

CAPÍTULO 3

Proceso de aserrado: sierras y mecanismos complementarios

Gabriel D. Keil y Carla Taraborelli

Consideraciones generales

Una planta de aserrado está equipada, principalmente, con sierras sinfín y circulares para realizar los distintos cortes, longitudinales y transversales, que intervienen en la producción de madera aserrada. Los productos secundarios de mayor volumen (costaneros, restos de corteza, cantos, despuntes y tablas defectuosas), son reducidos a chips en máquinas astilladoras para usos alternativos, a fin de lograr la sustentabilidad del aserradero y del recurso.

El proceso se completa con una serie de equipos complementarios a las sierras, que si bien no intervienen directamente en el corte de la madera, están presentes desde la playa de trozas hasta la obtención de madera aserrada y productos secundarios, permitiendo la fluidez del proceso de aserrado.

Equipos para aserrar

Los equipos para aserrar madera, denominados **sierras**, se pueden clasificar en base al **tipo** y a la **función** que cumplen en el proceso de aserrado. Para entender la función que cumplen dichas sierras, primero se debe caracterizar el producto que se obtiene a partir del proceso de aserrado: la **madera aserrada**. Las partes y términos geométricos que la definen se representan gráficamente en la Figura 3.1 (IRAM 9664, 2013; IRAM 9670, 2002; JUNAC, 1984), y se detallan a continuación:

Cara: superficie plana mayor paralela al eje longitudinal de una pieza. Una pieza tiene dos caras paralelas entre sí.

Canto: superficie plana menor perpendicular a la cara y al eje longitudinal de una pieza. Una pieza está constituida por dos cantos paralelos entre sí.

Arista: línea recta de intersección entre dos superficies adyacentes, cara y canto.

Cabeza: sección transversal de cada extremo de una pieza.

Espesor: dimensión menor de la escuadría.

Ancho: dimensión mayor de la escuadría.

Escuadría: expresión numérica de las dos dimensiones de la sección transversal de una pieza de madera trabajada a escuadra. En términos generales, se denomina con la menor medida seguida por la mayor medida, ambas en pulgadas (Ej: 2" x 4"). Dependiendo de estas dimensiones pueden obtenerse productos como tablas, vigas, tablones, entre otros

Longitud: distancia entre las cabezas de una pieza.

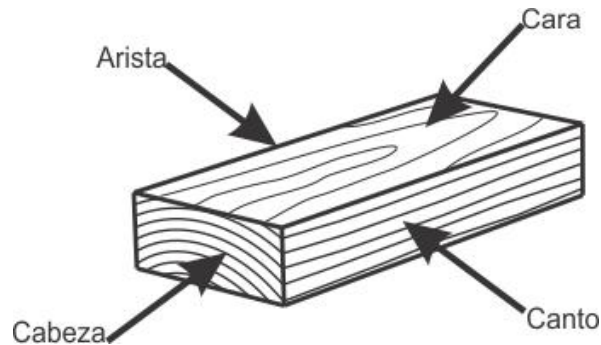


Figura 3.1: partes de madera aserrada.
Fuente: Spavento & Keil (2008).

Otros conceptos sobre madera aserrada serán detallados en el Capítulo 5.

Los tipos de sierras que se pueden encontrar en la industria son **sinfín**, **circulares** y **alternativas**, estas últimas de poco uso en Argentina. Luego se encuentran las tecnologías más avanzadas representadas por las sierras chipeadoras o **chipper canter** y los equipos o máquinas **perfiladoras**.

En cuanto a su función, el **aserrado principal** lo realizan las máquinas que actúan directamente sobre la troza para realizar los primeros cortes; las trozas parcialmente aserradas pasan por una **desdobladora** donde generalmente se da el **espesor** a la futura pieza aserrada. El paso posterior del proceso es el **canteado** donde se da el **ancho** y, finalmente el **despuntado** en el que se le otorga el **largo** definitivo a la pieza aserrada.

Todos estos procesos se pueden realizar con distintos tipos de equipos que se sintetizan en la Tabla 3.1.

Tipo de sierra	Función			
	Aserrado principal	Reaserrado		
		Desdoblado	Canteado	Despuntado
Sinfín	Vertical simple (mono o bicorte) Vertical doble Inclinada simple Horizontal fija Horizontal móvil	Vertical simple (mono o bicorte) Vertical doble Vertical en tándem Horizontal simple Horizontal doble Horizontal en tándem	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>
Circular	Simple estacionaria Simple portátil horizontal o vertical Simple portátil de 2 posiciones Doble de 1 eje Doble de 2 ejes	Simple estacionaria Múltiple de 1 eje Múltiple de 2 ejes	Simple estacionaria Doble de 1 eje Múltiple de 1 eje	Simple de eje fijo Simple de eje móvil: de péndulo, de brazo articulado y monorriel Doble de 1 eje
Alternativa	Vertical múltiple	Vertical múltiple	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>
Chipeadora	Chipper canter	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>	Chipper canter	<i>no hay sierras específicas para esta función</i>
Perfiladora	Equipo perfilador			<i>no hay sierras específicas para esta función</i>

Tabla 3.1. Proceso de aserrado: tipo de sierra y función.
Fuente: propia (2020).

Sierras sinfín

Estas sierras se emplean para realizar el primer corte, como sierra principal; para los cortes subsiguientes, como sierra desdobladora, o para el reaprovechamiento de costaneros; al ser máquinas grandes y pesadas no se usan para cantear ni para despuntar tablas o vigas.

Cuando se utiliza como sierra principal, desde el pupitre o cabina de mando se controla el posicionado y fijación de la troza sobre las escuadras, la aproximación del carro a la cinta de corte, la velocidad de alimentación, la evacuación de la pieza y el retorno del carro. La definición y función del carro será especificada en el apartado de mecanismos complementarios del presente capítulo.

En todos los casos, el órgano de corte de la sierra sinfín está formado por una cinta dentada montada sobre dos volantes. Según la posición de los volantes, la sierra se clasifica en **vertical** cuando un volante está sobre otro, **horizontal** cuando ambos volantes están a la misma altura, e **inclinada** cuando la línea que une el centro de ambos volantes está en un ángulo de 30 a 45 grados con la vertical.

Una sierra sinfín vertical simple posee los siguientes componentes (Figura 3.2):

- (1) Montante o bastidor.
- (2) Volante superior.
- (3) Volante inferior.
- Sierra cinta (visible entre volantes).
- Protector de cinta (en los volantes, no visible).
- (4) Brazo soporte.
- (5) Guía superior móvil.
- (6) Guía inferior fija.
- (7) Elementos de limpieza de la cinta.
- (8) Motor.
- (9) Reserva de lubricante superior.
- (10) Reserva de lubricante inferior.
- (11) Lubricante de cinta.
- (12, 13, 14 y 15) Elementos del carro.
- (16) Sistema para aflojar la cinta.

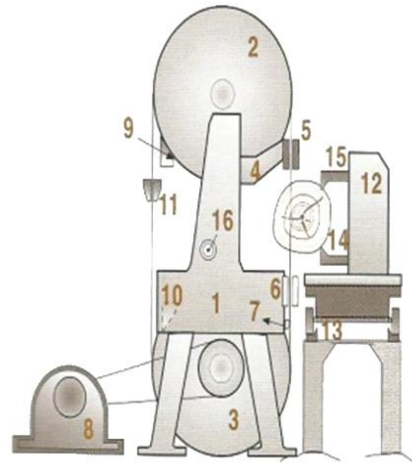


Figura 3.2. Componentes de una sierra sinfín.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

El **montante o bastidor** es una pieza pesada y rígida, de fundición, especialmente en sierras de alta velocidad donde se requiere disminuir las vibraciones durante el proceso para generar un corte regular y exacto; su base se fija al suelo mediante una fundación. Tiene por función sostener a los dos volantes.

El **volante superior** se denomina “loco” ya que gira por el impulso de la cinta y puede desplazarse verticalmente a fin de tensarla para realizar el corte, o bien, para quitarle tensión para su recambio. Este volante posee un borde convexo e inclinado para evitar el deslizamiento de la cinta hacia afuera por el empuje de la madera durante el corte.

El perfil de la llanta de los volantes (Figura 3.3) puede ser plano (1) o curvo (2, 3). En sierras bicorte el perfil curvo es simétrico (2) y en sierras mono corte es asimétrico 1/3 a 2/5 del ancho del volante (3) (García Esteban et al., 2002).

