que el volumen de madera sólida que producirá el aserrín (figura 4).

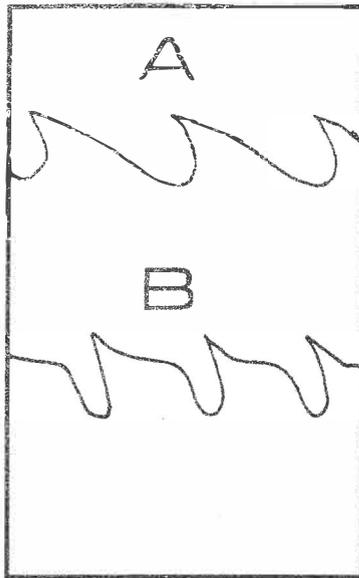


Figura 4. Dos formas de garganta: A permite la compactación del aserrín;  
B dificulta la compactación.

Para designar la capacidad de transporte de aserrín de la garganta, se usará el Índice de Capacidad de la Garganta (ICG). El ICG se define como el cociente del volumen de madera sólida convertida en aserrín y compactada dentro de la garganta, que la garganta puede alojar, sobre el volumen total de la garganta. En una garganta de forma adecuada, que sea sólo 1,3 veces mayor que el volumen de madera sólida que puede alojar como aserrín compactado, el ICG será de 0,77. En una garganta angular, el ICG será menor, de 0,66 o menos. Por ejemplo, suponiendo que una garganta de  $1,0 \text{ cm}^3$  puede alojar  $0,7 \text{ cm}^3$  de madera sólida convertida en aserrín y compactada, diremos que el ICG es de 0,7 (figura 5).



como: Madera sólida cortada = Volumen de la garganta x ICG y:

Volumen de garganta = Ancho de corte x Area de la garganta, podemos transformar la fórmula (2) en:

$$(3) \text{ Altura de corte (cm)} = \frac{\text{Area de la garganta (cm}^2\text{)} \times \text{ICG}}{\text{Mordedura (cm)}}$$

Para que la sierra tenga un buen desempeño, el aserrín debe ser alojado en la garganta, transportado y descargado cuando el diente emerge del corte. Las gargantas demasiado llenas producen un derrame excesivo de aserrín (Foto 1).

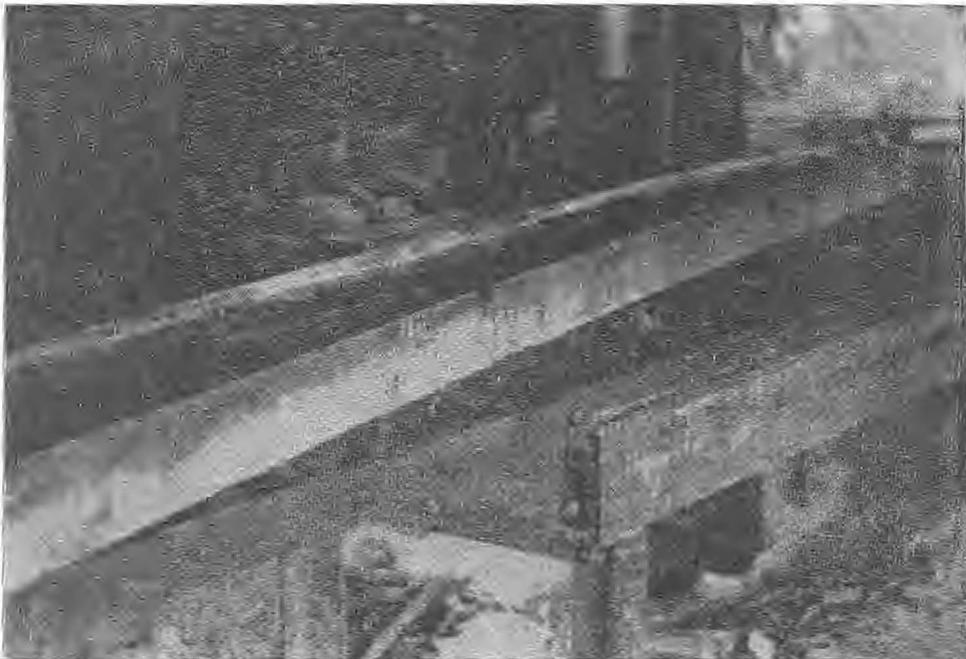


Foto 1. El aserrín que se derrama a los lados de una sierra, se adhiere a la superficie aserrada de la madera.

Como las partículas de aserrín se comprimen entre el disco o la lámina de la sierra y la madera, se produce fricción, calentamiento y enlentecimiento de la sierra. En casos extremos, como ya se dijo, el llenado excesivo de las gargantas puede llevar a la detención de la sierra en

seco dentro de la madera. La exigencia de potencia se incrementa fuertemente, a partir del momento en que comienza a excederse la capacidad de la garganta. El derrame de aserrín normalmente ocurre de forma despareja, forzando a la sierra para afuera de la línea de corte, lo que causa un corte defectuoso.

El volumen de aserrín producido por un diente, depende del volumen de madera sólida cortada y éste, como se vió, depende del ancho de corte, de la altura de corte y de la mordedura. En ningún caso estos factores deben combinarse para producir más aserrín que el que la cavidad de la garganta puede transportar. Al forzar más aserrín para adentro de la garganta, superando su capacidad, se produce una fuerte tensión en el cuerpo del diente. Para asegurarse de evitar la sobrecarga de las gargantas, se puede establecer una relación entre la mordedura -que está en realidad controlada por la velocidad de avance- y la profundidad de corte. Por ejemplo, cuando se aumenta la profundidad de corte, la velocidad de avance y en consecuencia la mordedura, pueden ser reducidas para producir el mismo volumen de aserrín. La reducción en la velocidad de alimentación al aserrar trozas de diámetros mayores, es una práctica corriente entre los operadores de las sierras. Sin embargo, el tamaño de esa reducción está basado en la experiencia individual y no en cálculos matemáticos. En esas condiciones, la habilidad y experiencia del operador, son críticas para determinar la calidad del corte y el desempeño de la sierra. Esta relación entre altura de corte y velocidad de avance, puede ser regulada, como se verá más adelante dentro de límites previamente establecidos.

Las gargantas excesivamente grandes para su tarea, también pueden producir problemas de transporte y descarga de aserrín. El perímetro muy grande de una garganta que no alcanza a llenarse nunca, puede permitir que el aserrín escape más fácilmente. El aserrín que escapa de la garganta puede pegarse a los lados del corte de forma despareja, lo que puede producir una vibración excesiva el diente, que a su vez puede conducir a la formación de grietas en la hoja.

