

CAPÍTULO 4

Proceso de aserrado: parámetros y factores que lo afectan

M. Mercedes Refort, Eleana M. Spavento y Gabriel D. Keil

Consideraciones generales

El propósito de cualquier industria de aserrado es aprovechar de manera eficiente la materia prima que se procesa en la misma. En términos generales, se considera que más del 45% del rollizo se transforma en productos secundarios, por lo cual, existe la necesidad de buscar alternativas frente a esta situación. Para ello, se debería recurrir a un proceso industrial sostenible y a un procesamiento integral de la materia prima, tratando en la medida de lo posible, de maximizar aquellos productos de mayor valor (vigas y tablas de buena calidad, de mayores escuadrías y largos), minimizando la cantidad de productos secundarios de menor valor, o bien, posibilitando su empleo en otros usos tales como el de bioenergía. En este sentido, al realizar una integración vertical de las actividades forestales (silvicultura-industria-mercado) se obtiene un uso eficiente de la madera con un mayor valor agregado de los productos obtenidos (González Soto, 2017).

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, en el presente capítulo se detallarán los parámetros del proceso de aserrado y los factores que los afectan, debido a la importancia que estos representan para dicha integración.

Parámetros

A continuación se describirán los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de aserrado.

El **rendimiento** se define como la relación porcentual entre el volumen resultante de productos aserrados y el volumen de madera rolliza (trozas) empleado para obtenerlos (Fórmula 4.1). Este término es también conocido como coeficiente de aserrío, coeficiente de conversión o factor de recuperación de madera (Baca Marín, 2001).

$$R (\%) = \frac{VM}{VT} \times 100 \quad (4.1)$$

Siendo: *R*: rendimiento, en %; *VM*: volumen de madera aserrada, en m³; *VT*: volumen de madera ro-
lliza, en m³.

Es uno de los parámetros determinantes para medir el funcionamiento de la industria de ase-
rrado, permitiendo a su vez, conocer las debilidades del proceso de transformación y realizar los
ajustes necesarios que conduzcan al alcance de una mayor industrialización forestal primaria.

En los aserraderos locales es común expresar este parámetro relacionando el volumen de madera
aserrada en pie cuadrados con el peso en toneladas de las trozas procesadas. Si bien es una medida
difundida en la foresto industria local, no es recomendable su uso ya que la medida de peso está
influenciada por la cantidad de agua que contenga al momento de tomar dicha medida, por lo que la
forma correcta de determinar el rendimiento es como se expresa en la Fórmula 4.1.

En la práctica, se requiere una planificación previa para la determinación del rendimiento,
siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

- Determinar la muestra de trozas a analizar, debiendo ser representativa del total del lote.
- Identificar y clasificar por diámetro y/o calidad las trozas con las que se va a trabajar.
- Cubicar cada una de las trozas por algunos de los métodos analizados en el Capítulo 3.
- Identificar, clasificar y medir la madera aserrada por calidad, escuadría y longitud.
- Calcular el volumen de la madera aserrada según calidades y dimensiones.
- Calcular el rendimiento total y parcializado por calidades y escuadrías.

Para el cálculo del porcentaje de costaneros o lampazos generados durante el proceso de
aserrado, un método práctico es realizar el chipeado de los mismos, embolsar los chips y pesar-
los con un dinamómetro, previo tarado del bolsón vacío (Figuras 4.1 y 4.2).



Figura 4.1. Determinación de peso con dinamómetro.
Fuente: Propia (2019).



Figura 4.2. Muestras de chips.
Fuente: Propia (2019).

Para determinar en laboratorio la densidad de la madera chipeada, se toma una muestra, se la pesa teniendo en cuenta su contenido de humedad y se calcula su volumen por la técnica de desplazamiento de fluido (Figuras 4.3 y 4.4).



Figura 4.3. Peso de chips.
Fuente: propia (2019).



Figura 4.4. Determinación de volumen de chips.
Fuente: propia (2019).

La densidad se determina aplicando la Fórmula 4.2.

$$D \text{ (Kg/m}^3\text{)} = \frac{P}{V} \times 100 \quad (4.2)$$

Siendo: D : densidad, en Kg/m^3 ; P : peso al contenido de humedad determinado, en Kg ; V : volumen de chips al mismo contenido de humedad, en m^3 .

Luego, con el valor de la densidad obtenido en laboratorio y el peso del total de chips proveniente de los costaneros procesados, se obtiene el volumen de costaneros según la Fórmula 4.3.

$$V_c \text{ (m}^3\text{)} = \frac{P_c}{D} \quad (4.3)$$

Siendo V_c : volumen total de chips obtenidos de los costaneros, en m^3 ; P_c : peso total de chips, en Kg ;
 D : densidad, en Kg/m^3 obtenida mediante Fórmula 4.2.

Por último, para obtener el volumen de aserrín generado durante el proceso de aserrado, se realiza el cálculo según la Fórmula 4.4.

$$V_a \text{ (m}^3\text{)} = VT - VM - V_c \quad (4.4)$$

Siendo V_a : volumen de aserrín, en m^3 ; VT : volumen de las trozas procesadas, en m^3 ; VM : volumen de madera aserrada, en m^3 ; V_c : volumen de costaneros chipeados, en m^3 .

Asimismo, otros dos conceptos importantes relacionados con el rendimiento, son la productividad y eficiencia.

La **productividad** se determina en base al volumen de madera aserrada producida por unidad de tiempo, empleando la Fórmula 4.5.

$$P \text{ (pie}^2\text{/mes)} = VM \times T \times D \times 424 \quad (4.5)$$

Siendo: P : productividad mensual, en $\text{pie}^2\text{/mes}$; VM : volumen de madera aserrada, en $m^3\text{/hora}$; T : duración del turno, en horas; D : días de trabajo mensuales, adimensional; 424: coeficiente de conversión de m^3 a pie^2 , adimensional.

La **eficiencia** se determina en base a la relación entre el volumen de trozas procesadas en un día y el número de operarios involucrados en la producción, según la Fórmula 4.6.

$$E \text{ (m}^3\text{)} = \frac{VT}{O} \quad (4.6)$$

Siendo: E : eficiencia de la producción, en m^3 por operario y por día de trabajo; VT : volumen de trozas procesadas, en $m^3\text{/día}$; O : número de operarios involucrados para procesar VT , adimensional.

En base a los conceptos antes mencionados, este capítulo se centrará en los principales factores que afectan el rendimiento y por consecuencia también afectarán la productividad y la eficiencia de aserrado.

Factores

Los seis factores que serán desarrollados son **materia prima, equipamiento, procesos, productos, personal y mantenimiento de los elementos de corte**.

Materia prima

Este factor considera el tamaño (diámetro y longitud), la forma y la calidad de las trozas.

Tamaño de la troza

Diversos autores indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrado, demostrándose en la gran mayoría de las experiencias, que en la medida que

el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas (Acevedo Correa, 2014; Arreaga Morales, 2007; Aguilar Cayún & Sanhueza Bravo, 2003). Lo antes mencionado, pone de manifiesto la importancia de garantizar, en lo posible, un mayor desarrollo de las existencias maderables de grandes dimensiones y mejor calidad, destinadas a los aserraderos, tomando en consideración, las limitaciones de tamaño de procesamiento de las trozas dada por el tipo de equipamiento disponible para procesarlas.

El rendimiento de las trozas en el proceso de aserrado es afectado por la longitud, la cual a su vez, está asociada a la conicidad de las mismas (Figura 4.5, Fórmula 4.7).

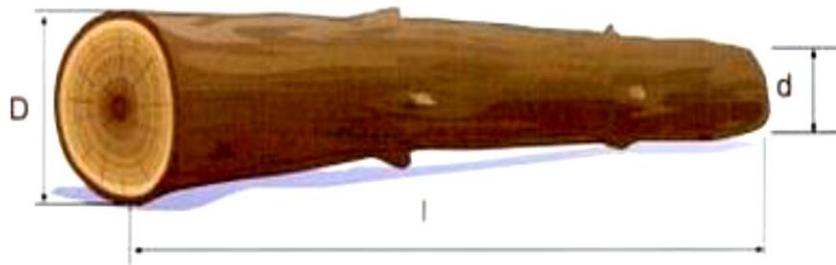


Figura 4.5. Conicidad de una troza.
Fuente: Acevedo Correa (2014).

$$\text{Conicidad} = \frac{D - d}{l} \quad (4.7)$$

Siendo: *D*: diámetro máximo, en mm; *d*: diámetro mínimo, en mm; *l*: longitud, en m.

En términos generales, a mayor longitud, mayor conicidad, lo cual dificulta obtener rendimientos semejantes en volumen y calidad en todo el largo de la troza. Asimismo, hay que considerar que la forma es influenciada por la especie, las condiciones de crecimiento (sitio y clima) y el manejo silvicultural.