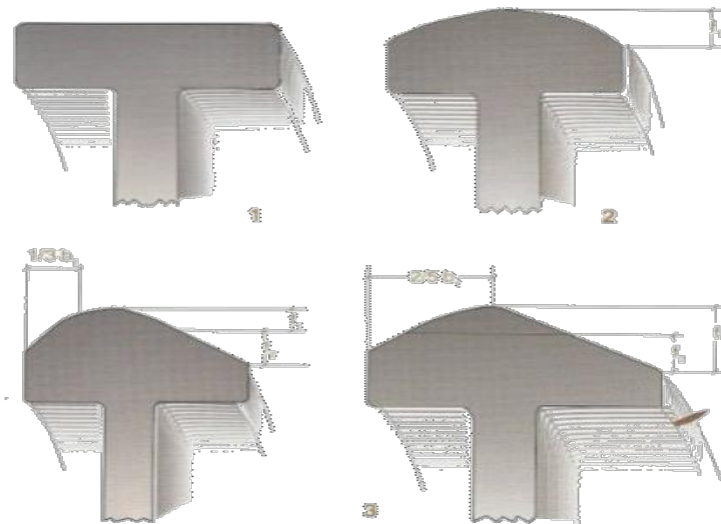


Figura 3.3. Perfiles de los volantes.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

Los valores de curvatura dependen del ancho de la llanta del volante; los volantes de perfil curvo son los más estables, usados en todo el mundo excepto en EEUU donde son planos.

El **volante inferior** es quien recibe la potencia motriz y transmite esa potencia a la cinta y, a través de ella, al volante superior. Ambos volantes poseen diámetros iguales y su función en conjunto es tensar la cinta y mantenerla en movimiento. En las sierras con volantes ≤ 1.100 mm de diámetro, las coronas o caras externas están recubiertas con cuero, corcho o goma para mejorar la adherencia.

La posición de los volantes debe tener una leve inclinación con respecto a la vertical, esto permite a la cinta un equilibrio indispensable para su normal funcionamiento, además sirve para que salgan los dientes de la cinta sobre la corona de la llanta (García Esteban *et al.*, 2002).

En las máquinas más antiguas, los volantes tienen radios o rayos, mientras que en las más modernas es un disco compacto de hierro fundido, acero, o aluminio en las máquinas más livianas. Las sierras de alta velocidad se fabrican con volantes de disco en hierro fundido, porque requieren mayor peso para ser más equilibradas.

En la sierra, se encuentran dos guías: la **guía superior móvil** -ascendente, descendente-, ubicada en un brazo guía que puede deslizarse en el tramo de la cinta por encima del carro de alimentación o la mesa de trabajo; esta guía posee un tornillo de bloqueo y contrapesos para facilitar su movimiento. La **guía inferior fija** se ubica en la mesa o debajo de ella

La función de ambas guías es evitar las vibraciones perpendiculares al plano de la hoja, por lo que siempre debe trabajarse con la menor distancia entre ellas que permita el diámetro de la troza o la altura de la madera a aserrar, ya que si esta distancia aumenta, la posibilidad de producirse vibraciones que generen irregularidades en el corte, se incrementa.

Existen tres tipos de guías (Figura 3.4): guías mecánicas (1), de presión (2) y aerostáticas (3). Las mecánicas son maderas duras separadas un poco más que el ancho de la cinta; las de presión se basan en desplazar sobre la vertical entre ejes, el brazo de la guía superior (ϵ), de manera que la cinta está obligada a friccionar continuamente sobre dicha guía, la cual está constituida por un elemento rígido (goma); aunque su eficacia es superior a las mecánicas, se debe lubricar para evitar sobrecalentamientos; las guías aerostáticas son inyectores de aire a presión ubicados a ambos lados de la cinta (García Esteban *et al.* 2002).

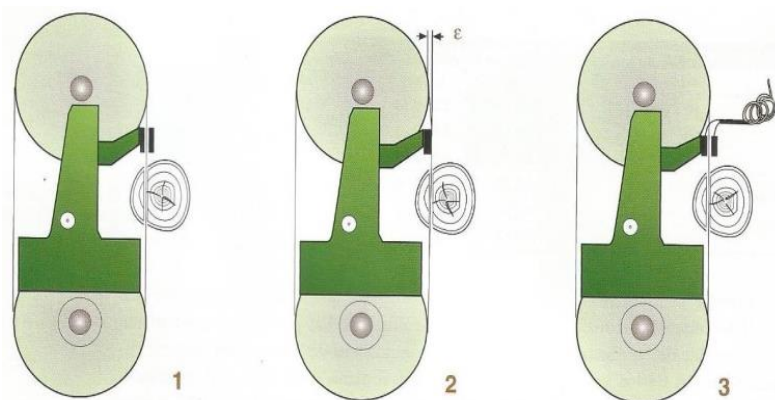


Figura 3.4. Tipos de guías.
Fuente: García Esteban *et al.* (2002).

El **protector de cinta** tiene por función proteger al operario de los dientes de la sierra durante el aserrado, y evitar la salida o salto de los volantes en caso de cortarse la cinta; para el recambio de la cinta, el protector puede abrirse tal como se observa en la Figura 3.5. La cinta entre volantes está mayoritariamente encerrada en una caja metálica en uno de sus lados, y en el lado opuesto, hay una caja “de guarda” que permite ver la cinta libre sólo en la zona de corte. Posee además una palanca de tensión, que desconecta automáticamente la máquina en el caso de rotura de la cinta.



Figura 3.5. Protector de cinta abierto de sierra sinfín vertical simple-CTM.
Fuente: propia (2017).

La forma del diente de la cinta origina distintos ángulos de corte a tener en cuenta para el correcto uso del equipo: el ángulo de desahogo (α) que se forma entre la dirección del vector de movimiento de la hoja y la cara de desahogo del diente; el ángulo de afilado (β), formado entre las dos caras del diente; y el ángulo de ataque (γ), que se forma entre la dirección del vector de avance de la madera y la cara de ataque del diente. La suma de los 3 ángulos de corte determina los 90° (Figura 3.6).

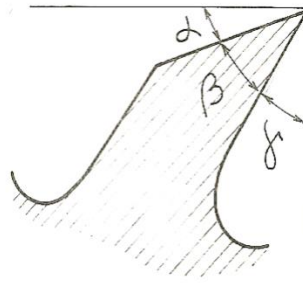


Figura 3.6. Ángulos de corte.
Fuente: INFOR (1989).

En una sierra sinfín, los parámetros que afectan al esfuerzo de corte son varios, como por ejemplo, la velocidad de corte que influye en el desgaste y la temperatura del diente. Sin

embargo, en velocidades normales de 5-50 m/s y espesores de corte de 0,5-1,5 mm dichos parámetros no se ven afectados. Para maderas duras, la velocidad recomendada es de 35 m/s, para maderas blandas de 45 m/s, y para coníferas una velocidad intermedia de 40 m/s, ya que si bien son maderas blandas, la mayoría de ellas tiene presencia de resina (García Esteban *et al.*, 2002).

La humedad de la madera también influye en el esfuerzo de corte ya que demanda mayores esfuerzos la madera seca que la madera húmeda. Asimismo, este concepto es más crítico en maderas livianas que en aquellas más densas, donde la humedad tiene menor incidencia. Por lo expuesto, se recomienda aserrar madera recién apeada o humedecida en playa de trozas, tal como se especificó en el Capítulo 2.

El desgaste y afilado del elemento de corte también influye en el esfuerzo de corte; a medida que se va perdiendo el filo de la sierra el esfuerzo es mayor, siendo más notorio en especies con presencia de resina que resultan abrasivas para el elemento de corte.

En lo que respecta al espesor de corte, el esfuerzo siempre es mayor a medida que aumenta el espesor, pero no es proporcional, por lo que, con un aumento de 4 veces el espesor de la sierra, sólo aumenta 2,4 veces el esfuerzo de corte. Si el ángulo de ataque (γ) aumenta, disminuye el esfuerzo, esto se da hasta los 40° , a partir del cual, el aumento del ángulo provoca un aumento del esfuerzo por deformación de la arista del diente (García Esteban *et al.*, 2002).

Los tipos de dientes están en función del tipo de madera y la velocidad de alimentación. La rigidez del diente es función de la relación paso/altura del diente: cuanto mayor es este cociente, mejor absorbe los esfuerzos de corte, siendo valores aceptables relaciones de 2,5-3 para maderas blandas y de 3-4 para maderas duras; los detalles del diente y sus partes se explicarán en el Capítulo 4. La tensión de montaje de las hojas es realizada por sistemas de contrapeso en máquinas antiguas; en máquinas modernas la tensión de montaje es mediante sistema con tornillo de tensión aplicado sobre el volante superior (tensión aplicable de 100 a 250 MPa) (García Esteban *et al.*, 2002).

Tipos de sierras sinfín

La sierra **sinfín vertical simple monocorte** tiene una cinta dentada en uno de sus frentes cortando sólo cuando avanza; mientras que la **sierra sinfín vertical simple bicorte** tiene dentados los dos frentes de la cinta, haciendo un corte cuando avanza y otro corte cuando retrocede (Figura 3.7). Cuando las hojas están dentadas en los dos frentes, son más anchas que cuando el dentado está en un frente.

