

DESAFILADO DE SIERRAS BANDA EN EL ASERRÍO DE ENCINOS

Rogelio Flores Velázquez¹, Martha Elena Fuentes López¹
Juan Quintanar Olguín¹

RESUMEN

La industria maderera en México está diseñada para maderas suaves y no existen tecnologías adecuadas para trabajar maderas duras, por lo que se requiere de nuevas alternativas de procesamiento en el aserrío que permitan incrementar su productividad. En un aserradero de 5" se probaron dos sierras banda, una con dientes recubiertos con una aleación de estelite 12 y otra con dientes recalcados. La trocería fue colectada en los estados de Puebla y Guanajuato. Se aserró un volumen equivalente a 103.5 m³ de madera en rollo, que hicieron un total de 1900 m lineales de corte. Las trozas fueron aserradas en cuadrados de dimensiones uniformes en peralte y longitud. El desafilado de los dientes se hizo tomando el negativo del perfil del ángulo de corte; también se midió el consumo de energía durante el corte de las trozas. Los resultados indican que el desafilado y el consumo de energía fueron siempre mayores en la sierra con dientes recalcados, y se presentó un incremento gradual en la variación de grosor de las piezas aserradas con la sierra de dientes recalcados que llegó a ser hasta de 5 mm, en tanto que con la de dientes recubiertos siempre se mantuvo en 2 mm. Con la sierra de dientes recubiertos con estelite 12 se aserró un 137.5% de mayor volumen de madera de encino que con la sierra de dientes recalcados.

Palabras clave: Aserrío, desafilado, dientes recalcados, dientes recubiertos con estelite 12, *Quercus*, sierra banda.

ABSTRACT

The Mexican wood industry is designed for saw milling softwoods and there are not suitable technologies for saw milling hardwoods. Therefore, new alternatives are required to saw mill hardwoods that allow to increase hardwood processing productivity. Bearing in mind this problem, two bandsaws of 5 inches wide were

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 19 de abril de 2004.

¹INIFAP, C.I.R. Centro, Campo Experimental San Martinito. Correo-e: cesmar@compu-redes.net.mx

tested. The teeth of one bandsaw were tipped with stellite 12 (treated bandsaw) and the teeth of the other one were normal (normal bandsaw). Logs were saw milled into flitches of uniform dimensions in depth and longitude. The measure of sawtooth dulling was made by taken a negative of the cutting angle and energy spend was also measure during the cut of the logs. The results indicate that sawtooth dulling and energy spend were always greater on the normal bandsaw than on the treated bandsaw. The normal bandsaw presented a steady increase in thickness variation of the cutted boards, reaching up to 5 mm in variation, while the cutting variation of the treated bandsaw was always within 2 mm.

Key words: Sawmill, sawtooth dulling, normal teeth, teeth tipped with stellite 12, *Quercus*, band saws.

INTRODUCCIÓN

Los encinos, después de los pinos son el segundo grupo más importante por su distribución y abundancia en México. Aunque esto no se ve reflejado en la producción maderable, ya que de acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT (2001), en 1999 se aprovecharon 662,509 m³ a nivel nacional, lo que representó el 7.7% de la producción nacional total.

Aproximadamente el 90% de la industria forestal la conforma la relacionada con el aserrío, la cual a su vez aporta el 73% de la producción nacional maderable en el aprovechamiento de especies de coníferas principalmente, así como de encino, tropicales y otras latifoliadas, con una participación porcentual de 86.61, 8.19, 3.54 y 1.66%, respectivamente (SEMARNAT, 2001).

El mayor volumen de aprovechamientos está constituido por coníferas y especies de densidad baja o media, lo que ha originado que la maquinaria y equipos estén diseñados para procesar maderas suaves. Por lo tanto, el grupo de encinos resulta difícil de aserrar debido a sus características de densidad alta, gran dureza y frecuentemente significativos contenidos de sílice que actúan como abrasivo, causando así un desafilado rápido en la herramienta de corte y una merma en la productividad, con lo que se incrementan los costos de operación del proceso.

La necesidad de aprovechar al encino en forma industrial a fin de incorporar a la producción nacional un mayor volumen de madera y utilizarla en la obtención de productos con un mayor valor agregado, requiere de la búsqueda de nuevas alternativas en la actividad primaria del aserrío.

La dificultad para aserrar encinos está relacionada con el tabú en la utilización de sierras banda que no reúnen las especificaciones necesarias para este tipo de madera y en una inadecuada combinación de la geometría de los dientes (paso de diente, profundidad de garganta, espacio libre lateral, ángulo de corte, ángulo del diente y ángulo libre).

La sierra es uno de los elementos más importantes en el proceso de aserrío, por lo que sus características de construcción deben satisfacer, además, los siguientes altos requerimientos: flexibilidad, resistencia a la fatiga, dureza, resistencia al desgaste y al impacto, y uniformidad estructural para proporcionar el mayor rendimiento y buena calidad de superficie aserrada.