Calidad de la troza

La calidad de las trozas es otro de los factores a tener en cuenta. En este caso, deben considerarse las curvaturas (Figura 4.6, Fórmula 4.8), grados de ataques de insectos u hongos, como así también sus características intrínsecas (propias de su crecimiento), la presencia de madera de reacción, médula incluida, nudos, entre otras. A medida que estas particularidades afectan en mayor proporción a la troza, se produce una importante reducción del rendimiento, comparado con trozas de mayor rectitud y calidad.

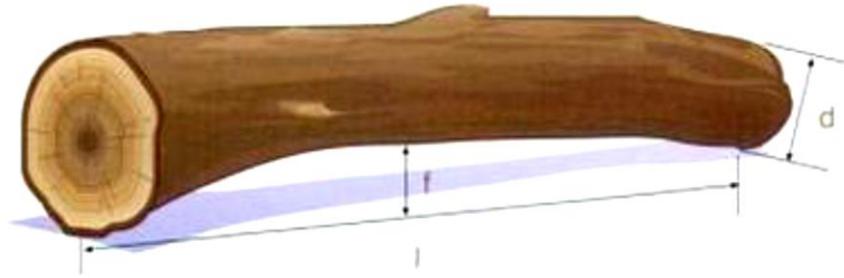


Figura 4.6. Curvatura de una troza.
Fuente: Acevedo Correa (2014).

$$\text{Curvatura} = \frac{f}{l} \quad (4.8)$$

Siendo: *f*: flecha, en mm; *l*: longitud, en m.

De acuerdo con lo expresado, se considera de importancia la aplicación de tratamientos silviculturales en las plantaciones que se van a destinar a la industria del aserrado, como así también la clasificación y cubicación de las trozas previo al aserrado, lo cual también influirá y definirá el sistema de corte a utilizar.

Equipamiento

Este factor influye en el rendimiento según el tipo de sierras ya desarrolladas en el Capítulo 3, y de acuerdo con ello, según el ancho de corte de la sierra y la variación del corte.

Ancho de corte

El ancho de corte, o también denominado *kerf*, se define como la cantidad de material que la herramienta de corte va a retirar de la madera. Este parámetro influye sobre el rendimiento de madera aserrada ya que una vía de corte ancha se traduce en mayores pérdidas de madera en forma de aserrín. Esto también provoca una disminución de la eficiencia de la maquinaria, dado que influye de forma directa en la potencia de corte empleada, o sea, a menor ancho de corte, menor potencia requerida.

Existen dos tipos de ancho de corte, uno teórico y otro real o práctico, los cuales se esquetizan en la Figura 4.7.

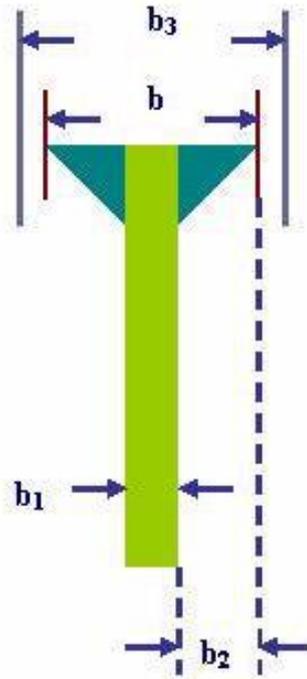


Figura 4.7. Esquema de los canales de corte, teórico (b) y práctico (b_3).
Fuente: Aguilar Cayún & Sanhueza Bravo (2003).

Ambos tipos de ancho de corte se calculan atendiendo a las Fórmulas 4.9 y 4.10.

$$\text{Ancho de corte teórico } (b) = b_1 + b_2 \quad (4.9) \quad \text{Ancho de corte práctico } (b_3) = b + (b_3 - b) \quad (4.10)$$

Siendo: b : canal de corte teórico, en mm; b_1 : espesor de la hoja, en mm; b_2 : dimensión del proceso de ensanchamiento del diente, trabado o recalado, en mm; b_3 : ancho de corte real o práctico, en mm; $b_3 - b$: irregularidades del corte real, en mm.

Las variaciones que influyen en el ancho de corte, en general, son aquellas relacionadas al mantenimiento de los equipos, al tipo de máquina/sierra y a las vibraciones producidas durante el corte propiamente dicho.

El canal de corte teórico (b), varía según el tipo de maquinaria/sierra empleada para el corte, en rangos como los indicados a continuación:

- **Sierra sinfín:** de 2,8 a 3 mm.
- **Sierra circular:** 5,6 a 8 mm.
- **Sierra alternativa:** de 3,2 a 3,6 mm.

Asimismo, depende de varios factores relacionados con el procesamiento de transformación de la madera; por ejemplo, a mayor velocidad de alimentación y/o ante la presencia de una sierra con deficiente mantenimiento, se genera un mayor canal de corte por las vibraciones que se producen durante el aserrado. En cuanto a las características de la madera, la densidad incide de manera inversa, esto es, a mayor densidad, el canal de corte disminuye.

En lo que respecta al espesor de la hoja de la sierra (**b₁**), es considerado un componente definitorio del ancho de corte teórico y, a medida que éste aumenta, disminuye el rendimiento. Al igual que lo mencionado anteriormente, este parámetro también depende del elemento de corte/tipo de sierra utilizada:

- **Sierra sinfín:** el espesor se calcula en función del diámetro de los volantes, por lo tanto en sierras con volantes de gran diámetro, se montan hojas de mayor espesor.
- **Sierra circular:** a mayor diámetro aumenta su espesor. Por ello, no es recomendable este tipo de sierras como sierra principal, ya que requieren de discos de grandes diámetros con gran espesor de cuerpo para mantener la estabilidad durante el corte.
- **Sierra alternativa:** a mayor longitud de sierra y mayor velocidad, mayor espesor.

En relación al proceso de ensanchamiento aplicado en los dientes de la sierra (**b₂**), este parámetro variará de acuerdo a si se aplica un proceso de trabado o de recalcado. El **trabado** consiste en el doblado de los dientes para uno y otro lado del cuerpo de la sierra, cuya función es separar el ancho de la zona de corte del ancho del cuerpo de la sierra, para que la madera no roce en él durante el proceso de corte y avance. Por otro lado, el **recalcado** consiste en el ensanchado del diente dado por el aplastamiento de su punta para que éste sea más ancho que el cuerpo de la sierra. Ambos tipos de modificaciones del diente dependerán de: la densidad de la madera (las especies más duras necesitan menos trabado); el grupo de especies (las coníferas necesitan más trabado que las latifoliadas); la humedad de la madera (las maderas más húmedas necesitan más trabado que las maderas más secas); el contenido de resina (las especies con altos contenidos de resina requieren mayor trabado); la temperatura (las maderas más heladas requieren un menor trabado); el ancho de los anillos (las maderas con anillos más anchos requieren mayor trabado); el espesor de la hoja de la sierra (las hojas angostas requieren menor trabado); la velocidad de alimentación porque requieren sacar gran volumen de aserrín en menor tiempo (mayores velocidades demandan mayor trabado). Por su parte, el valor de recalcado depende de otros factores; por ejemplo, en presencia de una madera más blanda, resinosa, fibrosa y húmeda, el valor del recalcado será mayor, a modo de reducir la fricción de las fibras de la madera que se proyectan a partir de la superficie recién aserrada. Asimismo, este valor aumenta cuando la máquina o la sierra presentan imperfecciones que se traducen en una mayor imprecisión de corte.

Por último, la desviación del corte de la sierra es producto de las irregularidades (**b_{3-b}**), generadas por las vibraciones de la hoja durante el corte. Dichas irregularidades están en función de la longitud libre de la sierra, siendo variable según cada tipo de sierra:

- **Sierra sinfín:** la longitud libre queda establecida por la distancia entre la guía inferior fija y la guía superior móvil ascendente-descendente.
- **Sierra circular:** la longitud libre la determina la distancia entre el borde externo del collarín y la periferia del disco; es menor que el radio del disco.
- **Sierra alternativa:** la longitud libre se define por la distancia entre el registro inferior fijo y el superior móvil ascendente-descendente.

Por lo tanto, este ancho debido a las irregularidades en el corte será más estrecho en sierras más rígidas con menos vibraciones, donde el avance o carrera es más parejo, como así también cuando el corte presente mayor precisión.

Variación en el corte

La variación en el corte se debe a que tanto la troza como la sierra no se mueven de manera rectilínea, originando variaciones en las dimensiones del producto obtenido, con la consecuente pérdida de rendimiento.

Procesos

Los factores relativos al proceso son considerados de gran importancia en cuanto al rendimiento del proceso de aserrado. Entre ellos, se considerarán como aspectos más importantes, el tronzado y los patrones de corte.