En general, al aserrar trozas más finas o costeros, cuando las alturas de corte son menores, la mordedura puede ser incrementada al máximo. La mordedura máxima, debe ser transformada en la correspondiente velocidad de avance y se debe tener cuidado de no excederla. La mordedura excesiva en las alturas de corte menores, puede dañar el cuerpo del diente, así como a la sierra. Con alturas de corte pequeñas, la tendencia del operador es a excederse en la velocidad de alimentación, debido a que la potencia disponible es normalmente mayor que la necesaria para esas condiciones. La velocidad de alimentación excesiva produce muchas veces un rasgado de la madera, particularmente alrededor de los nudos mayores, produciendo una superficie áspera en las tablas.

Al aserrar trozas finas es mejor usar el mayor número de dientes posible, para permitir desarrollar la mayor velocidad de avance posible y con ésto, maximizar la productividad y producir una superficie, de las tablas, más suave. El tamaño de la garganta debe estar dimensionado de acuerdo con la tarea. El uso de gargantas muy grandes, para aserrar trozas finas o costeros, reduce el número de dientes que podrían colocarse en la hoja. Por lo tanto, la velocidad de avance disminuye y la producción se retarda. Para aserrar trozas más gruesas se deben usar gargantas mayores, para transportar un mayor volumen de aserrín. El aserrado de trozas más gruesas con gargantas de capacidad insuficiente, produce generalmente, una sobrecarga de la garganta, con los problemas consecuentes.

El tamaño de la garganta debe ser medido cuidadosamente.

Un método que puede usarse para determinar el área transversal de la garganta, es delinear la garganta en un papel milimetrado, con 100 cuadrados por  $\text{cm}^2$ . Después, se cuenta la cantidad

de cuadrados incluidos dentro del borde de la garganta. Se divide este número por 100 y se obtiene el área de la garganta en  $\text{cm}^2$ .

### 2.3. Espacio lateral

El espacio lateral debe ser analizado necesariamente en conjunto con el ancho de corte y el espesor de la sierra. Una vez establecido el espacio lateral adecuado para un trabajo y conocido el espesor de la sierra, el ancho de corte queda establecido automáticamente.

El espacio lateral debe adecuarse a la tarea. Está afectado por el tipo de sierra y de diente; por el tipo de madera aserrada; por el contenido de humedad de la madera; por la condición existente en el filo de corte; por el alineamiento del equipo; por el tipo de sistema de guías o taqueras y por la geometría del diente.

El filo de corte debe abrir un camino en la madera, suficientemente ancho, como para que pase la hoja de la sierra, sin que se produzca fricción excesiva (figura 6). La fricción produce calor y éste, a su vez, puede generar un gradiente de calor en la sierra, que afecta las fuerzas de tensión de la sierra.

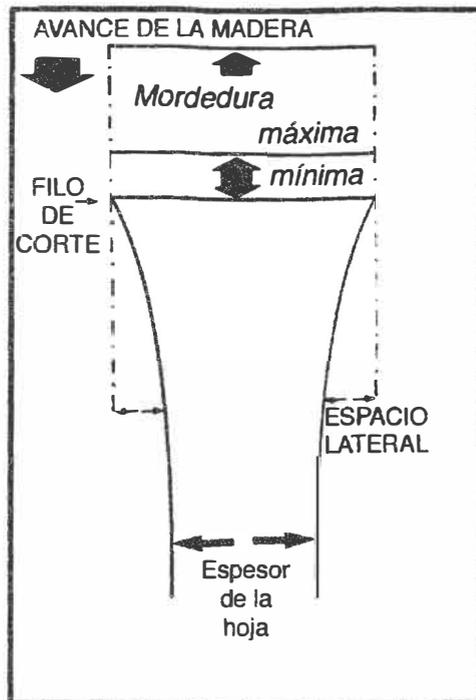


Figura 6. Vista superior del filo de corte y del espacio lateral, en un diente recalcado.

Un espacio lateral excesivo, puede causar exceso de tensión en el cuerpo del diente, y en consecuencia, producir inestabilidad en la sierra. Además, aumenta la demanda de potencia.

A medida que el filo de corte penetra en la madera, las fibras se comprimen ligeramente, hasta que son cortadas. Luego de cortadas, las fibras adyacentes al corte, comprimidas, vuelven aproximadamente a su posición original. El espacio lateral debe ser suficiente como para mantener las fibras, en la posición de retorno, alejadas del contacto con la sierra.

Las coníferas en general, tienden a tener un grano más fibroso y por eso no permiten cortes tan limpios y suaves como la mayoría de las latifoliadas, aunque hay excepciones. Las coníferas, por lo tanto, requieren en general, un espacio lateral un poco mayor que las latifoliadas. Se considera que el aserrado en coníferas requiere un espacio lateral 40% a 50% mayor que el espesor de la sierra, mientras que las maderas duras de latifoliadas requieren un espacio lateral aproximadamente 25% mayor que el espesor de la sierra, a cada lado.

La reducción del espacio lateral, reduce las necesidades de potencia. En los cuadros 2 y 3, se presentan los espacios laterales recomendados para sierras de cabecera sinfín y circulares, adaptados de diversos autores.

Cuadro 2. Espesor de la hoja, ancho de corte y espacio lateral recomendados para sierra sinfín.

Espesor de la hoja (mm)	Ancho de corte (mm)	Espacio lateral (mm)
0,89	2,03	0,57
1,06	2,41	0,68
1,24	2,79	0,78
1,47	3,17	0,85
1,65	3,43	0,89
1,82	3,94	1,06
2,10	4,32	1,11
2,41	4,83	1,21
2,77	5,46	1,35
3,05	5,97	1,46

Cuadro 3. Diámetro del disco, espesor del disco, ancho de corte y espacio lateral recomendados para sierra circular.

Diámetro del disco (cm)	Espesor de la hoja (mm)	Ancho de corte (mm)	Espacio lateral (mm)
35-40	3,40	6,8	1,7
50-75	3,76	7,2	1,7
85-125	4,19	8,0	1,9
130-150	4,57	8,4	1,9

#### 2.4. Diámetro del disco de sierra o del volante

El diámetro de una sierra circular debe ser el menor posible, que sea capaz de aserrar la troza o tabla que se pretende procesar. El uso de una sierra mayor que lo necesario aumenta el tiempo de mantenimiento y con ello los costos. Para obtener la máxima eficiencia, el diámetro de la sierra debe ser adecuado a la tarea.

El diámetro de la sierra circular, limita la altura de corte que se puede aserrar con eficiencia. Si bien es técnicamente posible aserrar una altura de corte igual al radio de la sierra menos el radio de la platina, esa no es la práctica recomendable. Las sierras menores pueden adecuarse a esta práctica más fácilmente que las mayores. Como regla práctica, una sierra circular debe aserrar una altura de corte no mayor que aproximadamente  $2/3$  del radio de la sierra. Esta medida es llamada por algunos autores como "altura efectiva de corte". En la figura 7, se presenta un ejemplo de esto.