La parte más importante de las sierras son los dientes, por el hecho de constituir los elementos de corte. El conocimiento sobre su comportamiento durante el mismo, se vuelve indispensable en el proceso de producción. Kirbach (1986) menciona que existen seis problemas de mayor importancia que repercuten en los beneficios potenciales del aserrío con sierras banda, como son: simetría y mantenimiento de los dientes, fisuras en el centro de la hoja, torcedura de la sierra, desgaste del perfil del volante y la relación de velocidad y profundidad del corte en función de la capacidad de alimentación de la garganta.

De los trabajos existentes, algunos centralizan su temática sobre las características que deben reunir las sierras banda para procesar diferentes tipos de madera. Una de ellas es mantener la adecuada geometría de los dientes, para aumentar la resistencia al desgaste y aserrar un volumen mayor de madera con mayor calidad de corte, haciendo una buena combinación de las siguientes variables: paso de diente, profundidad de garganta, espacio libre lateral, ángulo de corte, ángulo del diente y ángulo libre.

Con el paso de diente, también conocido como "espaciamiento entre dientes", que es la distancia entre una y otra punta de los dientes, se determina la cantidad de trabajo que una sierra debe realizar. Para maderas duras y muy duras, Zavala y Gándara (1976) y Sandvik (1964) determinaron que el distanciamiento debe ser de $1 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{3}{4}$ ". Sin embargo otros autores como Tusset y Durán (1979) y Schrewe (1983) mencionan que éste también está relacionado con el ancho y calibre de la sierra y el diámetro de los volantes. Por otro lado, Lustrum (1984), definió que el paso de diente menor corresponde a sierras de 3 a 6" de ancho, calibres de 18 a 19 y diámetros de volantes de 4 a 6', mientras que el paso de diente mayor es de sierras de 12 a 16" de ancho con calibres de 12 a 13 y diámetros de volantes de 8 a 10'.

La profundidad de garganta, cuya función es alojar el aserrín y arrojarlo fuera del corte, si es más grande, puede tener una mayor capacidad de alojamiento. En maderas duras, el volumen de aserrín que se genera es menor que con maderas suaves en una proporción de 3 y 6 veces más el volumen de madera sólida, respectivamente. Diversos autores coinciden en que la profundidad de garganta apropiada para maderas duras debe ser $\frac{1}{3}$ del paso de diente (Sandvik, 1964; Tusset y Duran, 1979; Sierras y Maquinaria S. A., 1980; Schrewe, 1983 y Kirbach, 1986) o menor que 10 veces el calibre de la sierra (Quezada y Roseberry, 1969).

En cuanto a los ángulos del diente, se ha buscado que no sea tan pequeño para evitar que la punta se debilite y llegue a romperse bajo el efecto de la carga de corte, ni tan grande como para restringir la velocidad de alimentación y causar mayor consumo de energía. Los que han resultado efectivos para aserrar cualquier tipo de madera son los siguientes ángulos: del diente de 44° , de corte de 30° y libre de 16° (Koch, 1964; Zavala y Gándara, 1976).

Para maderas duras, los rangos que se consideran normales y que han dado buenos resultados son: ángulo de corte de 20 a 30° , siendo los más comunes de 20 a 22° (Schrewe, 1983; Kirbach, 1986); ángulo del diente de 45 a 60° y ángulo libre de 8 a 12° (Lustrum, 1984). Con respecto al ángulo posterior, para aserrar madera de encino cuya densidad básica promedio es de 0.62 g/cm^3 , se recomienda que sea de 33° (Allen, 1984).

Para cada tipo de sierra, existe un espacio libre lateral conveniente, mismo que varía en función de la geometría de los dientes, el contenido de humedad, el filo de corte, la alineación del equipo y la especie. Sin embargo, para maderas duras se requiere que dicho espacio sea 25% mayor que el calibre de la sierra (Allen, 1984; Lustrum, 1984).

El ángulo de corte, también conocido como "ángulo de ataque", no debe ser mayor a 35° y no menor a 15° para evitar que la sierra se salga de la pista de los volantes, o que se presenten fisuras causadas por endurecimiento superficial en el lomo del diente (Lustrum, 1984; Kirbach, 1986).

Los estudios realizados en México sobre el aserrio de encinos han consistido en probar diferentes características de la sierra banda, con el propósito de aumentar su vida de trabajo y disminuir los costos de operación. La evaluación se basa en el volumen de madera aserrada y el tiempo efectivo de corte. Así, se ha establecido que para sierras de $8''$, las características que dan mejores resultados son: paso de diente de $1 \frac{1}{2}''$, profundidad de garganta de $\frac{1}{2}''$, ángulo de ataque de 28° , ángulo de diente de 50° y ángulo libre de 12° (Béjar, 1982); en sierras de $6''$ las características que resultaron más adecuadas son: paso de diente de $1''$, profundidad de garganta de $\frac{3}{8}''$, ángulo de ataque de 26 a 30° , ángulo del diente de 45 a 50° y ángulo libre de 14 a 15° (Quiñónez y Herrera, 1984).