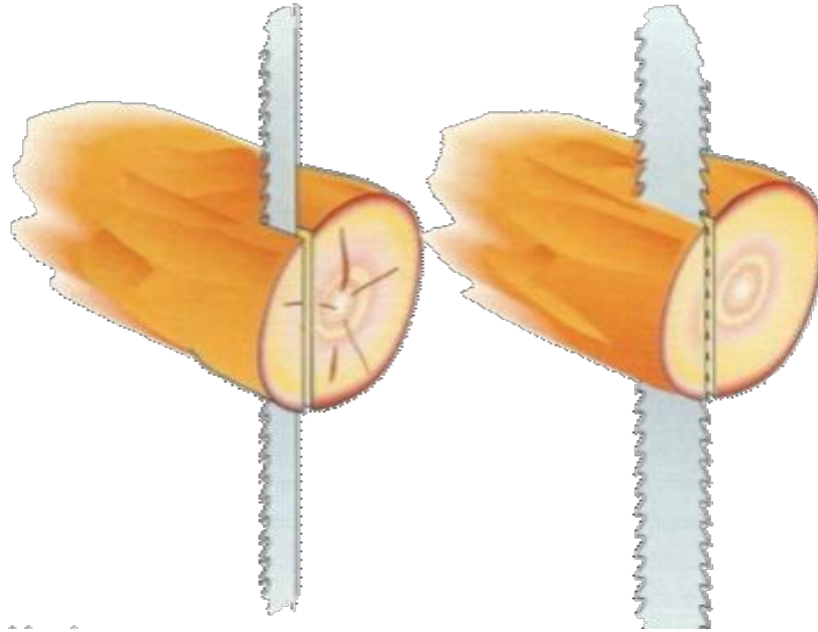


Figura 3.7. Sierras sinfín vertical simple mono y bicorte.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

La **sierra sinfín vertical doble** (Figuras 3.8 y 3.9) está formada por dos sierras sinfín vertical simple enfrentadas o en espejo, también denominadas “gemelas”, las cuales realizan dos cortes simultáneos. Este tipo de sierra es muy común en aserraderos de especies con tensiones como los *Eucalyptus* spp.

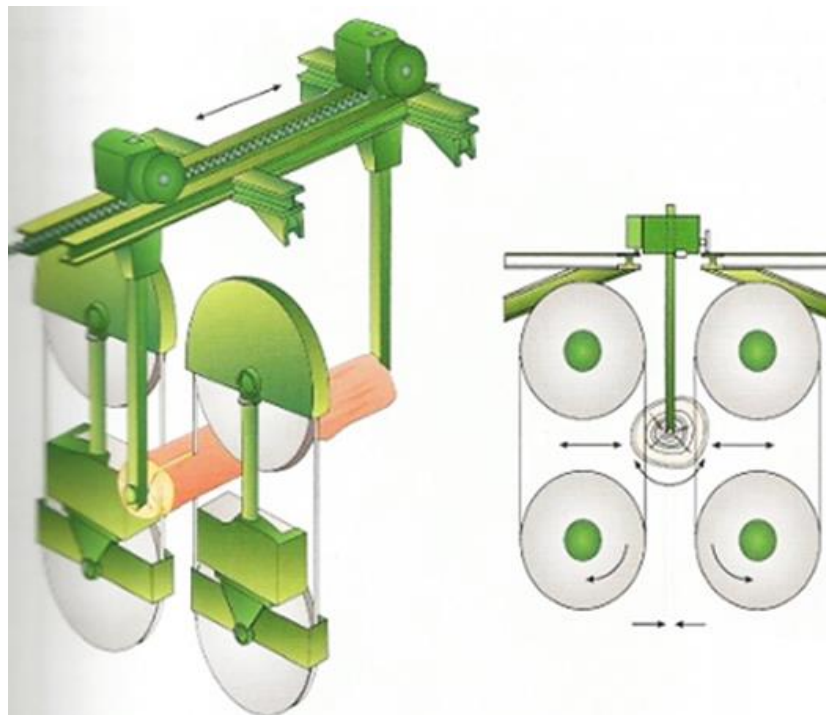


Figura 3.8. Sierra sinfín vertical doble.
Fuente: García Esteban et al. (2002).



*Figura 3.9. Sierra sinfín vertical doble (Corrientes).
Fuente: propia (viaje de estudios Ing. Ftal, 2007).*

La **sierra sinfín vertical cuádruple (o séxtuple)**, también denominada en tándem, está formada por dos gemelas (o tres) desplazadas en sentido vertical u horizontal, realizando 4 (o 6) cortes simultáneos; se trata de un equipo muy pesado y complejo, de uso incipiente en el país, empleado principalmente en aserraderos que producen pallets.

Es común el empleo de **sierras sinfín horizontales dobles, cuádruples o séxtuples**, también denominadas en tándem, para realizar 2, 4 ó 6 cortes simultáneamente para obtener 3, 5 ó 7 piezas en cada pasada, respectivamente. Un ejemplo de ello, lo constituyen los aserraderos que obtienen tablas y vigas para tacos de pallets.

La **sierra sinfín inclinada simple** (Figura 3.10) está formada por dos volantes cuyo eje que une ambos centros, está en un ángulo de 30 a 45 grados respecto a la vertical.



Figura 3.10. Sierra sinfín inclinada simple (Virasoro, Corrientes).
Fuente: propia (viaje de estudios Ing. Ftal., 2007).

En los aserraderos permanentes, en general, la sierra está unida a la fundación y la madera se mueve para hacer el corte; es el caso de la **sierra sinfín horizontal fija**. Este tipo de sierras se emplea generalmente en el reaprovechamiento de los costaneros gruesos para la obtención de tablas más angostas y cortas que las obtenidas en la sierra principal. De este modo, se aumenta el rendimiento del aserradero.

En los aserraderos portátiles, generalmente la sierra se desplaza sobre la troza fija para realizar el corte; es el caso de la sierra **sinfín horizontal móvil**.

Sierras circulares

Las sierras circulares son máquinas sencillas que se pueden emplear en todas las actividades del proceso de aserrado. Sin embargo, encuentran mejor performance empleadas como máquinas desdobladoras, canteadoras y despuntadoras.

El órgano de corte de la sierra circular es un disco dentado en su periferia; los dientes están reforzados con widia que es un material de mayor dureza que el cuerpo del disco. El cuerpo del disco está unido a un eje que transmite la potencia del motor provisto de tuerca de ajuste y collarín, el cual le otorga estabilidad en el plano de trabajo evitando el desplazamiento axial del disco. Los otros componentes incluyen el motor; la protección para el operario y el separador de tablas aserradas, este último ubicado en la parte posterior del disco a fin de que las tablas no se junten sobre el mismo, evitando su recalentamiento y el quemado de las mismas (INFOR, 1989).

Los parámetros básicos de la sierra circular están constituidos por el diámetro máximo del disco, las revoluciones por minuto (rpm) del eje motriz, la velocidad de corte, la velocidad de avance y la potencia del motor. Otras variables a considerar incluyen el espesor de la sierra, que está en función de su diámetro y que a su vez influye en el ancho de corte; el paso del diente,

que está en función del espesor y que determina la cantidad de dientes del disco; la altura, número y forma o perfiles de los dientes, y el radio de la garganta.

El diámetro de la sierra circular es igual a la suma del doble del diámetro de la troza a aserrar, más el diámetro del collarín, más 20 mm. En el caso de sierras simples, su diámetro máximo puede alcanzar los 1.500 mm; normalmente se usan sierras entre 1.200 y 1.350 mm. El diámetro del eje varía con el diámetro del disco y es de 25 mm para discos de 300 a 400 mm de diámetro, y de hasta 60 mm para discos de 1.400 a 1.500 mm de diámetro (García Esteban *et al.*, 2002).

El número de revoluciones del eje motriz debe adaptarse al diámetro del disco y a la velocidad periférica y depende de las revoluciones por minuto del motor con el cual trabaja, y de las poleas que comunican con ese motor y el eje. A medida que aumenta el diámetro del disco, disminuye el número de revoluciones e inversamente. Este valor se encuentra entre los 400 y 750 rpm. La potencia del motor depende en gran medida de la capacidad del aserradero y de la especie, avance, altura y ancho de corte.

Las principales características de estas sierras son:

- Menor costo de inversión y mantenimiento.
- Mayor robustez y simplicidad para operar.
- Simplicidad en el recambio del disco.
- No requieren de personal altamente calificado.
- Pueden ser accionadas por cualquier tipo de motor.
- En equipos con disco de gran diámetro con mayor cuerpo y canal de corte, una parte importante de la troza es convertida en aserrín, disminuyendo el rendimiento.
- Permiten la superposición de discos de menores diámetros.
- Alto consumo de energía para efectuar el corte.

Tipos de sierras circulares

Las sierras circulares pueden clasificarse según distintos criterios. Uno de ellos es de acuerdo al número de discos que presentan, clasificándose en simples, dobles o múltiples.

Las **sierras simples** constan de un solo disco. Cuando está sobre un equipo fijado a una fundación se denomina **sierra circular simple estacionaria**. Cuando es transportable, se denomina **sierra circular simple portátil**. Este tipo de sierras es común encontrarlas en aserraderos portátiles, pudiendo trabajar en posición horizontal, vertical o girar sobre su eje para actuar en ambas posiciones; son denominadas sierra circular simple portátil **horizontal**, sierra circular simple portátil **vertical** o sierra circular simple portátil **de dos posiciones**, respectivamente.