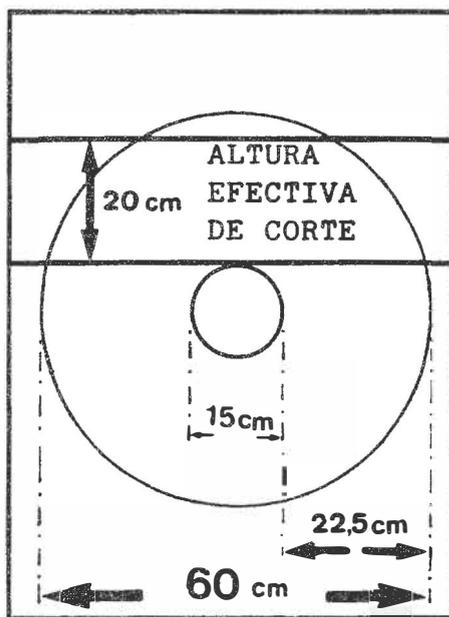


Figura 7. Altura efectiva de corte de una sierra circular de 60 cm de diámetro.

La altura efectiva de corte, no indica el diámetro máximo de troza que la sierra puede cortar. Cuando se abre una troza, el operador, generalmente, no inicia el corte por el medio de la troza, sino que corta un costanero y a veces algunas tablas, luego gira la troza. Por lo tanto, la troza queda reducida a un tamaño en el cual puede ser aserrada sin ser girada más. En el cuadro 4, se presenta la relación entre la altura efectiva de corte, el diámetro de la sierra circular y el diámetro mayor de troza que puede aserrar.

En el caso de una sierra sinfín, la determinación del diámetro del volante adecuado para una determinada tarea, es más difícil que en el caso de la sierra circular. Para decidir la medida del diámetro del volante, debe considerarse el espesor de la sierra, el ancho de la lámina, el pase entre los dientes, la altura del diente y el área de la garganta. Una vez que se establece la altura, debe ser respetada estrictamente. Si se excede la altura de corte establecida, las gargantas se saturan de aserrín o se produce un aserrín demasiado fino, lo que hace que la sierra salga de la línea de corte, produciendo defectos en la madera aserrada. Después de establecida la altura de corte para una operación, se debe usar el menor diámetro de volante posible.

Cuadro 4. Relación entre el diámetro del disco de sierra circular, la altura efectiva de corte y el diámetro mayor de trozas a aserrar.

Diámetro del disco de sierra circular (cm)	Altura efectiva de corte (cm)	Diámetro mayor de troza (cm)
82	25	34
86-91	28	40
96	30	44
102	33	46
107-112	36	51
117	38	53
122	40	56
127-132	43	66
137-142	46	76

### 2.5. Espesor de la hoja de sierra

La regla práctica más utilizada para determinar el espesor de las láminas de sierra sinfín es que el espesor debe ser 1 milésimo del diámetro del volante. Para sierras con volantes mayores de 1,10 m, el espesor es un poco mayor y en sierras menores a 1 metro, el espesor es un poco menor a un milésimo.

Cuando el espesor de la lámina es excesivo para el diámetro del volante, la lámina sufre tensiones excesivas que producen, frecuentemente, grietas y rajaduras (foto 2).

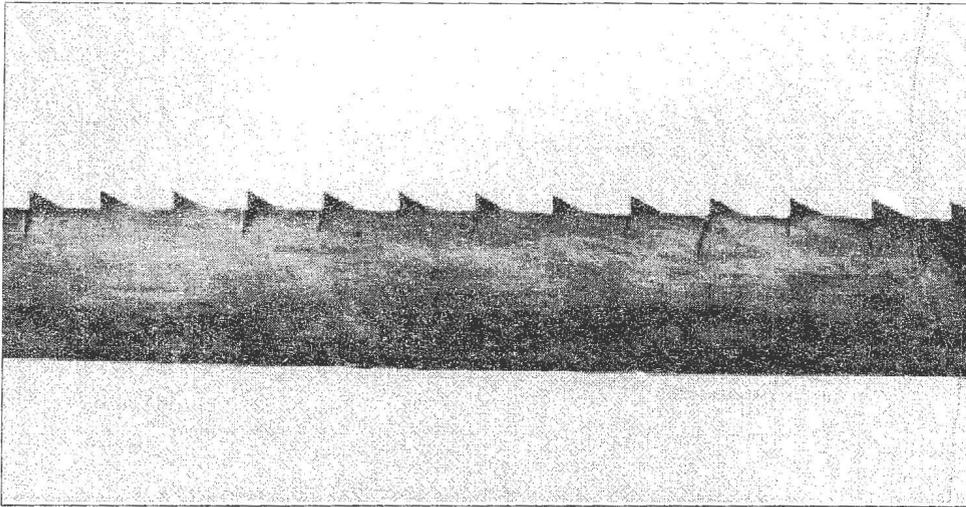


Foto 2. Hoja de sierra sinfín, con grietas en el borde dentado.

Las sierras agrietadas producen problemas de operación, contribuyen para que ocurra una sinuosidad excesiva del corte y con frecuencia, acaban partiéndose. En hojas que son demasiado finas para el diámetro del volante, no se producen grietas necesariamente, pero a menudo la sierra no soporta las fuertes tensiones provocadas al aserrar las alturas de corte mayores ni las mayores velocidades de alimentación.

En las sierras circulares, la determinación del espesor del disco es más difícil. Depende del uso a que se destinará la sierra y del tipo de mantenimiento que recibe. Para el aserrado de trozas, se llegan a usar sierras de espesor de 4,2 mm a 4,6 mm. Para maderas duras, si hay exigencias mayores, se usan espesores mayores y para maderas blandas, menores. Cuando se selecciona una sierra para un trabajo específico, se deben determinar las condiciones de alimentación más severas a que será sometida en régimen de trabajo continuo. Así, la sierra puede diseñarse para soportar esas cargas de la forma más eficiente. Si una sierra está continuamente expuesta a condiciones de sobrecarga, producirá madera irregular y tendrá una vida útil reducida. Las sierras para reaserrado pueden ser de una gran variedad de espesores. El ancho de corte varía de 0,3 a 0,5 cm. El uso de un disco de menor espesor para obtener un ancho de corte menor, puede no producir una deseada reducción de las pérdidas de madera, en forma de aserrín. La razón principal de esto, es que una lámina más fina requiere más cuidado en la operación y mantenimiento, para que no se produzca mucha desviación en el corte.

El caso de los discos cónicos es diferente. Estos discos presentan un espesor desuniforme, mayor en el centro del disco y menor en la periferia y fueron creados para disminuir las pérdidas de madera como aserrín. Estos discos pueden ser de simple o doble conicidad (figura 8) siendo que los últimos se utilizan para aserrar trozas por la línea central.