Además de adoptar las especificaciones antes señaladas, también se puede aplicar vanadio o estelite en la punta de los dientes para aumentar la resistencia al desgaste y la rigidez de los mismos, hasta en 100% en maderas blandas o 12 veces más en maderas duras (Kirbach y Bonac, 1982a; Kirbach, 1984b).

Existen otros métodos para reducir el desgaste de los dientes; éstos son: mediante recubrimiento con carburo, endurecimiento con platino de cromo, revestimiento con metales duros y endurecimiento con alta frecuencia. Estos métodos involucran la formación de la punta de corte del diente con otros

materiales, excepto con el método con alta frecuencia que no involucra un material diferente al acero normal de la sierra (Kirbach, 1984). Sin embargo, solamente el recubrimiento con estelite y el revestimiento con metales duros han sido los más utilizados.

En Estados Unidos de América y Canadá se han realizado algunos estudios sobre el desgaste de los dientes en el aserrío de enebro del sur (*Thuja plicata* Don), en los que se ha aplicado un recubrimiento de estelite, deloro y carburo de tungsteno, éste último con contenidos de cobalto al 6 y 18%. Se considera que esta especie, debido a su composición química, desafilas las sierras en tan sólo dos horas de trabajo, mientras que con otras especies puede operar hasta por cuatro horas sin que haya pérdida significativa en la precisión de corte (Kirbach y Bonac, 1982).

A este respecto, de las aleaciones con deloro se obtuvo la mayor resistencia al desgaste en más de tres veces. Con el recubrimiento de estelite 12 la madera de enebro mostró mejores resultados que el carburo de tungsteno, siendo comparativamente menor el desafilado de los dientes recubiertos con estelite en un 25 a 50% cuando se probó con un contenido de cobalto de 6%. En dientes con recubrimiento de 18% de cobalto no existió comparación debido a su excesivo desafilado (Kirbach y Bonac, 1982b).

En el presente estudio se describe el trabajo realizado en dos diferentes tipos de sierras con características similares para aserrar trocería de encino. Para seleccionarlas se tomaron en consideración las propiedades más relevantes de la madera de encino que influyen en el proceso de asierre y con base en ellas, se seleccionó la sierra banda adecuada que permite un desempeño y operación óptimos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en un aserradero de 5", marca Willer Schiffer, que consta de las siguientes partes: a) una torre o sierra principal con base de hierro fundido; dos volantes estructurales de 44" (1.22 m) de diámetro, ancho de pista de 4 5/16" (11 cm), accionada por un motor de 50 H.P. marca U.S. con 1200 rpm a 60 Hz, diámetros de las poleas impulsora y receptora de 13 3/4" (35 cm) y 22" (56 cm) respectivamente y, b) un carro portatrozas de 5 m de longitud y 2.60 m de ancho, con 3 escuadras de 90 cm de apertura máxima, 3 ejes y alimentación por medio de poleas y malacate.

Se probaron dos sierras banda de 5" de ancho, seleccionadas con base en una amplia revisión bibliográfica, en las recomendaciones dadas por los fabricantes de sierras y en los resultados derivados de experimentos realizados previamente en el Campo Experimental "San Martinito", del INIFAP.

En una de las sierras, los dientes fueron recubiertos por una aleación de estelite 12, cuya composición química fue proporcionada por el fabricante de sierras (Cuadro 1). En la segunda sierra probada, los dientes fueron recalcados (suajeados); las características de éstas, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Composición química de la estelite 12 y su resistencia al desgaste.

Composición química				Dureza
Co	Cr	W	C	Rc
59.0 %	29.0 %	9.0 %	1.8 %	47-51.0 %

Durante el aserrío se tomaron diversos datos que permitieron evaluar la eficiencia de corte de ambas sierras, para lo cual se utilizaron los siguientes instrumentos de medición: cronómetros, flexómetros, vernier, voltamperímetro marca Square D, modelo 2102VD Clase 1.0, xilohigrómetro marca Lignomat y un microscopio de video marca Nikon, modelo Labophot-2.

Cuadro 2. Características de las sierras banda probadas.

Tipo	Calibre	Paso de diente	Profundidad de garganta	Ángulo de ataque	Ángulo del diente	Ángulo libre
SE12	18	1 ¼"	7/16"	30	44	16
SR	18	1 ¼"	7/16"	30	44	16

SE12 = Sierra con dientes recubiertos de estelite 12.

SR = Sierra con dientes recalcados.