Asimismo, las sierras simples pueden presentar eje fijo o móvil. La **sierra circular simple de eje fijo** es aquella donde la madera avanza sobre la sierra fija; la **sierra circular simple de eje móvil** es aquella cuyo eje se desplaza durante el corte. Según la manera que se da ese desplazamiento, existen tres tipos sierras: de péndulo, cuando la sierra pivotea bajando o subiendo hacia la madera aserrada; de brazo articulado, cuando tiene un desplazamiento horizontal con un brazo que se articula para avanzar o retroceder; monorriel (Figura 3.11), cuando la sierra con

su eje horizontal o vertical se desplaza por un riel guía. Todas estas sierras se emplean en el despunte de piezas aserradas.



Figura 3.11. Sierra circular simple de eje móvil vertical (función despuntadora)-CTM.
Fuente: propia (2019).

Las **sierras dobles** son aquellas que presentan dos discos. Según la posición de éstos, se diferencian en **sierra circular doble de un eje**, cuando sobre el mismo eje se montan dos discos que realizan dos cortes simultáneos, y **sierra circular doble de dos ejes**, cuando los dos discos superpuestos están en dos ejes a distinta altura y ligeramente desplazados hacia adelante un disco de otro.

La sierra circular doble de un eje se emplea como canteadora (Figura 3.12) En la sierra canteadora, sobre el eje, un disco puede estar fijo y otro moverse a través de él para definir el ancho de corte, o ser móviles ambos discos para cumplir la misma función; éstos se encuentran dentro de una carcasa metálica (Figura 3.13), no expuestos para evitar accidentes de los operarios.

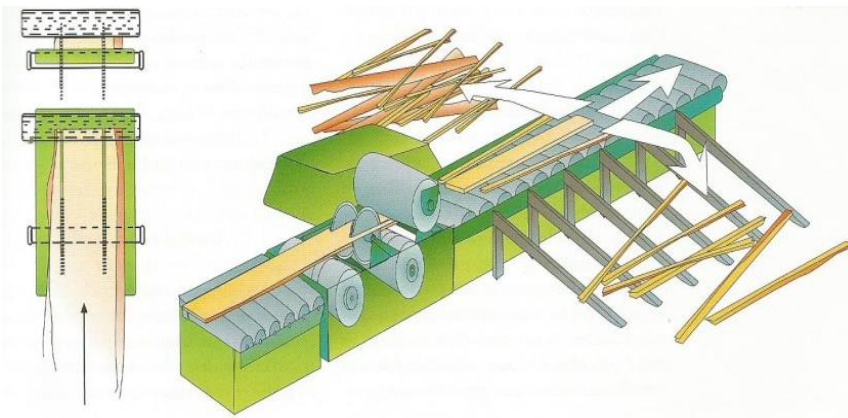


Figura 3.12. Trabajo de canteado con sierra circular doble de un eje.
Fuente: García Esteban et al. (2002).



Figura 3.13. Sierra circular doble de un eje con carcasa protectora (función canteadora)-CTM.
Fuente: propia (2021).

La sierra circular doble de un eje con mayor diámetro de discos, también se puede emplear como sierra principal en la línea de aserrado para trozas de raleos. Por otro lado, la sierra circular doble de ejes superpuestos se puede emplear para cortar trozas grandes con discos de menor diámetro, respecto al uso de una sola sierra para realizar el mismo trabajo; consecuentemente, su menor espesor genera menor cantidad de aserrín en el corte y aumenta el rendimiento.

Las **sierras circulares múltiples** constan de varios discos. Dichos discos pueden estar en uno o dos ejes superpuestos. La **sierra circular múltiple de un eje** permite el corte de piezas de hasta 3" de altura, mientras que la **sierra circular múltiple de dos ejes** (Figura 3.14), permite mayores alturas de corte empleando discos de menor diámetro. Esta última sierra se emplea en el desdoblado de grandes piezas provenientes de la sierra principal, pudiendo hacer de 5 a 7 cortes simultáneos, dependiendo del número de sierras con las que se cuenta.

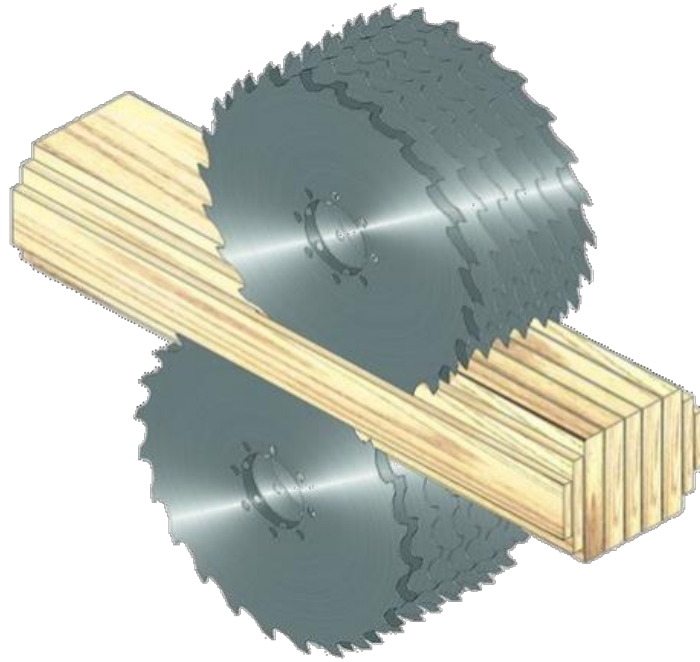


Figura 3.14. Sierra circular múltiple de dos ejes (función desdobladora).
Fuente: García Esteban et al. (2002).

Sierras alternativas

Este equipo consta de un bastidor o marco donde van montadas varias hojas de sierra; la troza es alimentada por cadenas o por un carro especial y fijada con rodillos dobles (arriba y abajo), previo y posterior al aserrado. Las sierras basan su funcionamiento en un movimiento de vaivén alternativo, ascendente-descendente, aportado por el efecto de un mecanismo de biela-manivela que transforma el movimiento circular en un movimiento de arriba hacia abajo y viceversa (Figuras 3.15 y 3.16). En el descenso cortan la madera a medida que realizan el avance. El avance es de 2 a 15 mm por descenso, según se corte madera dura o blanda, respectivamente. Las hojas no deben presentar ningún movimiento lateral, es decir que los planos de corte de las hojas deben ser paralelos a la dirección de avance del sistema de alimentación. El montaje de las hojas en el bastidor no debe hacerse en el mismo plano, de manera que las hojas exteriores intervengan en la troza antes que las interiores. Las hojas deben montarse simétricamente respecto al bastidor que las contiene.

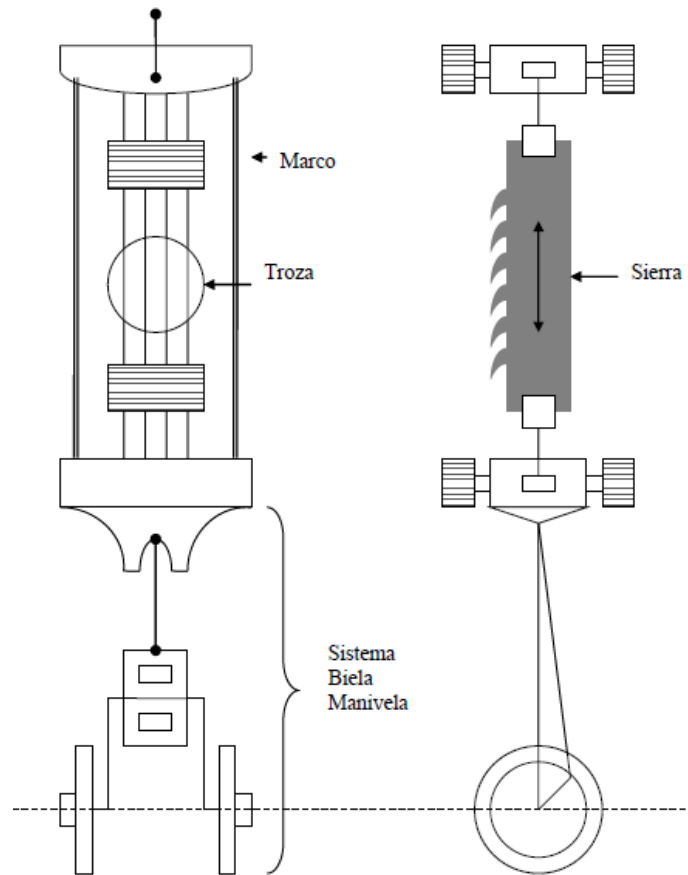


Figura 3.15. Mecanismos de una sierra alternativa.
Fuente: INFOR (1989).