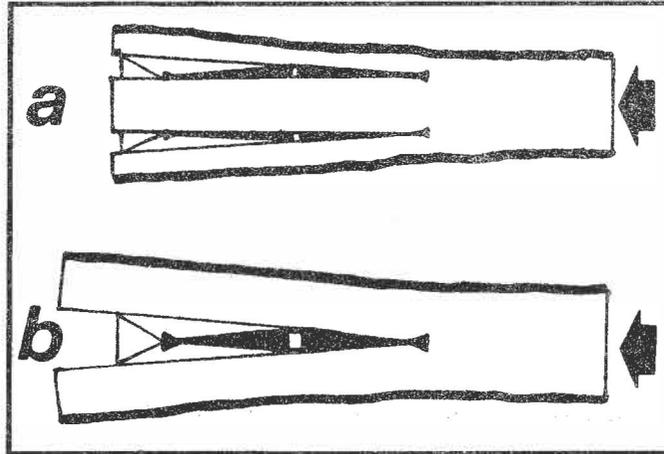


Figura 8. Sierras circulares: a- cónicas, b- bicónicas.

En discos cónicos de hasta 60 cm de diámetro, el espesor de los dientes es de hasta 1,8 mm, mientras que en el centro llega a 3,2 mm. El uso principal de estos discos, es para aserrar madera seca, de pequeñas dimensiones, produciendo tablas suficientemente delgadas como para que se doblen hacia afuera durante el corte y no rocen contra las áreas más gruesas de la sierra.

## 2.6. Potencia

Es difícil determinar todas las variables que afectan las necesidades de potencia en el aserrado. Es más difícil aún, establecer como esas variables interaccionan y colocarlas dentro de una sola fórmula, que describa con precisión su comportamiento durante el aserrado. Para que una sierra trabaje adecuadamente, el diente debe moverse a velocidad constante y la mordedura debe estar dentro de límites preestablecidos. Para que todo esto ocurra, debe ser suministrada una potencia adecuada a la sierra. Esto incluye la fuente de potencia designada para la tarea y un sistema de enganche correa/polea, apropiado, y correctamente instalado.

Las necesidades de potencia cambian continuamente durante el proceso de aserrado. Alturas de corte mayores, requieren de más potencia que alturas de corte menores; maderas más duras requieren más potencia que las más blandas; velocidades de corte mayores y consecuentemente mayores velocidades de avance del carro, requieren de más potencia que velocidades menores y anchos de corte mayores requieren más potencia que anchos de corte menores. Sin embargo, el aumento de la mordedura no significa necesariamente, que se deban aumentar los requerimientos de potencia. Existen tres alternativas posibles para incrementar una determinada mordedura: en la primera, se mantienen el número de dientes y la velocidad del carro constantes y se disminuye la velocidad de corte. En este caso, la mordedura se incrementará y las necesidades de potencia disminuirán. Esto se debe a que se producen menos cortes a través del grano, por centímetro de avance. La segunda posibilidad, es reducir la cantidad de dientes, manteniendo la velocidad de corte y del carro constantes; la mordedura se incrementa y la

demanda de potencia disminuye . Esto se debe también a la menor cantidad de corte a través del grano, por centímetro de avance. La tercer posibilidad es mantener constantes el número de dientes y la velocidad de corte e incrementar la velocidad del carro. Con ésto, se incrementa la mordedura y también la demanda de potencia.

Esto se debe al mayor trabajo realizado por unidad de tiempo, comparado a las dos situaciones anteriores. Sin embargo, la cantidad de corte a través del grano, es la misma que en los dos casos anteriores. (figura 9).

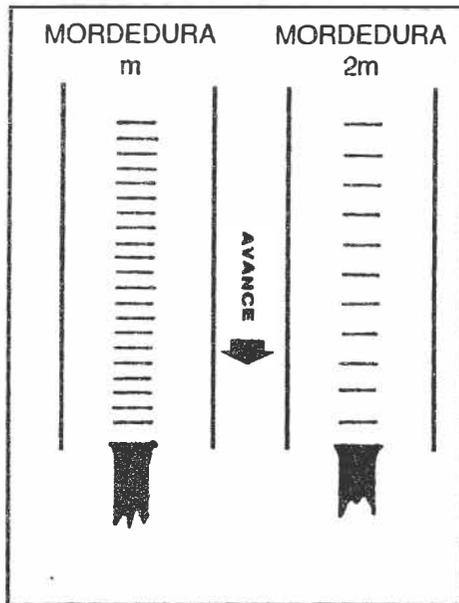


Figura 9. Cambio en la mordedura.

La fuerza usada en el filo de corte es la misma, tanto para producir una partícula fina como una gruesa. Es mayor, normalmente, que la fuerza usada a lo largo de los lados y por debajo del punto de corte. Duplicando el espesor de las partículas, las fuerzas menores, usadas para el corte lateral y para la desagregación de las partículas de aserrín, pueden ser el doble, pero la fuerza mayor, usada en el filo de corte para cortar a través del grano, permanece igual. Por lo tanto, una partícula que sea el doble de gruesa, puede ser producida usando menos del doble de la fuerza original.

Existen muchas fórmulas para el cálculo de la potencia necesaria para operar las sierras en determinadas condiciones de trabajo. A partir de datos suministrados por Lunstrum (1972;1985) se desarrolló una fórmula para el cálculo de las necesidades de potencia que emplea el valor constante de 0,000465 HP/cm<sup>2</sup> de área de garganta por minuto. Esta fórmula se calculó para un ancho de corte de 6,35 mm para sierras sinfín y de 8,74 mm para sierras circulares. Para un aumento o una disminución de 0,8 mm en el ancho de corte, se aumenta o disminuye un 11% los HP calculados. Para la mordedura, se considera el valor de 3,2 mm como valor base de 1.

Cuando la mordedura máxima es menor que 3,2 mm, se multiplica la potencia calculada por 0,65 y cuando es mayor que 3,2 mm, se multiplica por 1,65. Para incluir la dureza de la madera, se toma como valor base de 1 el peso específico básico (calculado como : peso de la madera anhidra/volumen de la madera en estado verde) de 0,46. Cuando la madera tiene un peso específico básico mayor a 0,46, se multiplican los requerimientos de potencia por 1,25 cuando el peso específico está entre 0,46 y 0,55 y por 1,5 cuando el peso específico es superior a 0,56. Cuando el peso específico es menor que 0,46, se multiplica la potencia calculada por 0,85.

Usando criterios diferentes para el cálculo de potencia, Academia Hutte (1978), desarrolló otra fórmula. Esta se basa en el concepto de que la potencia total (Pt) que el motor debe suministrar para posibilitar un trabajo adecuado de la sierra depende de la potencia necesaria para hacer girar la sierra en vacío, (Po) de la potencia necesaria para el corte (Pc) y del rendimiento del motor (R) que normalmente está entre 80 y 90%:

$$Pt = Po + \frac{Pc}{R}$$

Donde: Pt = potencia total

Po= potencia en vacío

Pc= potencia de corte

R = rendimiento del motor.