Se trabajó con trocería de encino de las especies más abundantes que tuvieran diámetros aserrables y fustes rectos, y fue colectada en la parte norte de los estados de Puebla y Guanajuato. Se aserró un volumen equivalente a 103.5 m³ de madera en rollo, que hicieron un total de 1900 m lineales de corte. De estos, se cortaron 1100 m en la sierra con recubrimiento de estelite (SE12) y 800 m en la sierra con dientes recalcados (SR). Las trozas fueron aserradas en cuadrados con dimensiones uniformes en peralte y longitud de 8" (20 cm) y 8' (2.44 m) respectivamente, variando solamente en el ancho.

Una vez que se obtuvieron los cuadrados de cada troza, se aplicó una velocidad de alimentación promedio de 25 m/min a una velocidad de corte de 2287.18 m/min (7487.46 ft/min) hasta que se terminó el filo de las sierras.

Los datos que permitieron evaluar la eficiencia de corte de cada una de las sierras, fueron los siguientes:

Medición del desafilado de los dientes.- considerando que el peralte o profundidad de corte es constante, el desafilado se midió a intervalos de 100 m de recorrido o trayectoria de corte hasta que se terminó el filo de los dientes. Realizando con cada una de las sierras, una medición antes de empezar el asierro de trocería, lo cual se usó como testigo.

La medición del desafilado de los dientes se efectuó mediante el método desarrollado por Kirbach (1986), a partir del cual se obtuvo un perfil de los dientes al presionar el canto de una tira de latón suave sobre la punta de los mismos, que visto al microscopio, se puede observar un negativo del perfil del diente.

Posteriormente se realizó la evaluación de las mediciones en un microscopio de video, mediante el que se comparó el perfil inicial y los subsecuentes, y se midió la distancia entre la punta de corte inicial y la de corte desafilada. La unidad de medición para este caso son las nanomicras ($1\mu\text{m} = 0.01016 \text{ mm} = 0.0004 \text{ pulg.}$).

La intensidad de muestreo que se siguió fue de 10%, que es equivalente a una muestra de 24 dientes por sierra, distribuidos de manera equidistante a lo largo de la sierra, marcados con una capa de pintura de aceite y numerados para asegurar que el control de las mediciones se realizara sobre los mismos dientes después de cada intervalo de recorrido de corte.

Tiempo efectivo de corte.- la medición de esta variable se realizó tomando el tiempo que tarda la sierra en efectuar un corte a lo largo de la troza, el cual fue acumulativo hasta terminar de probar cada sierra.

Contenido de humedad.- para conocer el contenido de humedad de los cuadrados se realizaron tres lecturas con un medidor eléctrico en cada una de las tablas aserradas, dos en los extremos y una en el centro de la tabla, y se anotó el valor del contenido de humedad, el número del cuadrado y el número de la tabla.

Consumo de energía.- se midió con un voltamperímetro conectado a los cables de alimentación eléctrica del motor del aserradero. Las lecturas se tomaron en 10 tablas después de cada intervalo de recorrido de corte, midiendo el voltaje antes de efectuar el corte de cada una de las tablas y los amperes que se requirieron al realizar el mismo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la medición del retraimiento del filo (desafilado) de

los dientes en ambas sierras se ordenan en los Cuadros 3 y 4. Durante un proceso de corte normalmente se presentan tres etapas distintivas en el retraimiento del filo, las cuales, en el estudio de sierras con los dientes recalcados estuvieron bien definidas. La inicial se ubica entre los primeros 100 m lineales de corte, con un desafilado y un consumo de energía reducidos. La segunda etapa, desde los 100 m hasta los 500 m lineales de corte, con un mayor desgaste del filo de los dientes y un consumo de energía 75% más alto.

Cuadro 3. Resultados del retraimiento en la sierra con dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Desgaste del diente (mm)
1	101.26	101.26	0.000
2	101.45	202.71	0.274
3	103.99	306.70	0.479
4	98.13	404.83	0.935
5	101.60	506.43	1.376
6	101.60	606.03	1.863
7	101.60	709.63	2.688

De los 500 m lineales de corte en adelante se puede observar claramente la última etapa del desafilado y en ella se manifiesta una acentuada degradación del filo de los dientes de la sierra y un consumo de energía del doble que en la segunda etapa. Estos resultados sobre el comportamiento del desgaste coinciden con lo que reporta CSR Training Center (1991).

Para la sierra con dientes recubiertos de estelite 12, los resultados indican que las etapas del desafilado no están bien definidas, aún cuando la primera etapa se podría delimitar hasta los 400 m lineales de corte, punto donde el consumo de energía es más elevado. Una segunda etapa de desgaste del filo puede ser considerada entre los 500 y 800 m lineales de corte, punto al que corresponde también un consumo de energía alto (Cuadro 4). La última etapa puede ser considerada de los 800 m lineales de aserrado donde el consumo de energía es 80% superior al de la primera etapa (Figura 1).