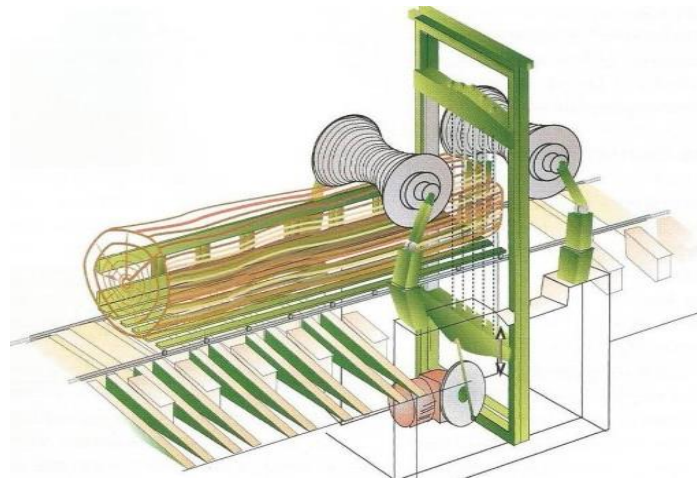


Figura 3.16. Sierra alternativa.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

El equipo realiza varios cortes simultáneos en una sola pasada (vertical múltiple), reduciendo notablemente el tiempo de manipulación de la troza y aumentando la productividad. Asimismo, produce un aserrado de alta calidad, debido a la rigidez de las hojas durante el corte y tiene como ventaja la facilidad de acceso para la inspección permanente de las hojas.

Actualmente, dicho equipo se emplea como sierra principal o como sierra desdobladora para trozas parcialmente aserradas en una sierra principal sinfín vertical doble.

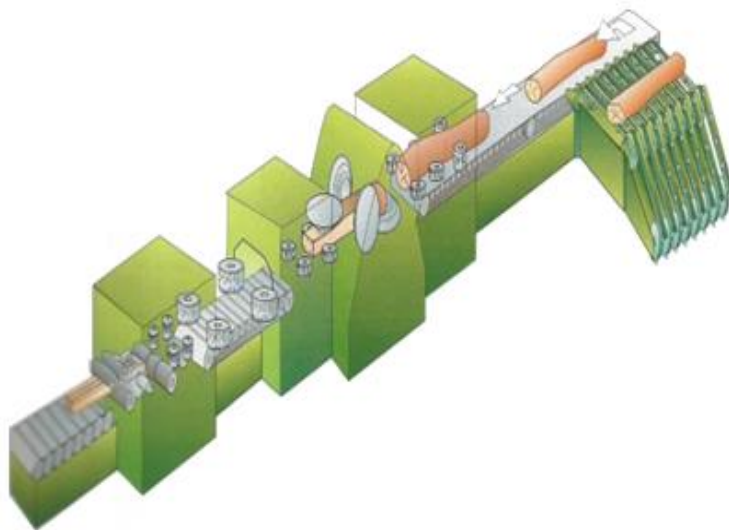
Como características diferenciales de estos equipos puede señalarse:

- No es posible modificar el mecanizado según los defectos de la troza.
- Requiere de clasificación diamétrica y por calidad de las trozas antes de su aserrado, a diferencia de las otras sierras donde la clasificación es recomendable.
- La velocidad de corte es más lenta que la de las sierras sinfín y circular.
- La productividad es mayor por el número de cortes simultáneos que realiza.
- Su regulación requiere conocimientos y experiencia.
- El cambio de las hojas es costoso.
- Requiere bancadas sólidas y de gran peso para evitar vibraciones.

Estos aspectos hacen que este equipo sea muy difícil de encontrar en la industria local.

Chipper canter

Estas máquinas, conocidas como **canteadoras astilladoras**, constan de discos astilladores y sierras circulares múltiples. La estructura del equipo está compuesta por uno o dos conos truncados sobre el cual van las cuchillas o herramientas que realizan el corte, todo ello constituye los discos astilladores. Si el equipo cuenta con cuatro discos (Figura 3.17), de una sola pasada se obtiene la viga central lista para su desdoblado posterior; si el equipo cuenta con dos discos laterales (Figura 3.18), la troza requiere dos pasadas con un volteo intermedio para su escuadrado completo. El equipo se completa con sierras circulares múltiples de dos ejes, para realizar el desdoblado de la viga central escuadrada. Un equipo de igual sistema de trabajo pero de menor envergadura se emplea en el canteado de tablas, donde un par de discos laterales, transforman los cantos en chips a medida que cantea las piezas aserradas.



*Figura 3.17. Esquema de trabajo de chipper canter con 4 discos chipeadores.
Fuente: García Esteban et al. (2002).*



Figura 3.18. Equipo Chipper canter con 2 discos chipeadores.
Fuente: Mohringer (sf)¹⁴.

Esta tecnología permite transformar parte de la madera (costaneros) en astillas, generando caras planas que son tomadas como base para un posterior corte, o bien, pasan a ser cara de productos laterales (tablas) obtenidos de la sección o semibasa. De este modo, no requieren de un proceso de canteado, requiriendo solo el despuntado (dimensionamiento en longitud) al final del proceso. Sin embargo, al igual que la sierra alternativa, es necesaria una clasificación diamétrica y por calidad de las trozas antes de su aserrado, ya que trabaja con rango de diámetros más acotados.

Su capacidad de producir astillas de buena calidad y reducir la cantidad de desechos en el proceso ha hecho que esta máquina pase a formar parte importante en las plantas de aserrado modernas.

Perfiladora

Las máquinas perfiladoras consisten en un paquete tecnológico compuesto por discos chipeadores, fresas canteadoras y sierras circulares múltiples de dos ejes. Cuando la troza ingresa al equipo, los discos chipean los costaneros finos, generando chips limpios, las fresas cantean las futuras tablas, generando virutas, y las sierras circulares separan las tablas por sus caras, generando aserrín durante el proceso (Figura 3.19)

Es una de las técnicas más modernas donde se trabaja con madera de bosque implantado, con trozas previamente clasificadas y descortezadas, por lo tanto, las tablas y chips obtenidos, se encuentran libres de corteza. Es un equipo costoso y complejo, de gran productividad y calidad

¹⁴ <https://www.moehringer.com/en/products-bandsaw-technology/>

de corte. Si bien hasta el momento no se ha reportado su utilización en el país, es factible su incorporación a futuro en aserraderos de alta productividad, realizando un aprovechamiento integral de la troza.

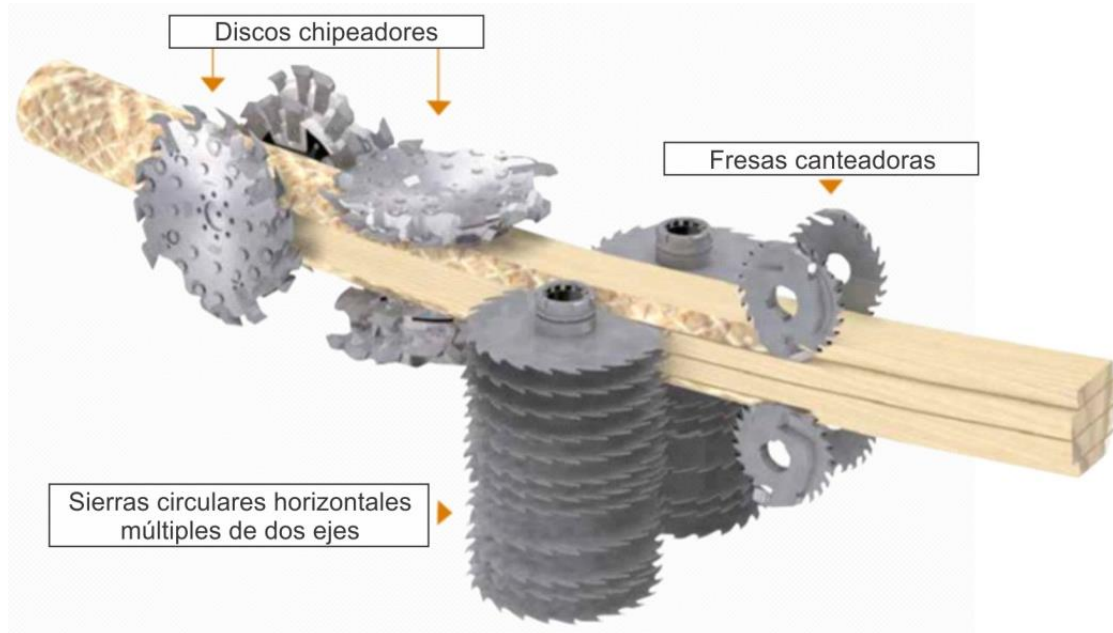


Figura 3.19. Perfiladora.
Fuente: adaptada de HewSaw (2021)¹⁵.

Mecanismos complementarios

Los mecanismos complementarios son aquellos que no intervienen directamente en el corte de la madera, pero participan en el proceso de aserrado de diferentes modos: preparando la madera para los distintos cortes y/o liberando la línea de producción de los productos ya obtenidos, acondicionándolos y eliminando los productos secundarios que se van generando durante el aserrado de una troza, manteniendo los elementos de corte, entre las principales actividades.