La potencia en vacío, en el caso de las sierras sinfín, depende del diámetro y peso de los volantes, de su inercia, de la tracción para el estiramiento de la hoja y de las r.p.m. del volante. Para volantes que giran sobre cojinetes de rodamientos, Hutte recomienda la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia en vacío:

$$Po = (0,013 \cdot T \cdot D \cdot N / 5.370.000) + 0,5$$

Donde: Po = potencia en vacío (HP)

T = fuerza máxima de tracción sobre la hoja (normalmente, entre 600 kg/cm<sup>2</sup> y 1200 kg/cm<sup>2</sup>)

D = diámetro del volante (cm)

N = r.p.m. de los volantes

Para sierras sinfín con volantes de diámetro menor a 1,5 m la potencia en vacío está entre 3 y 8 HP.

La potencia de corte depende de una serie de factores, como el ángulo de ataque, la altura de corte, el pase, la mordedura, el ancho de corte y la resistencia de la madera. Para dientes recalcados, Academia Hutte (1978) recomienda la siguiente fórmula:

$$Pc = \frac{\alpha \cdot h}{75 \cdot p} (1 + 0,55 \sin \alpha - \cos \alpha) m.a.k_1 + (2mk_2 + ak_3) \sqrt{m}$$

Donde: Pc= potencia de corte (HP)

$\alpha$  = 90° menos ángulo de ataque

h = altura de corte (mm)

p = pase (mm)

$m$  = mordedura (mm)

$a$  = ancho de corte (mm)

$k_1$  = resistencia de la madera a la compresión paralela al grano ( $\text{kg/mm}^2$ )

$k_2$  = resistencia de la madera al cizallamiento paralelo al grano ( $\text{kg/mm}^2$ )

$k_3$  = resistencia de la madera al cizallamiento perpendicular al grano ( $\text{kg/mm}^2$ ).

Los resultados que se pueden obtener con la aplicación de las fórmulas presentadas, en situaciones específicas, pueden ser diferentes, debido a que los factores considerados en cada una son diferentes. La opción por alguna de ellas o por cualquier otra de las fórmulas existentes, dependerá de experiencias específicas. La inclusión de estas dos fórmulas en el presente trabajo tiene, principalmente, objetivos ilustrativos de dos metodologías de cálculo diferentes.

### 3. FUNCIONAMIENTO DEL DIENTE

El funcionamiento del diente, depende de tres componentes que deben ser considerados simultáneamente: velocidad de corte (o velocidad de desplazamiento del diente); pase y velocidad de avance de la madera (o velocidad de alimentación).

Para obtener la máxima producción, se deben usar las máximas velocidades de corte que el diseño de la sierra permita. Las mayores velocidades de corte no inducen, necesariamente, a la vibración de la sierra, pero cualquier tendencia que tenga la sierra a vibrar, será agravada por una alta velocidad de corte. La vibración de la sierra, por su parte, contribuye a que se produzca un mal desempeño de la hoja, produciendo un corte defectuoso. Las sierras que trabajan a altas velocidades de corte, requieren del máximo mantenimiento. Cuanto más lentamente trabaja una sierra, más fácil es de mantener (cuadro 5).

Cuadro 5. Velocidad de corte para diferentes configuraciones de aserrado.

Velocidad de corte (m/min)	SIERRA CIRCULAR Densidad		SIERRA SINFIN Espesor de la hoja			Densidad	
	< 0,46	> 0,46	1,24	2,10	2,80	<0,46	>0,46
1,85							
2,00							
2,15			X				
2,30		X	X	X			X
2,45		X	X	X			X
2,60		X	X	X	X	X	X
2,75		X		X	X	X	
2,90	X	X		X	X	X	
3,05	X			X		X	
3,20	X						
3,35	X						
3,50	X						

En general, las sierras con dientes de widia trabajan a velocidades de corte mayores que otras similares sin widia. Las sierras circulares trabajan, usualmente, a una velocidad de corte mayor que las sinfín. La madera sin nudos es aserrada a velocidades de corte mayores que la madera con nudos.

El pase del diente, determina cuanto trabajo la sierra es capaz de realizar. Si se desea lograr el máximo trabajo posible, la sierra debe tener la mayor cantidad de dientes posible, compatible con el tamaño de garganta apropiado para la tarea. El tamaño de garganta por su parte, determina en gran medida, el máximo posible de dientes que la sierra puede tener. En general, se puede considerar que el aserrado de maderas blandas requiere una cantidad de dientes menor (y por lo tanto un pase mayor) que el de maderas duras o maderas secas.

Si se aserran trozas finas con sierras que tienen gargantas grandes y que por lo tanto tienen menos dientes, la velocidad de avance debe ser disminuída necesariamente, para evitar una mordedura excesivamente grande. Esto restringe la productividad. Debido a que la tendencia es a hacer avanzar rápido las trozas finas, la mordedura excesiva se convierte en un problema real y aumenta la probabilidad de dañar la sierra. Por lo tanto, en el aserrado de trozas finas, se debe usar el pase menor y en consecuencia el máximo número de dientes compatible con el tamaño de garganta adecuado para la tarea.

Si se cortan trozas gruesas, con sierras que tienen gargantas pequeñas, la velocidad de avance puede ser disminuída, debido a la mayor demanda de potencia y a la necesidad de evitar la sobrecarga de las gargantas con aserrín. También, en estas condiciones, la productividad sufre. La alimentación a velocidad inferior a la adecuada, produce una mordedura menor que el espacio lateral, produciendo partículas de aserrín que escapan más fácilmente de la cavidad de la garganta. Esto fuerza a la hoja hacia afuera de la línea de corte, produciendo fricción y calentamiento de la hoja. Todo esto contribuye para producir un aserrado defectuoso. El aserrado de trozas más gruesas requiere de un aumento de la capacidad de la garganta, para evitar que se sobrecarguen. Una mayor capacidad de la garganta lleva a colocar una menor cantidad de dientes.

Respecto a la altura del diente, la recomendación general es que debe ser de hasta 12 veces el espesor de la hoja para maderas blandas y hasta 10 veces para maderas duras. Para la sierra sinfín, la altura del diente debe estar en proporción al pase. Si la altura del diente es excesiva, la sierra tiende a vibrar, produciendo una desviación de la línea de corte. Para el corte de maderas blandas, la profundidad máxima de la garganta (que es igual a la altura del diente) debe ser hasta el 43% del pase y para maderas duras hasta el 30%. Para espesores de hoja mayores, mayores velocidades de corte y mayores alturas de corte, con dientes recalcados y en maderas blandas, la altura del diente puede llegar a 50% del pase sin efectos adversos.

El espesor mayor de la sierra, provee al diente de dureza suficiente, como para permitir un aserrado preciso, sin que se produzca una vibración excesiva del diente. Para espesores de hoja menores, con un pase de 5 cm o menos, la altura del diente debe ser aproximadamente de 1/3 del pase con dientes recalcados y hasta 1/4 con dientes trabados. Cuando el pase es mayor que 5 cm, en sierras más finas, la altura del diente debe ser aproximadamente 1/4 del pase, para obtener resultados mejores.