Cuadro 4. Resultados del retrainamiento en la sierra con dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Desgaste del diente (mm)
1	101.97	101.97	0.1250
2	101.15	203.12	0.1446
3	105.02	308.14	0.3773
4	98.45	406.59	0.4444
5	82.09	488.68	0.4890
6	101.60	590.28	0.6657
7	101.60	691.88	0.6889
8	101.60	793.48	0.8128
9	101.60	895.05	0.9353
10	116.84	1011.92	1.1268

Respecto del desgaste del filo de los dientes en función del contenido de humedad en la trocería, no existió una tendencia definida (Cuadro 5 y 6). En la sierra con dientes de estelite, la madera con menor contenido de humedad causó un desafilado mayor que la madera húmeda (Cuadro 5). Para la sierra con dientes recalcados, los resultados sugieren un efecto inverso, es decir que a mayor contenido de humedad, ocurre un desafilado mayor (Cuadro 6), lo que de acuerdo a la bibliografía no sucede, ya que a mayores contenidos de humedad de la madera se causa menor desgaste en el filo de los dientes. Sin embargo, en ambas sierras, el coeficiente de correlación entre estas variables revela que el contenido de humedad tiene poco efecto en el desafilado de los dientes, lo que posiblemente se deba a que no hubo una distribución de la trocería acorde a su contenido de humedad.

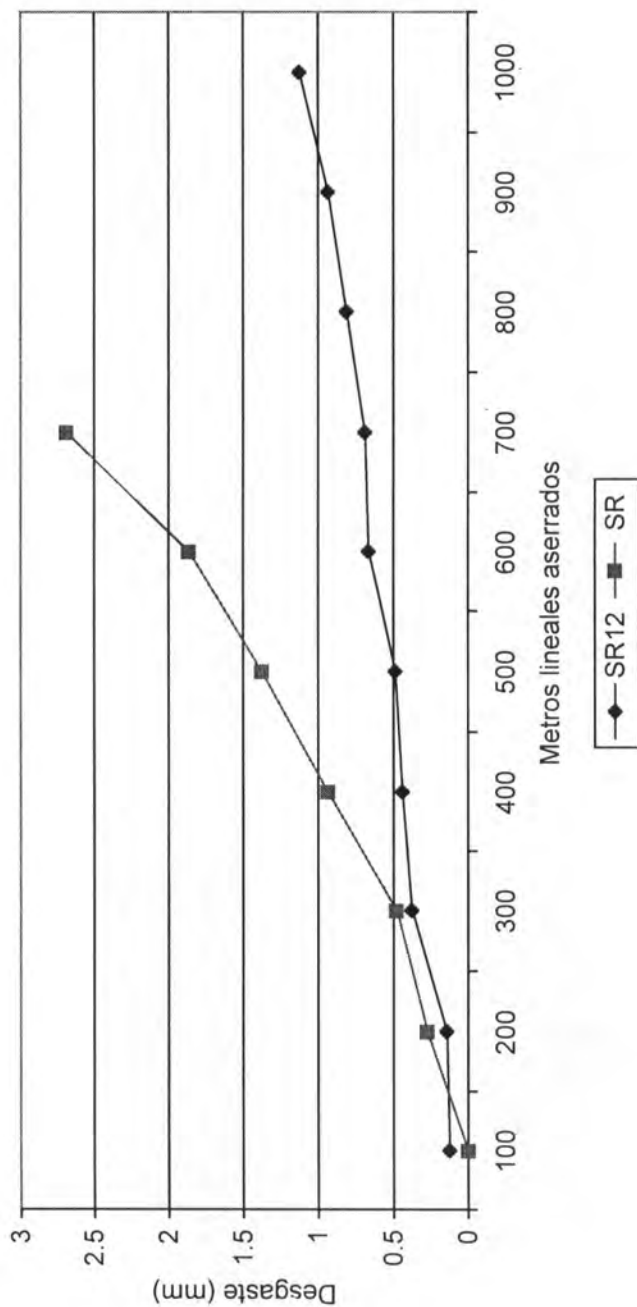


Figura 1. Comportamiento del desafilado de las sierras cada 100 m lineales aserrados.