Tronzado

El tronzado del rollizo, es decir el dimensionamiento en longitud, es de gran importancia, ya que una longitud superior a la que se utilizará o una longitud inferior a la necesaria, redundaría en una pérdida muy importante del producto final. Además se pierde en productividad, ya que se emplea más tiempo si se tronza por exceso (mayor longitud que la medida comercial del producto requerido), disminuyendo significativamente el rendimiento.

Patrones de corte

El patrón de corte, también conocido como esquema, sistema, plan o diagrama de corte, es la manera en que se asierra el rollizo para producir madera aserrada de distintas escuadrías y largos, de manera tal de obtener, en el menor tiempo posible, el mayor rendimiento en cuanto a volumen y calidad.

En todo sistema, la localización del primer corte de apertura, tanto en el rollo como en la basa (elemento central escuadrado que se obtiene después de retirar los costaneros de la troza), es la clave para obtener el máximo rendimiento. Un esquema de corte que incluya mayor cantidad de cortes en la troza produce mayor cantidad de aserrín y por lo tanto, reduce el rendimiento.

Las herramientas computarizadas buscan la optimización de los patrones de corte, mediante la automatización de los procesos. A través de estos programas se mejora la planificación de la producción, garantizando la minimización de los niveles de desperdicios y los tiempos de producción, permitiendo optimizar la calidad del producto (Catrinahuel Montenegro & Beltrán Tiznado, 2006). Asimismo, para lograr esta automatización de manera eficiente, es importante realizar las actividades en la playa de trozas que fueron abordadas en el Capítulo 2, debido a que estas características influirán directamente en los esquemas de corte a programar.

Por lo tanto, los sistemas de corte, dependerán, entre otras consideraciones, del nivel de equipamiento del aserradero (máquinas principales y desdobladora, Capítulo 3).

La variedad de combinaciones de maquinarias utilizadas para obtener madera aserrada es muy amplia y diversa, cada una con sus características particulares. En la Tabla 4.1, se presentan posibles combinaciones de sierras y sistemas de corte.

SIERRAS			SISTEMAS DE CORTE
Tipo	Función		
	Principal	Desdobladora	
Sinfín	Vertical simple	Vertical simple	Tangencial-Radial-Paralelo al eje-Individual o abierto- C/defectos y tensiones
	Vertical doble	Vertical doble	Tangencial-Paralelo al eje-Individual o abierto. C/tensiones.
	Vertical doble	Horizontal simple	Tangencial-Paralelo al eje-Individual o abierto
		Horizontal doble	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado
		Horizontal cuádruple	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado
		Horizontal séxtuple	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado
Circular	Simple	Simple	Tangencial-Radial-Paralelo al eje y a la generatriz-Individual o abierto- C/defectos y tensiones
	Doble de 1 eje	Múltiple de 1 eje	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado- C/tensiones
	Doble de 2 ejes	Múltiple de 2 ejes	Tangencial-Paralelo eje-Simultáneo o cerrado- C/tensiones
Alternativa	Vertical múltiple	Vertical múltiple	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado
Chipeadora canteadora	Chipper Canter	Múltiple	Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado
Perfiladora	Equipo perfilador		Tangencial-Paralelo al eje-Simultáneo o cerrado

Tabla 4.1. Combinaciones de sierras y posibles sistemas de corte.
Fuente: propia (2019).

A continuación se describen algunos de los sistemas de corte más utilizados en los aserraderos, como así también el sistema de corte de los equipos de *chipper canter* y perfiladora.

- **De acuerdo a la cantidad de cortes por pasada**

Individual o abierto: en este tipo de aserrado, en cada pasada de la troza por la sierra, se obtiene sólo una pieza aserrada (tabla o tablón). Para obtener una segunda pieza, la troza debe pasar otra vez por el elemento cortante, y así sucesivamente. En este tipo de aserrado las superficies quedan a la vista, y dependiendo de su calidad, se puede decidir sobre el espesor que se le dará a la pieza en el siguiente corte. Por esta razón, este método de aserrado es también conocido como abierto y se utilizan máquinas principales que cuentan con una sierra simple y el avance se realiza con carro. Este sistema es considerado importante en aserraderos de especies nativas o en aserraderos donde sólo tienen, como sierra principal, una sierra circular o una sierra sinfín, actuando además como máquina desdobladora (INFOR, 1989). Éste es el caso del CTM (Figuras 4.8 y 4.9).



*Figura 4.8. Aserrado por sistema de corte abierto-CTM.
Fuente: Propia (2019).*



Figura 4.9. Costanero aserrado-CTM.
Fuente: Propia (2019).

Masivo o cerrado: en este caso, la troza pasa una sola vez por la sierra, obteniéndose diversas piezas con espesores iguales o variados en esa única pasada. Normalmente, las tablas deben cantearse en una máquina secundaria para eliminar el canto muerto y obtener el ancho final de la pieza. En este tipo de aserrado no existe la posibilidad de observar la superficie de corte y los defectos internos que pudiera tener la troza. De acuerdo con esto, este sistema es también conocido como cerrado; la clasificación por calidad se debe efectuar después del aserrado. Este esquema se realiza con máquinas alternativas, circulares múltiples o grupos de sierras sin fin (en tándem), presentando un rendimiento mayor que el sistema individual anteriormente descrito (INFOR, 1989).

- **De acuerdo a la dirección de avance de la troza**

Por el eje de la troza: en este tipo de aserrado los cortes se realizan en forma paralela al eje longitudinal de la troza. Las piezas se obtienen con veta atravesada, producto de la conicidad del rollizo (INFOR, 1989).

Por la generatriz de la troza: es el aserrado que se realiza paralelo a la corteza de la troza. Las piezas se obtienen con veta recta al inicio del aserrado y veta atravesada cuando se llega al lado opuesto de la troza, producto de la conicidad del rollizo (INFOR, 1989).

- **De acuerdo al tipo de madera obtenida**

Aserrado de madera floreada y cuarteada: con este tipo de sistemas se busca obtener madera con una clara diferencia en sus caras tangenciales o radiales, por lo que, el rollizo se puede aserrar tangente a los anillos de crecimiento (madera floreada, Figura 4.10), o radialmente a ellos (madera cuarteada, Figura 4.11).

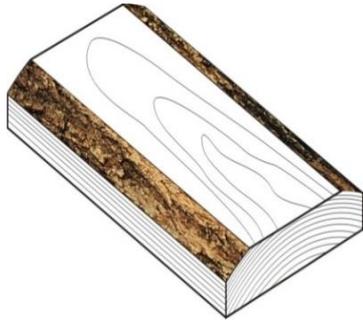


Figura 4.10. Aserrado de madera floreada.
Fuente: Spavento (2015).

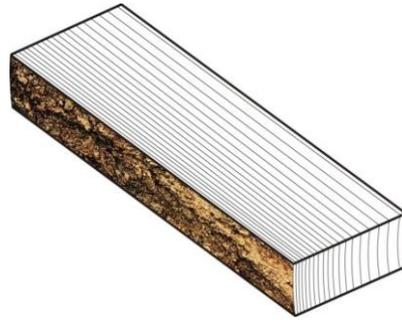


Figura 4.11. Aserrado de madera cuarteada.
Fuente: Spavento (2015).

El corte tangencial es el que se aplica mayormente por su simplicidad; requiere menor tiempo de aserrado y se obtiene mejor aprovechamiento. Asimismo, el veteadado resultante de los anillos de crecimiento es atractivo y notorio, mientras que en el proceso de secado presenta menor contracción en el espesor.

El corte radial implica una mayor complejidad, lo que disminuye sensiblemente el rendimiento del proceso y lo hace costoso, por lo que se aplica sólo para pedidos y usos especiales, tales como pisos de madera, por ser un corte de mayor estabilidad dimensional. En este sentido, la madera radial presenta menor contracción en el ancho de la pieza, es menos propensa a los defectos de forma y de estructura que se pudieran ocasionar durante el proceso de secado y posterior uso de la pieza; además, su veteadado debido a los radios leñosos puede ser notorio y atractivo en algunas especies (Bach. Huarcaya de la Cruz, 2011; INFOR, 1989). Las consideraciones vinculadas a los defectos de forma y estructura serán desarrolladas con mayor detalle en el Capítulo 5.

A modo de ejemplo, a continuación se presentan algunas posibilidades de combinaciones de sierras y esquemas de corte (Figuras 4.12 y 4.13).