Para ayudar a asegurar la estabilidad de la sierra, el pase debe ser siempre menor que la mitad de la menor altura de corte de forma que, siempre, por lo menos dos dientes estén en acción durante el corte.

La velocidad de corte, con el pase y con la velocidad de avance, interaccionan y se combinan para producir una mordedura definida durante el aserrado (figura 10).

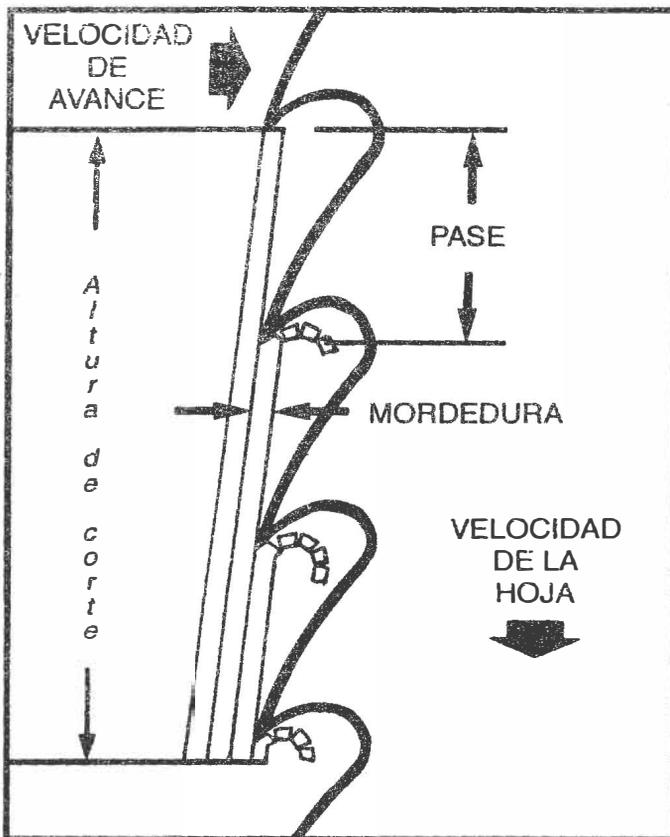


Figura 10. Esquema del funcionamiento del diente en una sierra sinfín.

Cuando alguno de esos tres componentes cambia, la mordedura también cambia. La obtención de la mordedura apropiada es esencial, para producir un aserrado correcto. Una mordedura demasiado grande puede causar daño a la sierra; una mordedura demasiado pequeña puede causar ondulación en la sierra lo que provoca sinuosidad en el corte.

La mordedura puede definirse como la distancia que la troza o el costero, avanzan cuando el diente ha recorrido, dentro de la madera, una distancia igual al pase. Se puede calcular la mordedura a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Mordedura (mm)} = \frac{\text{Velocidad de avance (m/min)} \times \text{Pase (mm)}}{\text{Velocidad de corte (m/min)}}$$

La mordedura determina el tamaño de las partículas de aserrín, lo que es importante para determinar la posibilidad de alojamiento del mismo en la garganta.

A medida que una troza o costero avanzan dentro de una sierra, las partículas de aserrín producidas, pueden variar en tamaño y características. En las sierras sin fin la madera se mueve en ángulo recto en relación a la dirección de desplazamiento del diente. El camino real del diente a través de la madera, sin embargo, es levemente inclinado en relación a la perpendicular. Si la velocidad de corte y de avance son constantes, las partículas de aserrín producidas serán de tamaño bastante uniforme.

Con la sierra circular, en cambio, las partículas de aserrín varían en tamaño, desde el momento en que el diente entra en la madera hasta que sale. En el aserrado convencional, los dientes se desplazan en curvas divergentes, de forma tal que los caminos de dos dientes sucesivos divergen a medida que atraviesan la madera (foto 3).

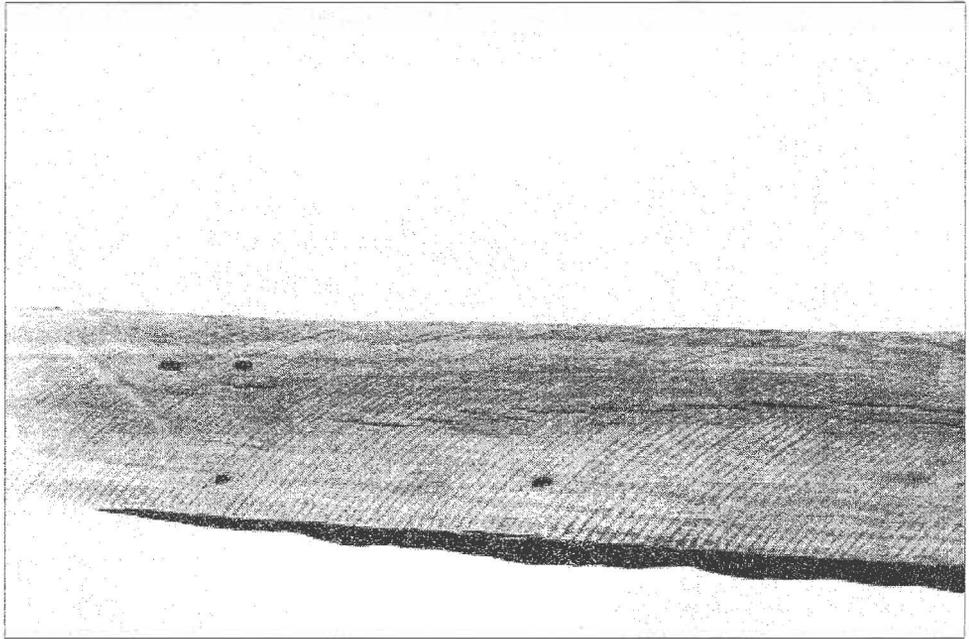


Foto 3. Tabla aserrada con sierra circular, donde se observa la divergencia en el camino de los dientes sucesivos.

Por esta razón, las partículas de aserrín que se forman en el lado donde el diente sale son un poco mayores que las que se forman en el lado donde el diente entra. Aunque la distancia horizontal entre dientes sucesivos es constante, produciendo por eso una mordedura constante, el proceso físico de formación y separación de la madera en aserrín, también causa diferencias en el tamaño de partículas. Por eso, en el caso de las sierras circulares, cuando se habla de tamaño de partícula para una determinada mordedura, se está hablando de un tamaño

medio de partícula de aserrín. Algunos investigadores han determinado que para las sierras circulares, la mordedura mínima debe ser aproximadamente 32% mayor que el espacio lateral (figura 11). (Lunstrum, 1985).