Cuadro 5. Comportamiento del desgaste del diente, consumo de energía y variación de grosor de las tablas, durante el aserrado de encino con la sierra de dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Contenido de humedad (%)	Desgaste del diente (mm)	Consumo energía (Kwatts)	Variación en grosor (cm)
1	101.97	101.97	64.73	0.1250	42.908	0.200
2	101.15	203.12	66.03	0.1446	46.476	0.331
3	105.02	308.14	62.95	0.3773	36.776	0.217
4	98.45	406.59	63.00	0.4444	41.191	0.315
5	82.09	488.68	56.30	0.4890	29.371	0.167
6	101.60	590.28	61.50	0.6657	61.699	0.252
7	101.60	691.88	62.79	0.6889	64.153	0.246
8	101.60	793.48	62.41	0.8128	78.877	0.265
9	101.60	895.05	59.19	0.9353	79.228	0.286
10	116.84	1011.92	62.84	1.1268	69.762	0.222

Se observó que al aserrar la madera seca mediante la sierra con estelite, se requirió un consumo de energía mayor a 60% que la madera más húmeda (Cuadro 5). Sin embargo, el análisis de resultados con la sierra de dientes recalados mostró un efecto inverso (Cuadro 6). Este comportamiento puede atribuirse al hecho de que cuando se aserró la trocería más seca, se usaron las velocidades de alimentación más bajas, pues tanto el movimiento de la sierra como el del carro son dados por el mismo motor.

Cuando el contenido de humedad de la madera fue menor, la variación en el corte fue mayor. En la sierra con estelite, el rango de variación se presentó de 2 a 3 mm, mientras que con la sierra con dientes recalados, fue casi del doble (de 3 a 5 mm).

Cuadro 6. Comportamiento del desgaste del diente, consumo de energía y variación de grosor de las tablas, durante el aserrado de encino con la sierra de dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Contenido de humedad (%)	Desgaste del diente (mm)	Consumo energía (Kwatts)	Variación en grosor (cm)
1	101.26	101.26	63.64	0.000	42.6244	0.264
2	101.45	202.71	72.52	0.274	57.993	0.383
3	103.99	306.70	65.92	0.479	48.729	0.362
4	98.13	404.83	55.41	0.935	46.132	0.503
5	101.60	506.43	76.89	1.376	69.099	0.447
6	101.60	606.03	74.46	1.863	82.505	0.425
7	101.60	709.63	73.8	2.688	99.911	0.526

Los resultados indican un efecto significativo del desafilado y del consumo de energía sobre la variación en el corte. Al presentarse mayor desgaste en el filo de los dientes, se tuvo mayor variación de corte y por lo tanto, mayor energía. En la sierra con dientes de estelite se observó que cuando los dientes de la sierra mantuvieron un filo adecuado, la variación fue mínima, lo que produjo tablas más uniformes, de buena calidad y con un consumo bajo de energía (Figura 2). Por el contrario, cuando el desafilado se acentuó, se perdió uniformidad en el grosor de las tablas y el consumo de energía fue mayor. El comportamiento fue similar en la sierra con dientes recalcados, sólo que con un efecto más pronunciado (Figura 3).

El análisis de los resultados obtenidos en el consumo de energía en función del desgaste del filo de los dientes mostraron una alta correlación, ya que éste es mucho más alto cuando el desafilado es pronunciado. Con sierra de estelite fue más bajo en 30% con respecto al de la sierra con dientes recalcados, lo que se explica porque al presentar mayor duración de su filo, el requerimiento de energía también es menor y por consecuencia se aumenta la producción y la tersura en la superficie de la madera aserrada.