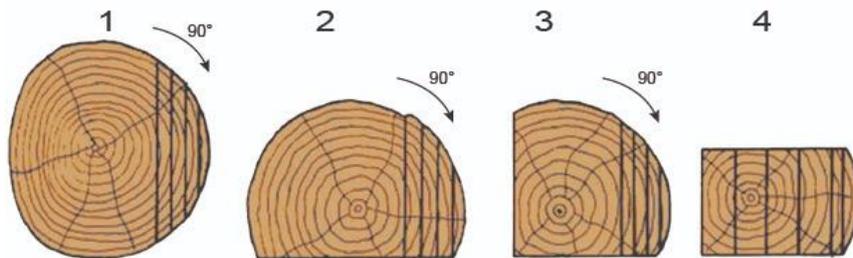


Figura 4.12. Sistema de corte con sierra simple como máquina principal y desbobladora.
Fuente: adaptada de INFOR (1989).

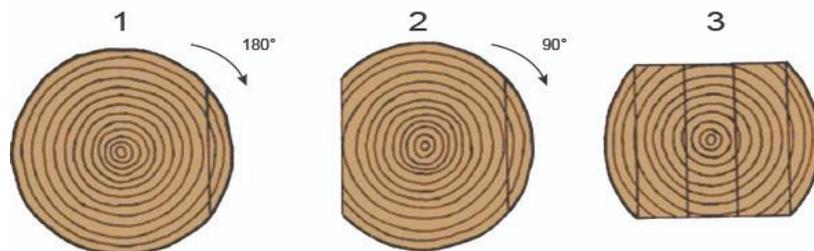


Figura 4.13. Sistema de corte con sierra simple y desbobladora múltiple.
Fuente: adaptada de INFOR (1989).

- **De acuerdo al uso de equipos y/o técnicas especiales**

Sistema de corte con chipeadora-canteadora: a diferencia del aserrado tradicional, la técnica de *chipper canter* se caracteriza por chipear los costaneros a medida que se van separando de la basa central escuadrada. La viga o basa central luego debe ser desdoblada en tablas, generalmente en sierras circulares múltiples de dos ejes (Figura 4.14). En el aserrado tradicional, los primeros cortes se realizan para separar los costaneros, que luego son reaprovechados para la obtención de tablas más angostas y cortas, mientras que el remanente del costanero fino es chipeado por la astilladora.

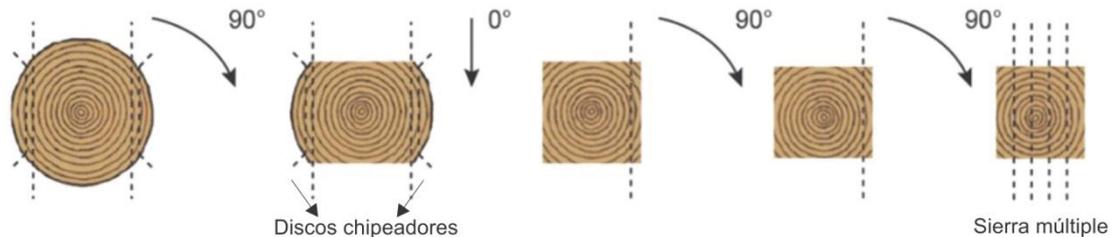


Figura 4.14. Sistema de corte con *chipper canter* y sierra circular múltiple.
Fuente: adaptada de Aguilar Cayún & Sanhueza Bravo (2003).

Sistema de corte con perfiladora: un detalle resumido del proceso es esquematizado en la Figura 4.15. A diferencia del aserrado tradicional y del mismo modo que en el *chipper canter*, las tablas salen canteadas, con la diferencia que en la perfiladora los costaneros gruesos se aprovechan para obtener tablas canteadas; en el *chipper canter* se chipea mayor volumen de madera, obteniéndose un rendimiento menor en madera aserrada con respecto al perfilado.

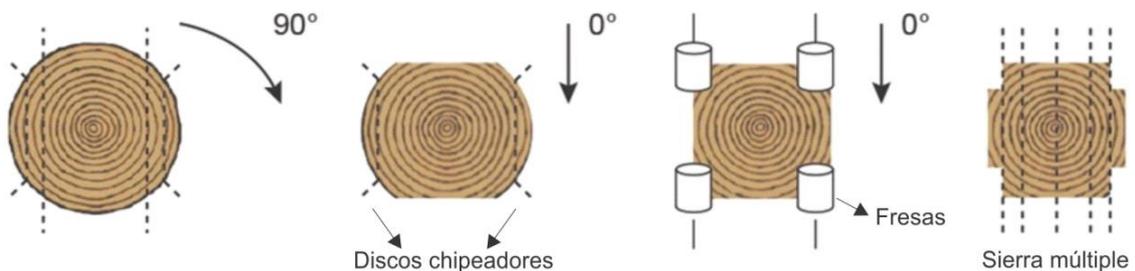


Figura 4.15. Sistema de corte con perfiladora (resumido).
Fuente: adaptada de Aguilar Cayún & Sanhueza Bravo (2003).

El proceso, detallado en la Figura 4.16, se inicia con la medición tridimensional de la troza (1) y el chipeado de dos costaneros, produciendo un núcleo con dos caras aplanadas o semibasa (2); posteriormente, la troza es girada a 90° (3) y se realiza el segundo aplanamiento con los discos chipeadores, produciendo un núcleo con cuatro caras aplanadas, pero aún con presencia, en parte, de canto muerto (4); la troza aplanada en 4 caras, es girada (opcional) (5) y medida tridimensionalmente para establecer los cortes sucesivos (6); seguidamente pasa por fresas que realizarán el canteado de las futuras tablas, proceso también denominado perfilado (7); a continuación se aserran, con sierras circulares dobles de dos ejes, y separan (8, 9); se realiza un nuevo girado de la troza (10) y se fresan (perfilan) los otros dos cantos (11); por último se realiza

el aserrado, con sierras circulares múltiples de dos ejes, de las tablas laterales canteadas y de la viga central obtenida, en tablas y/o tablonos (12).

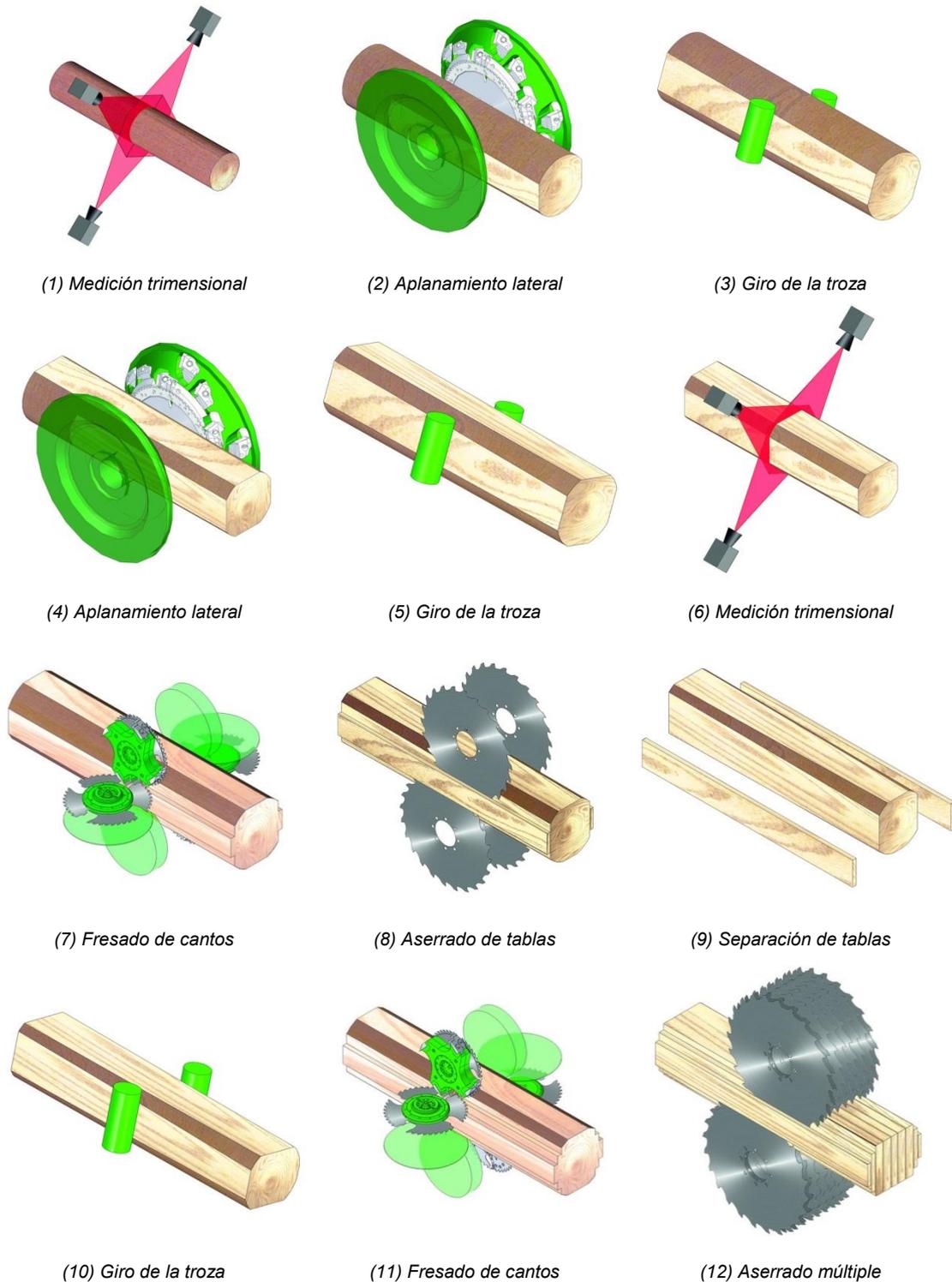


Figura 4.16. Sistema de corte con perfiladora (ampliado).
Fuente: Linck (2021)¹⁶.