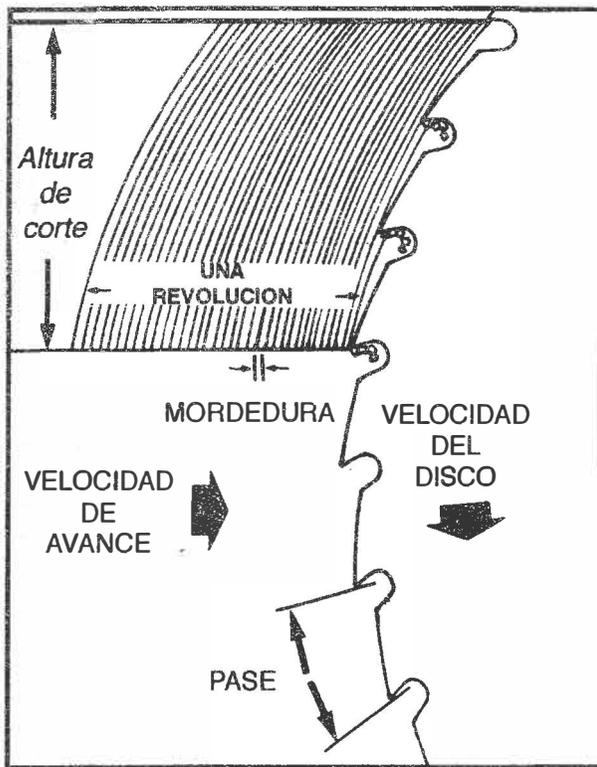


Figura 11. Esquema del funcionamiento del diente en una sierra circular.

Esto ayuda a asegurar que las menores partículas de aserrín producidas, no serán menores que el espacio lateral. Si la mordedura es menor que el espacio lateral, las partículas de aserrín escapan más fácilmente entre la pared del corte y el disco de la sierra. Ese aserrín que escapa produce fricción excesiva y se crea un gradiente de calor en la sierra. Además, el aserrín que escapa de la garganta, raramente se derrama en forma pareja a ambos lados de la hoja y este derrame desparejo empuja, inevitablemente, la sierra hacia afuera de la línea de corte, lo que produce un aserrado sinuoso. Si bien es inevitable que se produzca algún derrame de aserrín, éste puede ser mantenido en un mínimo aceptable, produciendo partículas de aserrín de tamaño adecuado.

El límite superior de la mordedura es más arbitrario que el inferior. Para sierras sinfín, se ajusta generalmente, a un valor no mayor que el espesor de la lámina. Para otras sierras, se ajusta

de la forma siguiente: sierras circulares grandes, 0,3 cm; sierras circulares menores, 0,2 cm. La razón principal para establecer un límite superior para la mordedura es prevenir el exceso de tensión en el cuerpo del diente. Una mordedura demasiado grande, impone fuertes tensiones en el dorso de los dientes, ya que ellos soportan la mayor parte de los esfuerzos y tensiones del aserrado. La mordedura demasiado grande también puede provocar deformación del dorso de los dientes, con las consecuentes fatiga y agrietamiento.

El desgarro de la madera producido por la mordedura demasiado grande, puede convertirse también en un problema, especialmente alrededor de los nudos grandes.

La implementación del funcionamiento correcto del diente, es crítica para el montaje y operación de las sierras. Para obtener un buen desempeño de las sierras, debe haber una interacción apropiada entre la velocidad de corte, el paso y la velocidad de avance, de forma que se produzca una mordedura que genere partículas de aserrín que puedan alojarse correctamente en la garganta. Si el funcionamiento del diente se deja al azar, inevitablemente se producirán problemas de operación de la sierra que a su vez producirá un exceso de defectos en el corte de la madera aserrada.

#### **4. OPTIMIZACION DEL DESEMPEÑO DE LA SIERRA**

La obtención de un desempeño balanceado de las sierras, no puede ser dejado al azar, si es que se desea obtener la mayor eficiencia en la operación de las mismas. Solo se puede obtener, determinando, en primer lugar, cual será la tarea a ser desempeñada por la máquina; segundo diseñando la sierra para realizar esa tarea y en tercer lugar, ajustando la sierra adecuadamente y operándola dentro de los límites para los cuales fue diseñada. El mantenimiento también debe ser prioritario.

Si se posee una sierra cuyos dientes presentan un diseño particular, con el cual se pretende trabajar, se deben calcular, entonces, las condiciones en que ese diente debe trabajar. O sea, se debe calcular el rango de velocidad de avance, altura máxima de corte y mordedura, dentro del cual ese diente puede desempeñarse adecuadamente. En el cuadro 6 se presenta un ejemplo de este tipo de cálculo.

Cuadro 6. Ejemplo del cálculo de la relación entre velocidad de avance, altura máxima de corte y mordedura para la operación de una sierra sinfín dentro del rango para el cual está diseñado el diente.

Características de la sierra:	Velocidad de avance(m/min)	Altura de corte*(cm)	Mordedura (mm)	
Ancho de corte: 2,3mm	22	31	0,65	MINIMO
Espesor de la hoja: 1 mm	24	29	0,70	
Area de la garganta: 2,625 cm <sup>2</sup>	26	27	0,76	
Pase: 3,5 cm	28	25	0,82	
Diámetro del volante: 1,0 m	30	23	0,88	
r.p.m. del volante: 380	32	22	0,94	
Velocidad de corte: 1.194 m/min	34	20	1,00	MAXIMO
Mordedura máxima: 1,00 mm				

\* Calculada con un ICG de 0,77

Si la velocidad de avance es menor que la mínima, entonces la mordedura será siempre menor que el espacio lateral. La sierra producirá constantemente partículas de aserrín muy finas que no permanecerán en la garganta, con los problemas correspondientes. Esta sierra está diseñada para una velocidad de avance máxima de 34 m/min. Si se trabaja a velocidades menores, se estará desaprovechando la capacidad instalada. Si se desea trabajar a velocidades de avance menores que 22 m/min o mayores que 34 m/min, al no estar la sierra diseñada para ello, no se obtendrá la mayor eficiencia en la operación. Si se modifica el diseño de esta sierra, se la tornará más eficiente y probablemente disminuirán los problemas operacionales que hayan aparecido al operarla fuera de su rango óptimo.

Las modificaciones que se pueden hacer para poder operar eficientemente la sierra fuera de este rango , son cuatro:

- a) modificar el espacio lateral;
- b) modificar la velocidad de corte;
- c) modificar el paso;
- d) modificar el área de la garganta.

Con un adecuado ajuste y puesta a punto de las sierras, se pueden obtener los siguientes beneficios:

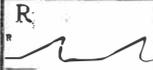
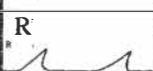
- aumento considerable de la vida útil de las hojas de sierra;
- cortes más precisos, que incrementan la calidad del producto y principalmente el aprovechamiento volumétrico de la materia prima. Los cortes más rectilíneos, más centrados sobre la línea teórica de corte, reducen las pérdidas que resultan del sobredimensionamiento de las piezas de madera aserrada;
- reducción de los tiempos necesarios para mantenimiento de las sierras (soldadura, tensionado y afilado), pudiendo llegar en algunos casos a más de 30% de reducción;
- aumento de los períodos de funcionamiento de la sierra entre operaciones de mantenimiento, pudiendo llegar a aumentos de 1,5 a 2 horas de tiempo de uso;

- producción mínima de aserrín y consecuentemente, también minimización de las pérdidas de madera;
- reducción de los requerimientos de potencia y consecuentemente de la energía consumida para aserrar.