A continuación se detallan los mecanismos más importantes, posibles de encontrar en una planta de aserrado, y sus funciones.

La **plataforma de carga de trozas largas** tiene como función acumular las trozas que vienen del monte o de la misma playa, para ser procesadas en el descortezador.

El **descortezador** cumple la función de eliminar la corteza de las trozas, cuando es requerido. Es alimentado desde la plataforma de carga de trozas largas, tal como se describió en el Capítulo 2.

El **clasificador mecánico de rollos** organiza las trozas según su clase diamétrica. Está ubicado posteriormente al descortezador donde a medida que pasan los rollos por un sistema de

¹⁵ https://hewsaw.com/wp-content/uploads/2019/12/HewSaw_Main_Brochure_English_2017.pdf

cadena, van siendo volteados por pateadores que los colocan en distintos *boxes*. Puede haber un clasificador mecánico de rollos sin la presencia de un descortezador previo.

Si las trozas provienen del monte sin la longitud de trabajo definida por el sistema de avance de la sierra principal, luego del descortezador, deben ser dimensionadas en longitud en un **tronzador** de sierra circular. Cuando se requiere un tronzado adicional y/o se trata de aserraderos pequeños, el mismo se realiza con motosierra.

La **plataforma de carga de la sierra principal** (Figura 3.20), tiene por función acumular trozas que se trasladan con el cargador, desde las pilas de la playa, o desde sectores de acumulación de trozas clasificadas.



Figura 3.20. Plataforma de carga de trozas a la sierra principal-CTM.
Fuente: propia (2020).

El sistema **detector de metales** cumple la función de identificar las piezas metálicas (magnéticas y no magnéticas) insertas en la troza antes de que llegue a la sierra y produzca daños en los elementos de corte y en las máquinas en el mecanizado posterior.

Los **sistemas para la optimización de la troza** tienen por función analizar la obtención de piezas aserradas de la mejor calidad con un máximo rendimiento y en el menor tiempo posible.

Los **cargadores de trozas** cumplen la función de cargar las trozas de a una, desde la plataforma de carga de la sierra principal al sistema de alimentación de dicha sierra. Los cargadores poseen un sistema denominado *stop and loader* que cargan una troza al carro y con la parte posterior del implemento, hacen tope sobre la troza siguiente que se encuentra en la plataforma de carga (Figura 3.21).



Figura 3.21. Cargador de trozas.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

Los **volteadores**, o también denominados **giratroncos**, cumplen la función de hacer girar la troza entera o la pieza parcialmente aserrada para realizar un corte a 90° del anterior o un corte en el lado opuesto de la troza. Estos pueden ser **de barra** (Figura 3.22), cuando están constituidos por una barra dentada telescópica que sube y se clava en la troza para hacerla girar mientras asciende, o bien, **de cadena** (Figuras 3.23 y 3.24), los cuales consisten en una cadena sinfín con agarre que funciona como la cadena de una motosierra, a medida que gira hace presión sobre la troza y ésta sobre las escuadras o sobre los *flaps*, produciendo el movimiento de rotación de la troza para darle una nueva ubicación frente a la sierra.

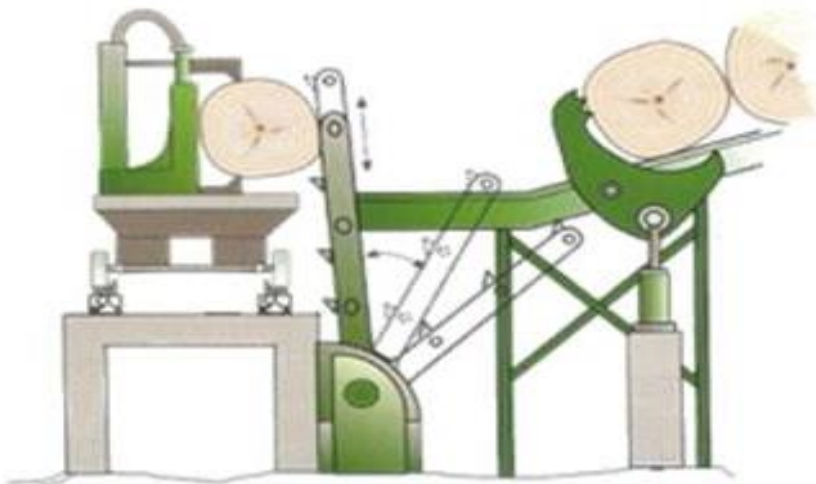


Figura 3.22. Volteador de barra.
Fuente: García Esteban et al. (2002).



Figura 3.23. Volteador de cadena-CTM.
Fuente: propia (2020).



Figura 3.24. Trabajo de los volteadores de cadena-CTM.
Fuente: propia (2020).

Los **órganos de avance** están constituidos por cadenas, cintas, rodillos y carros de alimentación.

Las **cadenas de alimentación** (Figura 3.25), tienen la función de mover las trozas o parte de ellas, madera aserrada o residuos gruesos. Generalmente, se usan como sistema de alimentación de rollizos en descortezadores, en el movimiento de trozas del clasificador mecánico, y en la alimentación de sierras sinfín o circulares dobles de un eje, usadas como sierra principal. Permiten un avance suave y parejo, son de fácil construcción y deben complementarse con rodillos de sujeción para apretar la troza sobre la cadena, y evitar así el descentrado con respecto al órgano de corte cuando se emplean en la alimentación de una sierra.



Figura 3.25. Cadena para el movimiento de madera aserrada-CTM.
Fuente: propia (2020).

Las **cintas de alimentación** tienen la función de mover madera aserrada, residuos gruesos o finos, como chips y aserrín, de un punto a otro a una velocidad determinada. Es común encontrarlas en líneas de aserrado de *Pinus* spp. para el movimiento de las tablas desde la mesa de clasificación al baño antimancha. Asimismo, se emplean en el traslado subterráneo de productos secundarios hacia la clasificadora -cintas lisas-, y también para el traslado de chips y aserrín -cintas estriadas- desde la chipeadora y la clasificadora, respectivamente, hacia el sector de almacenaje (Figura 3.26).



Figura 3.26. Cintas de alimentación: (A) estriada en pendiente; (B) lisa horizontal-CTM.
Fuente: propia (2021).

Los **rodillos**, a diferencia de otros órganos de avance (cadenas y cintas), pueden cumplir tanto la función de **alimentación** como así también de **alimentación y fijación**. En ambos casos, tienen la función de mover las trozas, parte de ellas, madera aserrada o residuos de un punto a

otro a una velocidad determinada. En el caso de los rodillos de alimentación y fijación, permiten la sujeción de la pieza al mismo tiempo que el avance, evitando el descentrado de la pieza con respecto al órgano de corte. Son eficientes y de fácil construcción. Constan de un rodillo y de un resorte tensor. Pueden encontrarse asociados a cadenas para complementar el trabajo de movimiento y sujeción simultáneos.

Los rodillos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Según su posición: horizontal longitudinal, horizontal transversal, vertical o inclinado (entre 30 y 45° con la horizontal).
- Según su forma: cilíndrico o tronco-cónico (Figura 3.27).
- Según su superficie: liso, estriado, espiralado o helicoidal (Figura 3.28), con puntas endurecidas.



Figura 3.27. Rodillo tronco-cónico en aserradero (Ubajay, Entre Ríos).
Fuente: propia (viaje de estudios Ing. Ftal., 2015).



Figura 3.28. Rodillos espiralados o helicoidales-CTM.
Fuente: propia (2020).

Uno de los parámetros que caracteriza la performance de rodillos y cadenas, es la **productividad**, la cual se puede calcular con el empleo de la Fórmula 3.1 (INFOR, 1989):

$$P \left(\frac{\text{trozas}}{\text{turno}} \right) = \frac{T \times U \times n}{L_{tr}} \quad (3.1)$$

Donde: *P*: productividad, en trozas/turno; *T*: duración del turno de trabajo, en min; *U*: velocidad de avance, en m/min; *n*: aprovechamiento del tiempo de trabajo, en %; *L_{tr}*: longitud de la troza, en m.

Los **carros neumáticos** tienen la función de mover trozas o piezas parcialmente aserradas, desde la entrega del cargador a la sierra principal, y de acompañar el corte y retroceso de la pieza parcialmente aserrada. Poseen mecanismos especiales para orientar la troza y sujetarla, denominados escuadras y grapas, respectivamente (Figuras 3.29).

Se utilizan para el avance de la madera en rollo cuando la sierra principal es una sierra simple. Cuando son sierras dobles, se utilizan sistemas de cadenas de alimentación y rodillos de fijación.

En el carro neumático se diferencian 3 mecanismos (Figuras 3.29 y 3.30):

Mecanismo de avance y retroceso del carro: éste cuenta con rieles, ruedas y mecanismo de limpieza de las ruedas para que no descarrile ante la presencia de residuos en las vías. Dicho movimiento se realiza a través de un motor independiente del de la sierra principal, que lleva la energía al carro y lo hace mover por un sistema de cremalleras o por un cable de acero.