¹⁶ <https://www.linck.com/es/inhalt/technologien/profilieretechnik.html>

Productos

Otro factor a considerar es la calidad del producto. En este sentido, de acuerdo a la ubicación de donde se obtiene la madera aserrada, se pueden clasificar en: madera lateral, semilateral y central. Cuando las piezas son obtenidas de la periferia de la troza se denominan maderas laterales (Figura 4.17, color verde) y se caracterizan por ser maderas libres de nudos en ejemplares podados, con una cantidad de defectos poco relevantes. Esta madera tiene un alto valor económico y está orientada a la industria de remanufactura (temática que se desarrollará en el Capítulo 5). La madera que le sigue a la anterior, desde la periferia de la troza hacía el interior, se denomina madera semilateral (Figura 4.17, color naranja); al igual que la anterior, se encuentra orientada a la industria de remanufactura, aunque la diferencia es que ésta presenta una mayor cantidad de nudos y defectos, siendo el rendimiento menor debido a que deben eliminarse los mismos para obtener el producto final. Por último, le sigue la madera central (Figura 4.17, color amarillo), la cual es obtenida de la parte central de la troza y se caracteriza por presentar la mayor cantidad de nudos y principalmente por la presencia de medula que restringe su uso estructural, especialmente en especies latifoliadas. Está orientada a la industria de la construcción, y sujeta, al igual que las anteriores, a restricciones de escuadría, calidad y mercado (Bach. Huarcaya de la Cruz, 2011; Aguilar Cayún & Sanhueza Bravo, 2003).

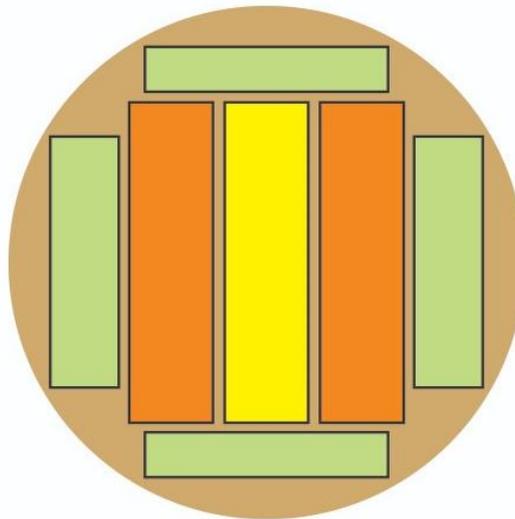


Figura 4.17. Tipos y calidades de productos.
Fuente: adaptada de Bach. Huarcaya de la Cruz (2011).

Eficiencia del personal

Este factor hace referencia especialmente a los responsables de las máquinas principales, reaserradoras, canteadoras y al personal del taller de afilado, ya que, a nivel de dirección y/u operación, el grado de conocimientos teórico-práctico que el personal tenga de los elementos que intervienen en el proceso, son de vital importancia durante el aserrado.

En este sentido, ante la naturaleza heterogénea de la materia prima, obliga a que el personal posea idoneidad para tomar decisiones rápidas. Ésto, sumado al desconocimiento de los procesos, descuidos por falta de concentración, cansancio o estado de salud no apto, pueden ser la causa de decisiones erróneas, con la consecuente repercusión negativa en el rendimiento. Por ello, la predisposición de trabajo y la producción tiene dos orígenes, uno de tipo natural y consecuencia del estado de salud, edad, higiene, alimentación, etc.; y otro, en el plano personal y anímico de cada operario.

Por lo antes mencionado, la capacitación continua como las condiciones aptas y confortables de trabajo, resulta en mejoras de los procesos productivos, como así también en mayor aprovechamiento de la madera, mayor productividad, seguridad de las operaciones, ingreso económico y satisfacción de los clientes.

Mantenimiento de los elementos de corte

El último factor a analizar que repercute en el rendimiento está relacionado con las condiciones y el mantenimiento de la maquinaria, equipo y accesorios de corte. Ello contempla su conservación, en condiciones adecuadas de uso, durante toda la vida útil. En general, se efectúa para que operen y funcionen en condiciones normales de calidad, dentro de los estándares de producción. Entre los problemas identificados en el proceso de aserrado, relacionados a las herramientas de corte, se pueden mencionar: dientes afilados en forma despareja o desafilados, pérdida de dientes, uso inadecuado del tipo de sierra, pérdida de tensión en las sierras, excesiva o deficiente velocidad de corte, mal estado de las guías en el caso de sierras sinfín, abolladuras y/o quemaduras en el cuerpo del disco en el caso de sierras circulares, entre otros. Todo ello, conlleva a una merma de rendimiento originando pérdidas económicas e imagen comercial deficiente.

Existen dos tipos de mantenimiento: el preventivo y el correctivo. El primero se considera el más importante y la razón de ser del mantenimiento de las maquinarias, las instalaciones y los accesorios de trabajo, mientras que el segundo, sólo corrige las anomalías o accidentes de trabajo que se presentan repentinamente durante el proceso de producción e interrumpen las actividades total o parcialmente (Sánchez Rojas, 2008).

Dentro del tipo de mantenimiento preventivo, el de las sierras es primordial para el correcto funcionamiento de los aserraderos, ya que incide directamente en la calidad y costo del producto.

Debido a que las sierras sinfín y las sierras circulares presentan diferentes elementos de corte, esta sección se divide atendiendo a cada una de ellas de manera independiente para un mejor entendimiento de las actividades de mantenimiento.

Mantenimiento de sierras sinfín

La mayor o menor vida útil de la herramienta de corte será afectada por una serie de factores relacionados a la especie de madera con la que se está trabajando, al proceso y a su mantenimiento. En relación a esto último, para realizar las actividades vinculadas a las sierras sinfín se requiere que el taller de afilado sea espacioso (debido a las dimensiones de las sierras), bien

iluminado y aislado de ruidos y viento, y en lo posible, que se encuentre ubicado en cercanía de la línea de aserrado (Figura 4.18). Para ello, debería contar con los siguientes equipos y accesorios: guillotina, biseladora, troqueladora, máquina automática de recalcado e igualado, banco de aplanado y equipo de laminado o tensionado, equipo de soldar, máquina de afilado automática, reglas de tensión, etc. (Sánchez Rojas, 2008).



Figura 4.18. Taller de afilado (Abra Ancha, Neuquén).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2018).

A continuación, se detallan los elementos constitutivos de las sierras sinfín, con el objetivo de poder entender las diferentes operaciones que se realizan en ella para su correcto funcionamiento. Consta de dos partes: dentadura y cuerpo. La dentadura está constituida por un número determinado de dientes y es la encargada de realizar el corte en la madera. El cuerpo es el soporte de la dentadura y es la parte de la sierra que se acopla y adapta a las volantes (Figura 4.19); en conjunto definen el ancho de la cinta (CITEMadera, 2011).

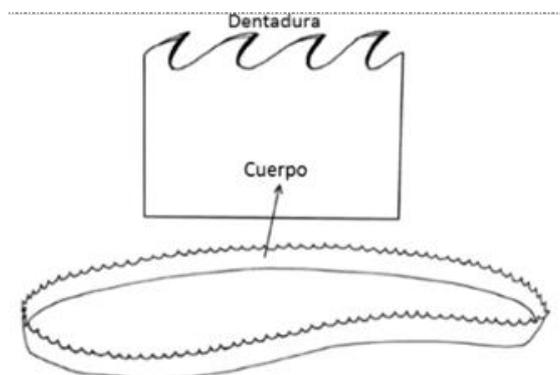


Figura 4.19. Partes de una sierra cinta.
Fuente: CITEMadera (2011).

Además del ancho, se deben considerar el espesor y la longitud de la sierra. El espesor está determinado por el diámetro de los volantes y permite lograr un adecuado tensado y precisión en el corte; se considera que el espesor máximo debe ser igual a la milésima parte del diámetro del volante. La longitud de la sierra es aquella que permite rodear los volantes superior e inferior para su correspondiente tensado (CITEmadera, 2011).