## 5. DISEÑOS DE DIENTES DE SIERRA UTILIZADOS EN URUGUAY

La situación en Uruguay a respecto de los dientes de sierra, es muy variada. Se recopiló, en aserraderos de varios departamentos de nuestro país, una serie de diseños de dientes de sierra, utilizados para el aserrado de pinos y eucaliptos. En el cuadro 7 se presenta el resultado de esta recopilación.

Cuadro 7. Datos de diferentes diseños de dientes de sierra sinfín recopilados en varios departamentos del Uruguay. (R= diente recalcado; T - diente trabado).

Diseño del diente	Especie	Local	Diente						Sierra	
			Ancho	Espesor	Altura	Pase	Angulos	Area de la garganta	Diám. volante	R.P.M
	Eucaliptos colorados, grandis	Riv.	10 cm	1 mm	1 cm	35 mm	13° 51° 26°	262mm <sup>2</sup>	84 cm	480
	eucaliptos colorados	Riv.	12 cm	1 mm	0,9 cm	40 mm	15° 55° 20°	235 mm <sup>2</sup>	100 cm	650
	pino elliotii	Riv.	8 cm	0,9 mm	0,8 cm	37 mm	15° 40° 35°	278 mm <sup>2</sup>	92 cm	480
	pino elliotii	Riv.	8 cm	1 mm	0,8 cm	35 mm	24° 56° 10°	209 mm <sup>2</sup>	110 cm	580
	pino taeda eucaliptos grandis	Mdeo.	6 cm	1mm	0,6 cm	20 mm	6° 60° 24°	74 mm <sup>2</sup>	110 cm	450
	eucaliptos colorados sideroxylon	Canel.	9 cm	1 mm	0,6 cm	20 mm	14° 52° 24°	77 mm <sup>2</sup>	120 cm	540
	Pino taeda pinaster	San José	13 cm	1,2 mm	1,4 cm	40 mm	21° 42° 27°	404 mm <sup>2</sup>	110 cm	810
	Pino taeda pinster eucaliptos colorados	Col.	10 cm	1,1 mm	1,1 mm	40 mm	21° 53° 16°	280 mm <sup>2</sup>	120 cm	620

Se puede observar en este cuadro, que para pinos (*elliottii*, taeda y *pinaster* principalmente) se utilizan dientes con ángulos de ataque que van desde  $6^\circ$  hasta  $24^\circ$ , alturas de dientes entre 6 mm y 14 mm y áreas de garganta de  $74 \text{ mm}^2$  hasta  $404 \text{ mm}^2$ . Para los eucaliptos, se encontraron dientes recalcados con ángulos de ataque entre  $6^\circ$  y  $21^\circ$ , altura de diente entre 6 mm y 11 mm y áreas de garganta entre  $74 \text{ mm}^2$  y  $280 \text{ mm}^2$ . La diversidad de diseños de diente, utilizados con propósitos similares, debe analizarse con cuidado, ya que las condiciones de aserrado de cada aserradero son diferentes, tanto por las características de las sierras, como de los carros utilizados. Cuando los carros son manuales, los operadores de la sierra regulan la velocidad de avance, en función de su experiencia y de las posibilidades mecánicas, adecuándola a las características de la madera que está siendo aserrada y a lo que el diseño del diente permite.

Con carros con avance mecánico esto es más difícil, aunque es posible en general, regular la velocidad dentro de ciertos límites. Cuando se trabaja con materia prima muy variable y principalmente en el caso de las maderas más duras, como eucaliptos colorados, los problemas de pérdida de filo y agrietamiento de la sierra se vuelven más frecuentes, porque muchas veces las sierras son forzadas más allá de lo que su diseño permite.

En general, cuando un aserradero adopta un determinado tipo de diente y regula sus máquinas de afilado en función de él, difícilmente lo cambia. La decisión de adoptar un determinado diseño de diente, no responde, en general, a un análisis técnico profundo, sino a la experiencia de los encargados de la preparación y mantenimiento de las sierras. Por otro lado, también tienen influencia los importadores de sierras, al escoger el diseño de diente que importan o que estampan en los flejes. Dentro de ciertos límites, estos diseños pueden ser modificados a través del afilado, pero muchas veces esto no ocurre.

Por todo esto, los propietarios de aserraderos pequeños y medianos, están condicionados, por un lado por la reducida cantidad de opciones que disponen en el mercado y por otro, por la falta de información técnica específica, relacionada a las condiciones locales, disponible.

En este sentido, sería muy favorable para la industria del aserrado en el Uruguay, que se realizase investigación en sentido de establecer, por lo menos, las características generales de diseño de dientes de sierra más adecuados para el aserrado de las maderas más frecuentes (pinos y eucaliptos) dentro de las condiciones de aserrado predominantes en el país.

**BIBLIOGRAFIA**

- ACADEMIA HUTTE DE BERLIN. 1978. *Manual del Ingeniero, Hutte II, construcción de máquinas*. 28 ed. Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona, España. 1267 pp.
- COWLING, R.L. 1965. *The clearance angle of circular Rip-saws*. Melbourne, C.S.I.R.O. (Australia) Div. For. Prod. Newsletter .
- FAO. 1989. *Cuidado y mantenimiento de sierras. Serie Montes N° 58*, Roma, 118 p.
- INFOR. 1987. *Manual de acondicionamiento y mantenimiento de sierras de cintas*, Pucallpa Peru. 107p.
- LUNSTRUM, S.J. 1972. *Circular Sawmills and their efficient operation*. Atlanta, Georgia, U.S.D.A. For service, Southeastern area. 86 p.
- LUNSTRUM, S.J. 1985. *Balanced saw performance*. Madison, U.S.D.A., Foret service. 17p Forest Service..
- QUEZADA, A.Z. & ROSEBERRY, R. 1969. *Acondicionamiento y mantención de sierras huinchas*. Santiago, Chile. Instituto Forestal 101 p. Manual N° 6.
- QUEZADA A.Z. et al. 1969. *Acondicionamiento y mantención de sierras circulares*. Santiago, Chile. Instituto Forestal. 90 p. Manual N° 5.
- TUSET, R. & DURAN, F. 1986. *Manual de maderas comerciales y procesos de utilización*. Montevideo, Uruguay. Hemisferio Sur. 696 p.

Biblioteca de la FAGRO

F A 0 2 6 8 8 1 9 9 5 3 5 1  
Notas técnicas  
1995 nro. 35 c. 1