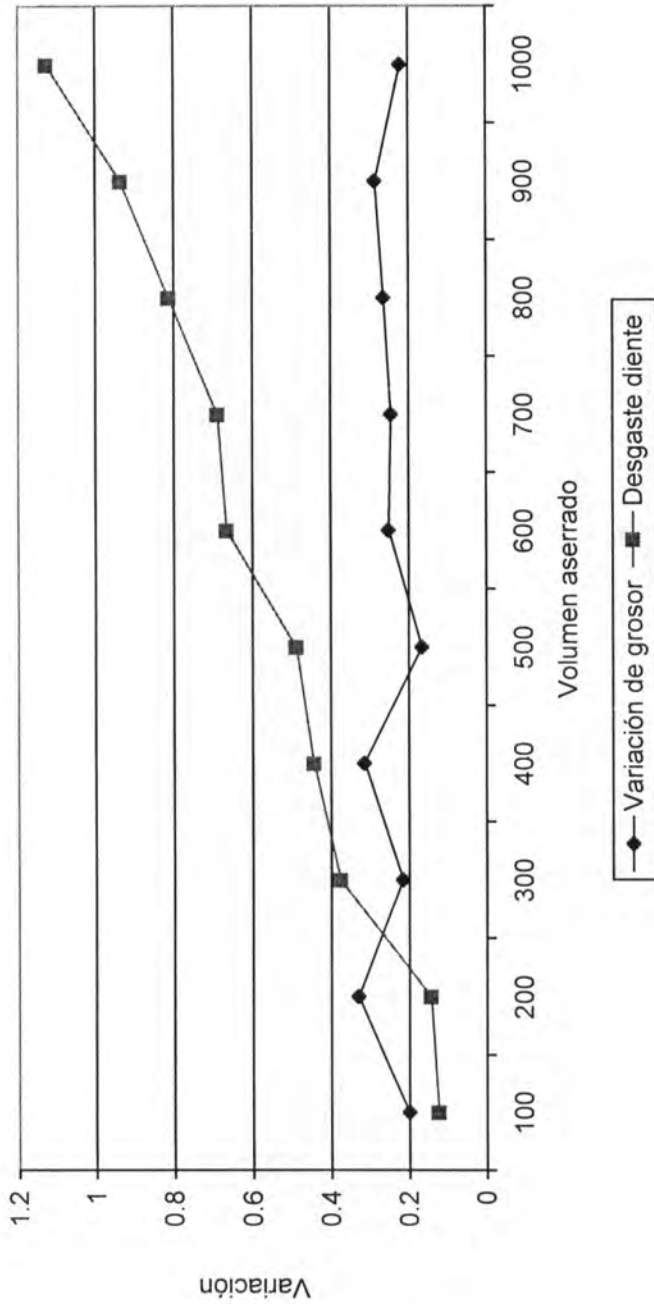


Figura 2. Comportamiento del desafilado y variación de grosor cada 100 m lineales aserrados por medio de sierra con estelite.

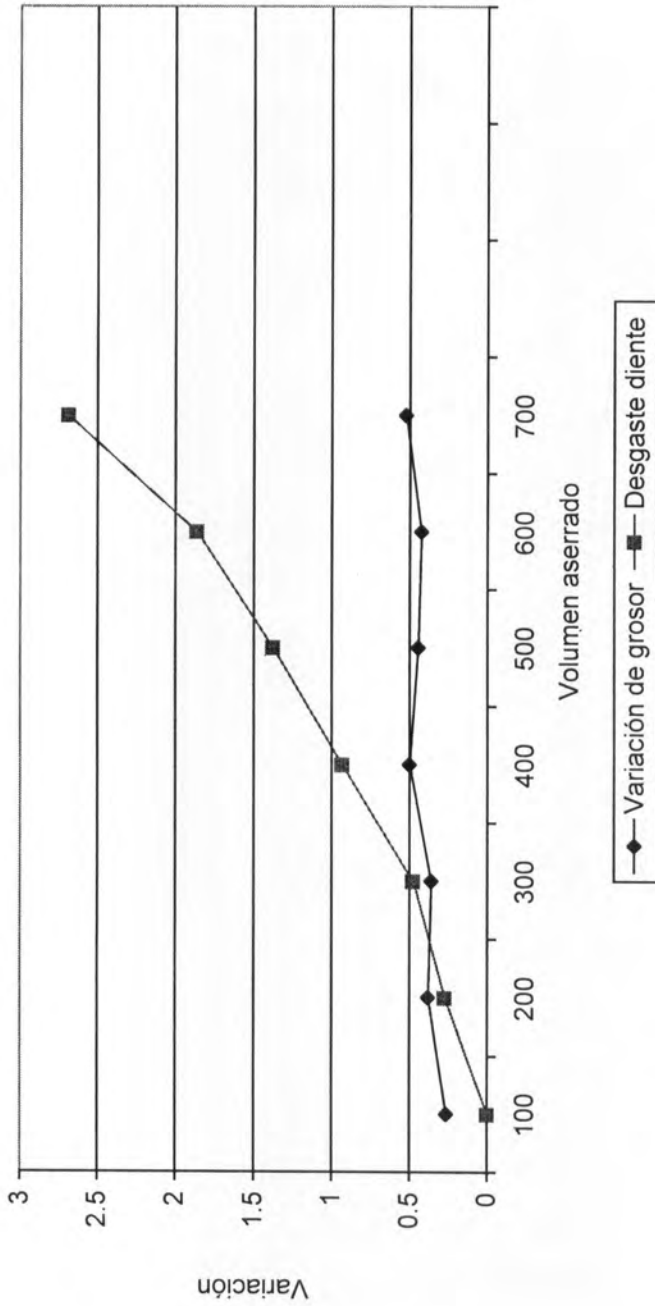


Figura 3. Comportamiento del desafilado y variación de grosor cada 100 m lineales aserrados con sierra de dientes recalcados.

El análisis de los resultados muestran que la longitud aserrada tuvo influencia sobre el desgaste de los dientes de la sierra con dientes recubiertos entre los 600 y 1100 m con una variación mayor en el corte y en el consumo de energía. Para la sierra con dientes recalcados este efecto se alcanzó en 500 m lineales aserrados, con un desgaste mayor después de aserrar 1100 m con la sierra de estelite, lo que repercutió también en un consumo de energía más alto y una variación de corte más drástica que se inició desde los 200 m de longitud aserrada. Comparativamente entre las dos sierras probadas, la de estelite tuvo un rendimiento superior a 220%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Kirbach y Bonac (1982a), que atribuyen una mayor resistencia al desgaste por la composición química de los materiales que se utilizan para recubrir los dientes.