Mecanismo de movimiento transversal al eje del carro y de la troza: se realiza a través de las escuadras o colocadores que determinan el espesor de la pieza aserrada en el avance y retiran el remanente de la troza, para que la hoja de la sierra no se dañe en el movimiento de retroceso.

Mecanismo de fijación: consiste en un par de grapas o perros por cada colocador o escuadra, que son los encargados de mantener la troza firme sobre el carro a medida que avanza y corta. Junto al mecanismo de fijación, trabajan los *flaps*, que son sistemas que permiten cortar un menor espesor en la última pasada de la troza por la sierra, disminuyendo la distancia entre la escuadra y la punta de las grapas cuando se aliviana el peso de la troza.

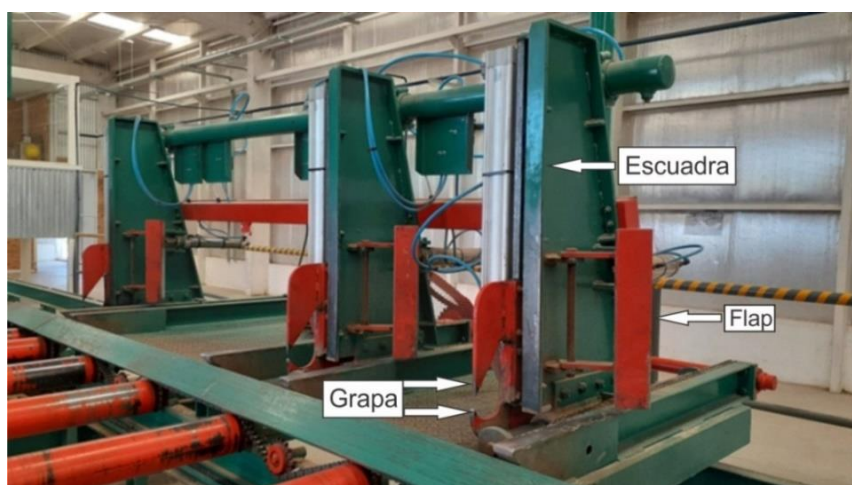


Figura 3.29. Carro neumático de 3 escuadras con flaps y grapas en posición de descanso-CTM. Fuente: propia (2020).



Figura 3.30. Grapas, flaps y volteadores en posición de trabajo-CTM.
Fuente: propia (2020).

La productividad de los carros neumáticos puede determinarse mediante el uso de la Fórmula (3.2) (INFOR, 1989):

$$P \left(\frac{\text{trozas}}{\text{turno}} \right) = \frac{T \times n}{t} \quad (3.2)$$

Donde: P : productividad, en trozas por turno; T : duración del turno de trabajo, en min; n : aprovechamiento del tiempo de trabajo, en %; t : tiempo para aserrar una troza, en min.

El tiempo total de aserrado de una troza (t) se calcula de la siguiente manera (Fórmula 3.3):

$$t \text{ (min)} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \quad (3.3)$$

Donde: t_1 : tiempo para montar el rollizo al carro (cargadores); t_2 : tiempo para fijar el rollizo (perros o grapas); t_3 : tiempo para centrar el rollizo a la sierra (escuadras); t_4 : tiempo de avance del carro (avance y corte); t_5 : tiempo de retroceso del carro (retroceso en vacío); t_6 : tiempo para girar la troza (volteadores); t_7 : tiempo para liberar el remanente del rollizo (grapas); todos los tiempos expresados en min.

Los tiempos de avance (Fórmula 3.4) y retroceso (Fórmula 3.5) se calculan de la siguiente manera:

$$t_4 \text{ (min)} = \frac{S \times z}{U_a} \quad (3.4)$$

$$t_5 \text{ (min)} = \frac{S \times z}{U_r} \quad (3.5)$$

Donde: t_4 : tiempo de avance, en min; t_5 : tiempo de retroceso, en min; S : carrera del carro, en m; z : número de cortes, adimensional; U_a : velocidad de avance, en m/min; U_r : velocidad de retroceso ($U_r: 1.5 \cdot U_a$), en m/min.

La carrera del carro se calcula para sierra circular y para sierra sinfín de acuerdo con las Fórmulas 3.6 y 3.7, respectivamente.

$$S \text{ (m)} = L_{tr} + D_s + 0,20 \quad (3.6)$$

$$S \text{ (m)} = L_{tr} + A_s + 0,20 \quad (3.7)$$

Donde: S : carrera del carro, en m; L_{tr} : longitud de la troza, en m; D_s : diámetro de la sierra circular (disco), en m; A_s : ancho de la sierra sinfín (hoja), en m.

El tiempo de los volteadores (Fórmula 3.8) se calcula de la siguiente manera:

$$t_6 \text{ (min)} = Z_1 \times n \quad (3.8)$$

Donde: t_6 : tiempo demandado para girar la troza, en min; Z_1 : tiempo demandado para dar un giro, en min; n : número de giros de la troza en el carro (según el plan de corte), adimensional.

Los **transfers**, también denominados **cambiadores de dirección de brazo** (Figura 3.31), cumplen la función de desviar 90° la dirección de trabajo de las piezas parcialmente aserradas, costaneros y/o cantos, permitiendo el rápido despeje de la línea de trabajo, trasladando la pieza a la máquina desdobladora, canteadora y/o reaprovechadora de costaneros gruesos.

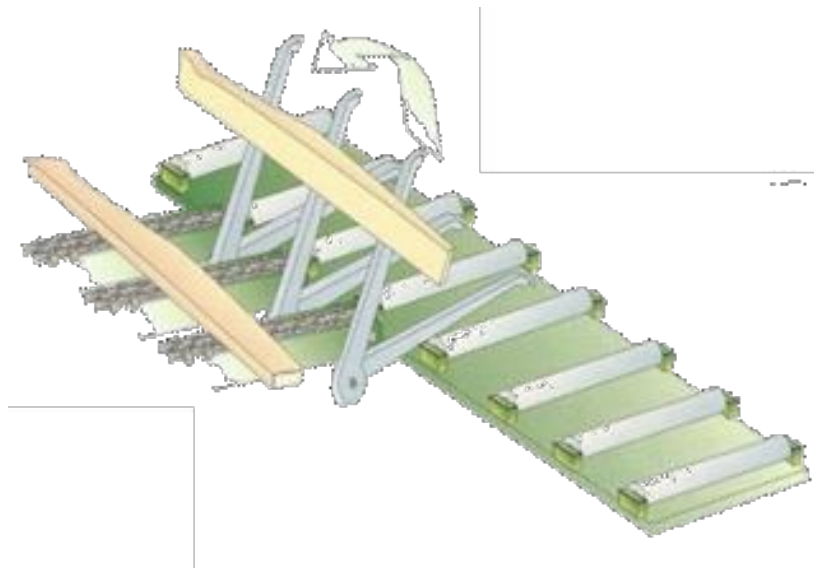


Figura 3.31. Esquema de trabajo de transfers.
Fuente: García Esteban et al. (2002).

Los **sistemas de clasificación de residuos** (Figura 3.32) generalmente se ubican en la línea de abastecimiento del astillador que se detallará posteriormente. Previo al astillado, los residuos finos, representados por el aserrín generado en las sierras, se separan de los residuos gruesos, constituidos por costaneros, cantos, despuntes y tablas defectuosas, atravesando una sección ranurada (visualizada en color naranja en la Figura 3.32). En esta parte del proceso, el aserrín pasa al depósito a través de cintas estriadas y el residuo grueso es llevado hasta la astilladora por cintas lisas.



*Figura 3.32. Clasificador de residuos del aserradero-CTM.
Fuente propia (2019).*

Los **chipeadores o astilladores** (Figuras 3.33 y 3.34), tienen por función transformar los costaneros, despuntes, cantos y tablas defectuosas en un producto secundario, denominado chip, con destino a bioenergía, industrias de tableros de partículas y/o fibras, pulpa para papel y/o cartón, entre otros. Están constituidos por un tambor (cilindro) giratorio provisto de cuchillas desmontables, ubicadas exteriormente de manera tangencial, que son las encargadas de chipear la madera a medida que ésta ingresa en forma perpendicular al eje del tambor. Una vez formado el chip en la astilladora, es trasladado al almacenamiento a través de cintas sinfín.



*Figura 3.33. Astillador de tambor del aserradero-CTM.
Fuente propia (2017).*



*Figura 3.34. Cinta transportadora de productos secundarios y astilladora puesta en servicio-CTM.
Fuente: propia (2019).*

El **sistema de almacenamiento de aserrín y chips** (Figura 3.35) tiene la función de almacenar por separado estos productos secundarios de distinta granulometría, para luego ser depositados en las cajas de los camiones que los trasladarán a su destino de uso.



Figura 3.35. Almacenamiento de aserrín (pila izquierda) y chips (pila derecha)-CTM.
Fuente propia (2021).

Los **sistemas de eliminación de residuos finos** tienen la función de eliminar rápidamente los residuos finos de la línea de producción de madera aserrada, aserrín y polvo de madera en suspensión, a fin de mantener un ambiente de trabajo saludable. Esto es realizado a través de ventiladores de aspiración, conductos y filtros.