Las tres dimensiones de las cintas de la sierra sinfín antes mencionadas, ancho, espesor y longitud, están en función de la máquina donde van montadas.

El **ancho** de la sierra se define de acuerdo con la Fórmula 4.11:

$$A \text{ (mm)} = AV + h \text{ diente} + \text{régimen} \quad (4.11)$$

Siendo: A: ancho de sierra, en mm; AV: ancho de los volantes, en mm; h diente: altura del diente, en mm; régimen: distancia e/borde del volante y garganta del diente (5-8 mm), en mm.

El **espesor** de la sierra se determina según la Fórmula 4.12:

$$E \text{ (mm)} = \frac{\theta v}{1000} \quad (4.12)$$

Siendo: E: espesor, en mm; θv : diámetro de los volantes, en mm. A partir de E es posible estimar la altura del diente (h), considerando para ello el espesor (E) aumentado 8 o 10 veces, en mm.

La **longitud** de la sierra se calcula a partir de la Fórmula 4.13:

$$L \text{ (m)} = (\theta v \times \pi) + (\text{distancia e/ ejes volantes} \times 2) \quad (4.13)$$

Siendo: L: longitud de la sierra, en m; θv : diámetro de los volantes, en mm; π : 3,141516; distancia e/ejes volantes: distancia máxima-50 mm, en mm.

Los dientes forman la parte de la cinta que corta la madera. En el diente de la sierra sinfín se reconocen las siguientes partes: lomo, punta y garganta (Figura 4.20). Asimismo, el ángulo de corte, denominado C en la figura, debe ser escogido de acuerdo a la especie maderera, las velocidades de corte y de alimentación, y el tipo y forma del diente (CITEmadera, 2011; Cuenca García, 2006).

La distancia entre el fondo de la garganta y la punta del diente se denomina altura, y la distancia entre la punta de dos dientes consecutivos se denomina paso (Figuras 4.20 y 4.21). Se recomienda que el paso del diente sea mayor para maderas blandas y menor para maderas duras, ya que la generación de aserrín es mayor en las primeras (CITEmadera, 2011). A continuación se detallan algunas medidas de paso del diente (d) y ángulo de corte (C) según el tipo de maderas y tipo de diente, respectivamente:

- Maderas duras: d=35 mm.
- Maderas semiduras: d=40 mm.

- Maderas blandas: $d=45$ mm.
- Dientes recalcados: $C=18-20^\circ$.
- Dientes trabados: $C=5-10^\circ$.

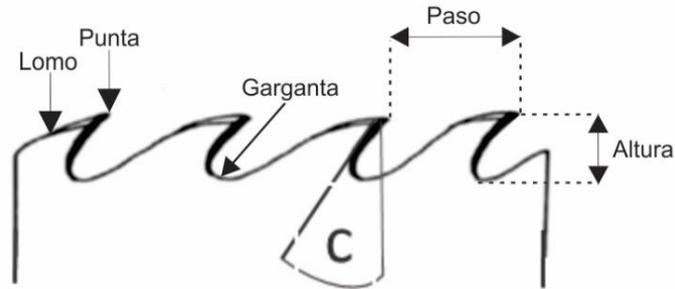


Figura 4.20. Detalle de las partes y parámetros del diente.
Fuente: adaptada de CITEMadera (2011); Cuenca García (2006).

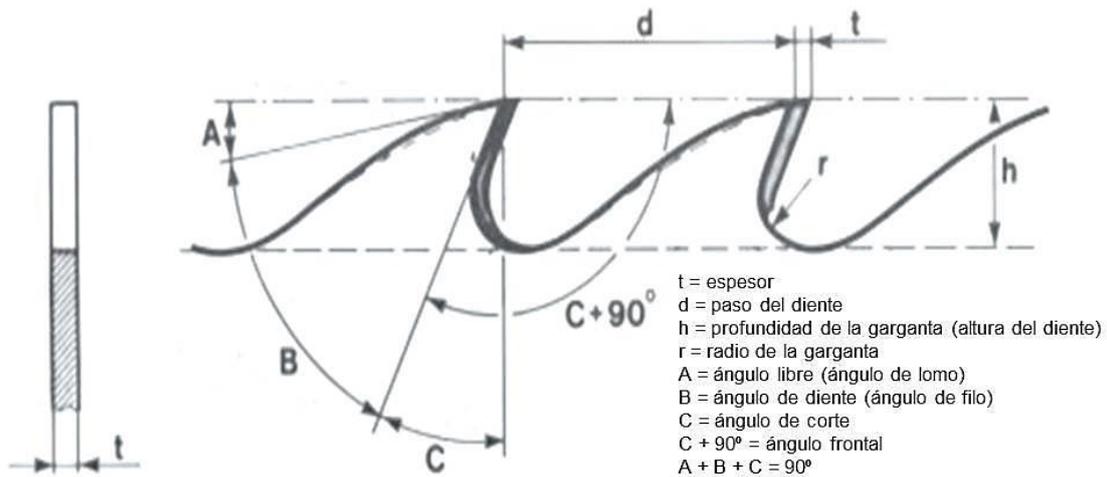


Figura 4.21. Partes, ángulos y parámetros del diente.
Fuente: Cuenca García (2006).

Tipos de dientes de sierras sinfín

Además del **trabado** y el **recalcado** descritos en este capítulo, se encuentran los dientes **estelitizados**.

El **estelitizado** es el soldado de la punta del diente con estelite, material más resistente que el del cuerpo del elemento de corte. Luego del estelitizado se realiza el afilado, igualado o rectificando. Con esto se logra que el rendimiento de la herramienta de corte sea mayor cuando se estelitan los dientes de la cinta (Figura 4.22). Este recubrimiento se utiliza para prevenir el desgaste causado por especies duras, particularmente, por aquellas que contienen un alto contenido de sílice (Devlieger & Baettig, 1999).

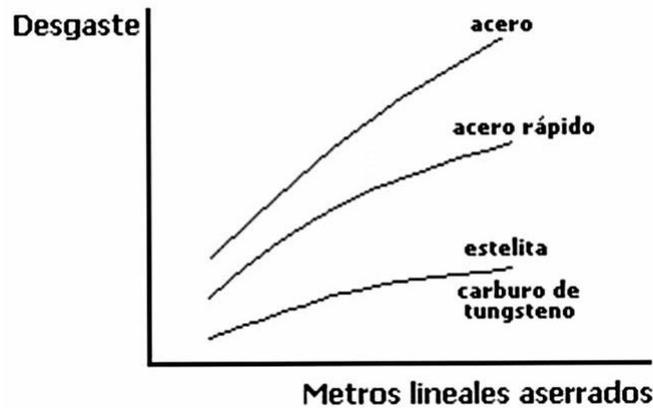


Figura 4.22. Desgaste del diente según materiales.
Fuente: Devlieger & Baettig (1999).

- Mantenimiento de hoja de sierra sinfín con dientes recalcados

Las actividades que se realizan en una sierra sinfín con este tipo de dientes, son las más utilizadas en la industria nacional e internacional, siendo además las factibles de realizar en el CTM. Entre ellas se incluyen en orden de realización: corte o guillotinado, soldadura, revenido o templado de la soldadura, terminación de soldadura, laminado, pre-afilado, recalco, igualado y afilado; estas tareas serán detalladas a continuación, tomando como base, fundamentalmente, lo considerado por Cuenca García (2006).

El **corte o guillotinado**, tal como su nombre lo indica, es el corte realizado con guillotina (Figura 4.23). Éste se realiza de manera perfectamente perpendicular al lomo de la sierra, haciendo dos cortes limpios, uno de cada lado para lograr una soldadura uniforme entre ambos. El mismo se realiza a la mitad del paso del diente.



Figura 4.23. Guillotina-CTM.
Fuente: propia (2019).

Una vez obtenida la hoja de sierra con los cortes antes mencionados, se realiza el proceso de **soldadura** (Figura 4.24); ésta consiste en la unión de las dos partes guillotadas de la hoja de sierra mediante una soldadura MIG (gas inerte Argón) o MAG (Argón + CO₂) (Sánchez Rojas, 2008).



Figura 4.24. Cordón de soldadura-CTM.
Fuente: propia (2019).

El **revenido o templado** es el tratamiento térmico que se realiza posterior a la soldadura, donde se produce un calentamiento lento a 500°C de la zona de soldadura; luego se envuelve con una tela para que se enfríe lentamente. Este proceso tiene por finalidad quitar rigidez a la unión que puede producir fisuras en la hoja de la sierra sinfín durante su trabajo (Figura 4.25).