El tiempo efectivo de corte acumulado total para aserrar 800 m con la sierra con dientes recalcados fue de 106.4 min y de 92.15 min para aserrar 1100 m lineales por medio de la sierra con dientes de estelite (Cuadros 7 y 8). Es evidente que además de tener un rendimiento mayor con esta última y conservar la seguridad en el corte, también fue posible aumentar la velocidad de avance de la madera hacia la sierra.

Cuadro 7. Tiempo efectivo de corte en la sierra con dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Tiempo efectivo de corte (min)
1	101.26	101.26	18.96
2	101.45	202.71	17.58
3	103.99	306.70	17.23
4	98.13	404.83	23.91
5	101.60	506.43	10.58
6	101.60	606.03	6.21
7	101.60	709.63	6.05

Otros estudios realizados con este tipo de sierras han demostrado que el tiempo de aserrado con sierras de estelite es ocho veces mayor que utilizando sierras con dientes ordinarios. En este caso en particular, se concluyó que

Cuadro 8. Tiempo efectivo de corte en la sierra con dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Tiempo efectivo de corte (min)
1	101.97	101.97	13.16
2	101.15	203.12	12.06
3	105.02	308.14	19.15
4	98.45	406.59	18.93
5	82.09	488.68	10.94
6	101.60	590.28	6.55
7	101.60	691.88	5.85
8	101.60	793.48	4.35
9	101.60	895.05	4.72
10	116.84	1011.92	6.64

el rendimiento de la sierra con estelite fue 62% mayor que por medio de la sierra con dientes recalcados.

CONCLUSIONES

La sierra con dientes recubiertos con estelite 12 presentó la mayor resistencia al desafilado, lo que permitió aserrar 137.5% más de volumen de madera de encino. Esta sierra tuvo un consumo de energía 30% menor que la de dientes recalcados.

La variación en el corte fue menor en 80% que la variación de la sierra con dientes recalcados.

El rendimiento de la sierra con estelite fue 62% mayor que en la sierra con dientes recalcados.

REFERENCIAS

- Allen, E. 1984. Band saw tooth and gullet design. *In: Workshop on design and operation of circular and band saws.* University of California, Berkeley, CA. 21 p.
- Béjar M., G. 1982. Aserrío de la madera de encino. *Bol. Div. Inst. Nac. de Invest. For. México.* 62. 33 p.
- CSR Training Center. 1991. *Tecnologia delle lavorazioni.* Italia. 195 p.
- Kirbach, E. D. 1984a. Improve saw performance by tipping saws with stellite. *Canadian Forest Industries* (1): 50-53.
- Kirbach, E. D. 1984b. New methods for reducing saw tooth wear and maintenance. *Modern Sawmill & Panel Techniques 1.* Vol. 1 Proceeding of North American Sawmill & Panel Clinic. Oregon pp. 40-49.
- Kirbach, E. D. 1986. Problems and solutions in maintenance and operation of band saws. *Foreintel Canada Corp.* 25 p.
- Kirbach, E. and T. Bonac. 1982a. Dulling of sawteeth tipped with a stellite and two cobalt-cemented tungsten carbides. *Forest Prod. Journal* 32 (9): 42-45
- Kirbach, E. and T. Bonac. 1982b. Alloy tipping for reduced sawtooth dulling. *Forest Prod. Journal* 32 (9): 36-40
- Koch, P. 1964. *Wood machining processes.* Donald Press Company. New York. 530 p.
- Lustrum S., J. 1984. Balanced saw performance. *In: Proc. Annu. Harwood. Symp.* Harwood Res. Counc. Ashville. pp. 16-37.
- Quezada F., A. y R. Roseberry L. 1969. Acondicionamiento y manutención de sierras huinchas. *Manual No. 6.* Instituto Forestal. Chile 101 p.
- Quiñónez O., J. O. y A. Herrera B. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Ciencia Forestal* 9 (52): 3-10.
- Sandvik. 1964. *Manual sobre hojas de sierra cinta ancha para madera.* Sandvikens Jerverks AB. Suecia. 63 p.
- Schrewe, H. 1983. *Manual de acondicionamiento y mantenimiento de la sierra cinta.* FAO. Lima. 92 p.
- SEMARNAT. 2001. *Anuario estadístico de la producción forestal 1999.* México. 156 p.
- Sierras y Maquinaria S.A. 1980. *Perfiles de diente.* Nota técnica, mimeógrafo. México. 4 p.
- Tuseet, R. y F. Duran. 1979. *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización.* Ed. Hemisferio Sur. Uruguay. 603 p.
- Zavala Z., D. y J. A. Gándara. 1976. *Determinación del tipo de diente más adecuado de la sierra banda para aserrar maderas duras.* Proyecto de Investigación. Inst. Nac. Invest. For. 13 p.