Los **sistemas de mantenimiento de los elementos de corte** cumplen funciones tales como: afilar, trabar, recalcar, igualar, soldar y reparar el cuerpo de los elementos de corte; los mismos se encuentran ubicados en el taller de afilado del aserradero. El detalle de estos equipos se desarrollará en el Capítulo 4.

Asociado a los mecanismos complementarios, se presenta un proceso necesario para la optimización de la producción de madera aserrada. En el caso de *Pinus* spp., se identifica el **baño antimancha**. Este proceso se aplica en la madera recién aserrada para evitar el desarrollo de hongos de manchado o cromóforos. Según la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1988), estos hongos manchan la madera de dicha especie cuando se expone su albura húmeda al aire, por lo que, en aquellos aserraderos donde su capacidad de secado en horno no permite secar toda la producción, necesita contar con un sistema de baño antimancha. El mismo consta de bateas conteniendo un producto fungicida, colocadas al final del sistema de aserrado donde las tablas, por medio de cadenas, son forzadas a una inmersión total e instantánea (30 segundos) antes de su apilado con separadores para el secado al aire. Las tablas pueden sumergirse individualmente o armadas en paquetes con separadores y sunchados, los cuales se sumergen con montacarga en la batea (Figuras 3.36 y 3.37). El baño

antimancha persigue lograr una protección de baja residualidad, entre 4 y 6 meses, preservando la madera mientras se encuentre con un contenido de humedad superior al 20%.



Figura 3.36. Vista general de la batea de baño antimancha (Abra Ancha, Neuquén).
Fuente propia (viaje de estudios Ing. Ftal., 2018).



Figura 3.37. Proceso de inmersión en batea de baño antimancha (Abra Ancha, Neuquén).
Fuente propia (viaje de estudios Ing. Ftal., 2007).

Líneas de aserrado según tecnología, productividad y especies

Finalmente, a modo orientativo, se muestran algunas situaciones en base a la productividad y a los equipos que pueden encontrarse en el mercado local de madera aserrada.

Línea de aserrado para monte nativo, con una producción promedio de 4.000 pie²/turno; es factible encontrar este sistema en aserraderos antiguos de bajo nivel de tecnificación, generando productos de alto valor por la calidad de la materia prima, no por la calidad del aserrado. Es común encontrar estos aserraderos en el NOA y el NEA que involucran especies como cedro (*Cedrella angustifolia*), cebiles (*Anadenanthera* sp.; *Parapiptadenia* sp.), urunday (*Astronium balansae*), anchico (*Parapiptadenia rigida*), guatambú (*Balfourodendron riedelianum*), peteribí

(*Cordia trichotoma*), incienso (*Myrcarpus frondosus*), algarrobo blanco (*Prosopis alba*), quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), entre otros. Estos aserraderos básicamente cuentan con el siguiente equipamiento principal:

- Sierra sinfín principal simple de carro manual o mecánico.
- Desdobladora sinfín vertical simple (tableadora).
- Canteadora circular simple.
- Despuntadora circular simple de eje móvil.

En términos generales, los productos obtenidos cuentan con una clasificación manual y rudimentaria.

Línea de aserrado del CTM (Figura 3.38), con una producción promedio de 10.000 pie²/turno; apto para el aserrado de especies cultivadas. Líneas similares son factibles de encontrar en el NEA. Cuenta con el siguiente equipamiento básico:

- Sierra sinfín principal simple con carro neumático.
- Canteadora circular doble de un eje, que puede funcionar como desdobladora de piezas de hasta 3" de espesor.
- Mesa despuntadora con sierra circular simple de eje móvil.

La clasificación de los productos obtenidos se realiza en forma manual.

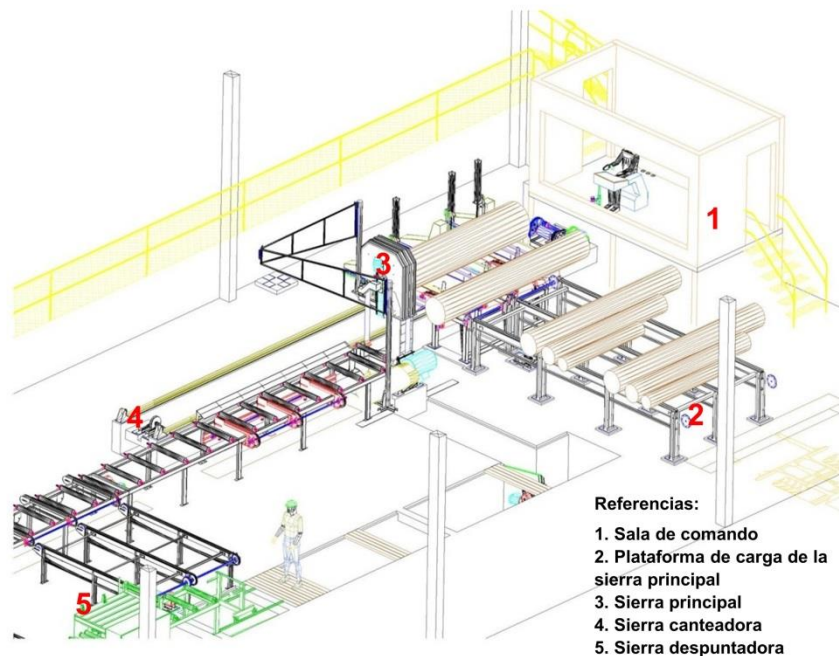


Figura 3.38. Esquema de la línea de aserrado-CTM.
Fuente: Proyecto CTM, UCAR (2014).

Línea de aserrado para coníferas o salicáceas, con producción promedio de 25.000 pie²/turno. En el caso de las coníferas, es común encontrar estos aserraderos en el NEA (*Pinus elliotii* y *P. taeda*) y en la provincia de Neuquén (*P. ponderosa*). En el caso de las salicáceas, se

pueden encontrar aserraderos de este tipo en el norte de la provincia de Buenos Aires, con madera proveniente del Delta Bonaerense (*Populus* spp.). Estos aserraderos cuentan con el siguiente equipamiento básico:

- Sierra sinfín principal simple con carro neumático.
- Desdobladora circular múltiple de uno o dos ejes.
- Desdobladora sinfín horizontal para aserrar los costaneros gruesos.
- Canteadora circular doble de un eje.
- Mesa despuntadora con sierra circular simple o doble de eje fijo.

La clasificación de los productos obtenidos se realiza en forma manual.

Línea de aserrado para coníferas o eucaliptos, con una producción promedio de 50.000 pie²/turno; es común encontrar estas líneas en las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos aserrando *Pinus elliotii*, *P. taeda* y *Eucalyptus grandis*. Estos aserraderos cuentan con el siguiente equipamiento básico:

- Sierra sinfín principal doble o gemelas.
- Desdobladora circular múltiple de dos ejes.
- Desdobladora sinfín horizontal para aserrar los costaneros gruesos.
- Canteadora circular doble de un eje.
- Mesa despuntadora con sierras circulares dobles.

La clasificación de los productos obtenidos se puede realizar en forma manual o mecánica.

Nueva tecnología de aserrado, de producción superior a 250.000 pie²/turno, instalada en aserraderos de las provincias de Misiones y Corrientes (*Pinus elliotii* y *P. taeda*). Cuentan con sistemas tecnológicos más avanzados como el *chipper canter*.

Consideraciones finales

Todas las máquinas y equipos principales y complementarios antes descriptos forman parte del proceso de producción de madera aserrada a partir de un material tronco-cónico (troza-rolizo). De acuerdo con el tamaño y la tecnología de la planta de aserrado, será la complejidad de dichos equipos y sus funciones específicas. En aserraderos de menor tecnología, la ausencia de ciertos equipos y mecanismos de trabajo, afecta la calidad del producto, la productividad, el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del personal durante el proceso de aserrado. Por el contrario, los aserraderos de tecnología avanzada maximizan y mejoran estos parámetros.

Referencias

- García Esteban, L.; Guindeo Casasús, A.; Peraza Oramas, C.; de Palacios de Palacios, P. (2002). *La madera y su tecnología*. Madrid, España: Ed. Mundi Prensa.
- INFOR. (1989). Principios de organización y operación del aserradero. Manual N°16. Concepción, Chile: Corporación de fomento a la producción.
- IRAM 9664. (2013). *Madera estructural: determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 9670. (2002). *Madera estructural: clasificación y requisitos. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliotti y Pino taeda) del noreste argentino mediante una evaluación visual*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- JUNAC. (1988). *Manual del Grupo Andino para la preservación de la Madera*. (1ª Ed.). Lima, Perú: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- JUNAC. (1984). *Manual de clasificación visual para madera estructural*. (1ª Ed.). Lima, Perú: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- UCAR (2014). Proyecto Centro Tecnológico La Plata. Buenos Aires, Argentina: Unidad para el Cambio Rural, Ministerio de Agroindustria de la Nación.