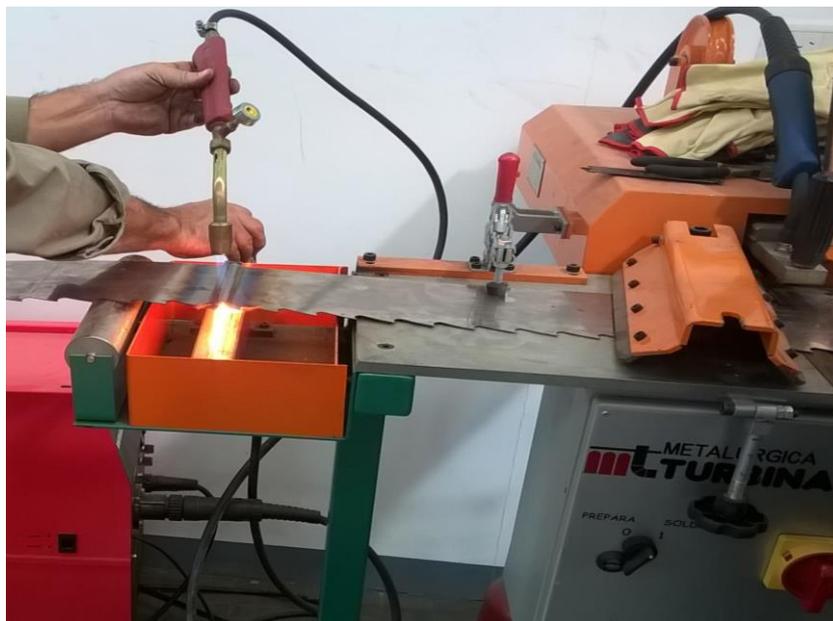


Figura 4.25. Proceso de revenido-CTM.
Fuente: propia (2019).

El proceso de soldado produce una marca de mayor espesor que el espesor de la hoja, por lo que en la **terminación de la soldadura** se realiza un tratamiento en el cual se pule la superficie soldada, eliminando el cordón formado con una amoladora, a fin de mantener el espesor de la sierra constante en toda su longitud y ancho (Figuras 4.26).



*Figura 4.26. Terminación de la soldadura-CTM.
Fuente: propia (2019).*

Con la hoja unida por los extremos, el próximo trabajo es el **laminado**, proceso que se realiza en ambos lados de la sierra para generar una tensión interna, que, junto a la tensión de montaje, hacen que la sierra se mantenga sobre los volantes.

Antes de comenzar con el laminado, la superficie de la sierra debe estar perfectamente limpia, lo cual se realiza aplicando gasoil con un pincel y limpiando con un paño; el óxido se quita con lija.

El laminado se logra dando mayor longitud en la zona central de la sierra, mediante dos rodillos que provocan el aplastamiento del material. La zona de laminado se ubica a 15 mm de la garganta del diente y a 15 mm del lomo de la sierra. Para realizar dicho proceso, se hacen pasar los rodillos con diferentes niveles de tensión sobre la hoja. Se pasa con mayor tensión en la pasada 1, luego en la 2 y 3, y con menor intensidad en la pasada 4 y 5; posteriormente se da vuelta la cinta y se hace igual con la pasada 6 y 7, aplicando mayor intensidad que en la pasada 8 y 9 (Figuras 4.27 y 4.28).

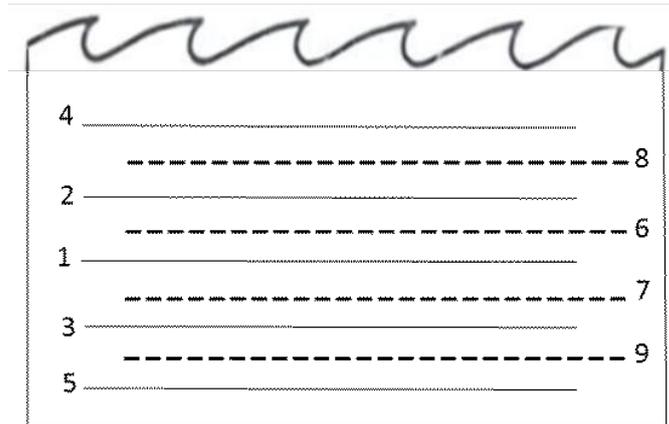


Figura 4.27. Esquema del proceso de laminado.
Fuente: adaptado de Cuenca García (2006).



Figura 4.28. Proceso de laminado-CTM.
Fuente: propia (2019).

Para verificar el correcto proceso de laminado se deben controlar la planitud, el tensionado y la rectitud de la hoja de la sierra. La planitud se controla visualmente entre guías, es decir en la parte plana de la sierra. El tensionado se controla con una regla; para ello, la sierra se ubica sobre el banco de trabajo, de modo tal que permita la correcta determinación; la regla se coloca presionando ligeramente contra la hoja, lo cual genera una línea delgada de luz, de pocas décimas de milímetros, que es la que indica el tensionado apropiado, el cual es juzgado visualmente. La rectitud es controlada con una regla colocada sobre el lomo de la sierra y en toda su longitud (Figura 4.29).



Figura 4.29. Control de rectitud de la hoja-CTM.
Fuente: propia (2019).

Tras los procesos realizados anteriormente, la hoja de sierra está lista para su **pre-afilado** (Figura 4.30). Este proceso se realiza en la máquina afiladora, y respetando el paso del diente, se le otorga el ángulo de ataque, la altura y la forma del diente deseada; la forma más común es la de pico de loro. El ángulo de ataque debe ser el mayor posible para reducir el esfuerzo de corte y por ende, la energía consumida. Además, el valor de dicho ángulo debe compatibilizarse con un adecuado grado de solidez del diente (Devlieger & Baettig, 1999).



Figura 4.30. Proceso de pre-afilado-CTM.
Fuente: propia (2019).

Con la forma del diente definida, se procede a su **recalcado**, proceso por el cual se presiona al material produciendo el ensanchamiento y endurecimiento (acritud) de la punta del diente, lo cual es, en general, realizado manualmente (Figura 4.31).



*Figura 4.31. Recalcadora-CTM.
Fuente propia (2019).*

El próximo paso es el **igualado** de la punta del diente (Figura 4.32). El mismo consiste en la rectificación de los dientes recalcados, a fin de asegurar su uniformidad y regularidad en las aristas cortantes (INFOR, 1989).



*Figura 4.32. Igualadora sierra sinfin en banco de trabajo-CTM.
Fuente: propia (2019).*

Luego del igualado de los dientes, la hoja pasa por el último proceso de mantenimiento que es el **afilado** (Figuras 4.33 y 4.34), el cual consiste en otorgarle filo al diente recalcado e igualado. Para afilar la sierra sinfín se emplea un disco de óxido de aluminio. El trabajo se realiza en un banco donde se regula el avance en base al paso del diente, y la profundidad del trabajo en base a la altura del diente y la forma de la garganta.

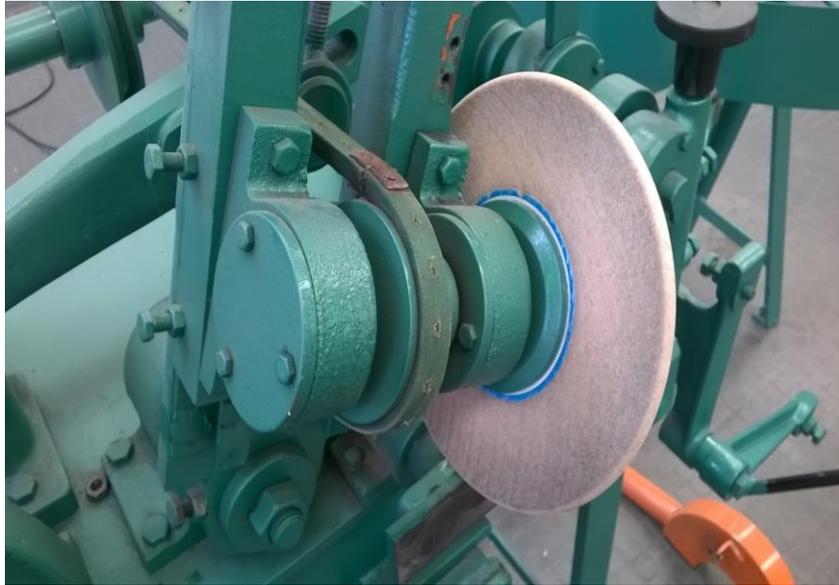


Figura 4.33. Piedra de afilado-CTM.
Fuente: propia (2019).



Figura 4.34. Afiladora en posición de trabajo-CTM.
Fuente: propia (2019).

- Mantenimiento de hoja de sierra sinfín con dientes trabados

La operación de **trabado** o **triscado** consiste en doblar alternativamente los dientes de la sierra sinfín, a la derecha e izquierda con una inclinación uniforme, de manera de asegurar regularidad durante el corte. Esta técnica es recomendada para sierras de cinta estrecha de hasta 50-60 mm de ancho.

El trabado se realiza teniendo en cuenta la densidad de las maderas. Para maderas duras, los dientes deben girar a un tercio de su altura, y para maderas blandas, a la mitad de su altura.

El doblado se inicia desde la parte superior del diente, ya que si se inicia desde su base, el doblado resulta menos eficiente durante el corte, pudiendo producirse su quiebre y rotura.

El trabado no deberá ser excesivo porque ello hará que la sierra trabaje con un exceso de esfuerzo, dando un acabado de mala calidad y produciendo sobrecalentamientos perjudiciales para la cinta. Es conveniente dejar un diente que cumpla la función de “limpiador”, el cual no atraviesa la operación de trabado. De este modo, se dobla un diente hacia un lado, el siguiente hacia el lado opuesto y el tercer diente (“limpiador”) permanece sin doblar, y así sucesivamente.

En términos generales, ambos procesos, recalcado y trabado, tienen como objetivo principal ensanchar el diente con respecto al cuerpo de la sierra para que no se produzca la fricción de la madera contra el metal de la hoja en su avance.

Mantenimiento de sierra circular

Para una mejor comprensión del mantenimiento de la sierra circular, se tendrán en cuenta las partes constitutivas desarrolladas en el Capítulo 2. La misma consta de un disco dentado en su periferia, montado sobre un eje, fijado a él con una tuerca y, entre la tuerca y el disco, tiene un collarín, cuya función es evitar el desplazamiento del disco sobre el eje y permitir que permanezca en un mismo plano de corte. El elemento de corte de la sierra circular (diente) ya viene afilado de fábrica. La máquina se completa con un disco separador ubicado al final del lugar de corte para evitar que la madera cortada se cierre sobre la hoja, produciendo la quemadura de la madera y recalentando el disco. Sobre el disco se encuentra además, una protección en forma de medialuna.

Los dientes de las sierras son de widia, químicamente compuesta por carburo de tungsteno, material frágil pero resistente al desgaste. Generalmente, trabajan con un máximo de 60 m/seg de velocidad de alimentación, que representa una velocidad de 1.500-2.000 rpm; comparativamente las sierras sinfín trabajan a 500 rpm (Devlieger & Baettig, 1999).

Las sierras circulares usadas como desdobladoras o canteadoras (cortes longitudinales), tienen dientes denominados “rascadores” o “rasuradores”, que son placas de metal duro ubicadas entre el espesor intermedio del cuerpo y el espesor de diente. Estas placas permiten que la madera no apriete la sierra, cumpliendo la función de guía posterior al corte, como así también de ventilación para bajar la temperatura de trabajo del disco.

Las sierras circulares empleadas como despuntadoras (corte transversal), no tienen dientes “rascadores” o “rasuradores”, sino que presentan ranuras de dilatación para absorber la expansión del material; las mismas terminan en forma curvada para evitar la concentración de tensiones y el agrietamiento del disco.

El mantenimiento de las sierras circulares es más sencillo que el de las sierras sinfín y consta de afilado, aplanado y recambio de dientes.

Para el **afilado** hay que regular el ángulo del diente (Figura 4.35). En corte longitudinal se usa un ángulo de ataque del diente de 15-20°. La widia se afila con disco de polvo de diamante; solo se afila la parte del frente, paralelo al lomo de la widia. Un disco se afila entre 30 y 40 veces (Cuenca García, 2006).

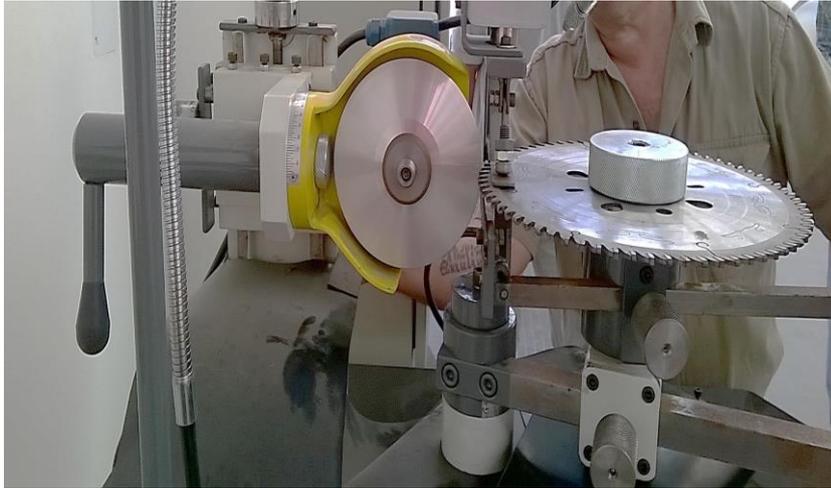


Figura 4.35. Afilado de sierra circular-CTM.
Fuente: propia (2019).

El **aplanado** es un trabajo generalmente realizado de manera manual en los aserraderos locales, con martillo y yunque circular. El espesor del cuerpo de la sierra es de 3 mm y el del diente es 2 mm superior, es decir que el espesor del diente tiene un ancho total de 5 mm, el cual se va desgastando con afilados sucesivos (Cuenca García, 2006).

El **recambio de dientes** se realiza en el momento que se observa alguna deficiencia durante el corte de la madera; la sustitución es a través de encastrés entre los elementos que están preparados para recibir los dientes, no teniendo complicaciones técnicas para su montaje (Cuenca García, 2006).

Cabe mencionar que si bien en este capítulo se han descrito las actividades básicas generales, e incluso las llevadas a cabo en el CTM, según sea el tipo de aserradero, su envergadura y equipamiento disponible, las actividades de mantenimiento pueden verse diversificadas.

Consideraciones finales

De acuerdo a lo desarrollado en este capítulo, se resalta la importancia de considerar los factores que afectan el funcionamiento de los aserraderos, influyendo directamente sobre el rendimiento, la producción y la calidad de la madera aserrada. Para poder lograr una mejora en estos parámetros, la industria debe definir y poner énfasis en la selección y formación permanente del personal, la optimización de sus decisiones en los diferentes procesos que involucra el aserrado, como así también, el correcto mantenimiento de los equipos y maquinarias que intervienen en todo el proceso, a fin de lograr una calidad constante de los productos del aserrado.

Referencias

- Acevedo Correa, C.G. (2014). *Optimización de Corte Longitudinal para Trozas Podadas de Pino Insigne con Reconstrucción Tridimensional* (Tesis de grado). Recuperada de Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción, Chile.
- Aguilar Cayún, C.F.; Sanhueza Bravo, R.A. (2003). *Caracterización y Estandarización de Productos, Procesos y Equipos en la Industria del Aserrío* (Tesis de grado). Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile.
- Arreaga Morales, J.G. (2007). *Rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie de Caoba (Swietenia macrophylla), en dos aserraderos del Municipio de Flores, Peten* (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales. Guatemala.
- Baca Marín, H. (2001). *Coeficiente de aserrío y caracterización del aserradero ejidal Santa María Magdalena Cahuacán, Nicolás Romero, Estado de México* (Tesis de grado). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” División de Agronomía. México.
- Bach. Huarcaya de la Cruz, D.M. (2011). *Rendimiento en Aserrío de Myroxylon balsamum Harms y Dipteryx micrantha Harms. Iñapari-Madre de Dios* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo, Perú.
- Catrinahuel Montenegro, L.I.; Beltrán Tiznado, V.A. (2006). *Herramientas informáticas para la planificación de la producción en aserraderos* (Tesis de grado). Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile.
- CITEmadera. (2011). Guía de contenidos Buenas prácticas en la operación y mantenimiento del aserradero. Serie I Competencias básicas para la producción industrial de muebles de madera. Lima, Perú: Centro de Innovación Tecnológica de la Madera.
- Cuenca García, R. (2006). *Manual técnico de capacitación en calibración de los equipos de aserrío y de afilado y mantenimiento de sierras de cinta y disco*. Programa de Desarrollo de Políticas de Comercio Exterior. Memorando N°861. VMCE. BID. 1442/OC-PE/CDE.
- Devlieger, F.; Baettig, R. (1999). *Ingeniería de Aserraderos. Fundamentos de Planificación y Gestión*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Chile.
- González Soto, A. (2017). *Control de calidad de madera en pie y madera aserrada para el mercado de construcción del Grupo Empresarial El Almendro* (Tesis de grado). Universidad Nacional Costa Rica, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Heredia, Costa Rica.
- INFOR. (1989). Principios de organización y operación del aserradero. Manual N°16. Concepción, Chile: Corporación de fomento a la producción.
- Sánchez Rojas, L. (2008). *Mantenimiento de sierras cintas y sierras circulares*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Spavento, E. (2015). *Caracterización y mejora tecnológica de la madera de Populus x euramericana I-214 (Dode) Guinier, austral y boreal, con fines estructurales* (Tesis doctoral). Recuperada de Universidad de Valladolid. España.