

CAPÍTULO 2

Planificación de un aserradero: playa de trozas y proceso productivo

Carla Taraborelli y Gabriel D. Keil

Consideraciones generales

El aprovechamiento de los bosques, en particular de los bosques implantados, tiene como objetivo principal la producción de madera aserrada. De esta manera, los rollizos extraídos de dichos bosques son procesados en aserraderos donde se obtienen los productos finales de mercado o los insumos para otras industrias. En términos generales, se entiende por **madera aserrada** a toda pieza prismática, de diferentes escuadrías y calidades, cortada longitudinalmente por medio de sierras manuales o mecánicas (IRAM 9502, 1957). Este concepto será ampliado en los Capítulos 3 y 5.

La madera aserrada y los productos derivados tales como machimbres, molduras, tableros de listones y vigas laminadas, entre otros, juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, ya que son capaces de almacenar carbono a largo plazo, presentando una oportunidad más viable en el sector de la construcción a nivel mundial, principal destino final de la madera aserrada. Además, los productos secundarios obtenidos durante los procesos de producción (corteza, costaneros, astillas, aserrín, virutas), se emplean como materia prima para la elaboración de otros productos con diversos fines, tales como energéticos, celulósicos, fabricación de tableros, entre otros, pudiendo en consecuencia, sustituir en la mayoría de los casos, a otras materias primas con mayor huella de carbono (Packalen *et al.*, 2017).

De esta manera, la organización de la industria del aserrado debe contemplar una multiplicidad de factores. Entre ellos, se destaca la maximización del aprovechamiento de la materia prima proveniente de recursos naturales renovables y su transformación en productos de mayor valor agregado, conceptos vinculados a la **bioeconomía** (Loray, 2015; Näyhä, 2019). Por otro lado, se busca la minimización de las pérdidas y la atención a las demandas de los mercados nacionales e internacionales manteniendo los productos, componentes y materiales en su mayor utilidad y valor, paradigmas relacionados a la **economía circular** (Näyhä, 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2015). Ambos conceptos deberían plantearse en conjunto a fin de garantizar que los recursos se utilicen de manera más productiva y eficiente (European Environment Agency, 2018).

De acuerdo con esto, a continuación se desarrollarán los diversos factores del proceso productivo de un aserradero.

Factores de la industria de aserrado

Tomando en cuenta el análisis realizado por Husso & Nybakk (2010) y Packalen *et al.*, (2017) a continuación se desarrollan los factores externos e internos inherentes a la industria de aserrado.

Factores externos

Factor social y de consumo: se observa a nivel global un aumento de la urbanización; específicamente, en Argentina el nivel de déficit habitacional crece y es necesaria una solución rápida y de calidad. La utilización de la madera como material de construcción se está posicionando competitivamente frente a otros materiales, debido a aspectos energéticos, ambientales, estéticos y de diseño. De esta manera, la demanda de productos de madera irá aumentando y por lo tanto, las industrias deberán posicionarse a un nivel competitivo de mercado que pueda satisfacer las necesidades planteadas.

Factor tecnológico: existen avances tecnológicos que permiten nuevos escenarios en cuanto al consumo energético, la facilidad y rapidez de producción, la variabilidad de productos, la minimización del impacto ambiental, entre otros, con respecto a las tecnologías más antiguas.

Factor económico-financiero: el sector foresto-industrial nacional es relativamente pequeño en relación a otros sectores industriales. La industria de aserrado posee mayor cantidad de pequeñas y medianas empresas, con problemas de financiamiento y de informalidad, y pocas industrias grandes generalmente integradas con capitales que pueden afrontar desequilibrios económicos y financieros.

Las oportunidades de este sector pertenecen a mercados que comercializan productos con precios internacionales determinados denominados *commodities*, como es el caso de la madera aserrada de coníferas (*Pinus spp.*). Mientras que la materia prima proveniente de especies latifoliadas encuentran “nichos de mercado” donde la exclusividad del producto permite cierta flexibilidad en los precios finales, por lo que existe un proceso de aserrado competitivo, no necesariamente ligado a la productividad.

Factor político: le otorga el marco general a los factores mencionados anteriormente, ya que, de acuerdo a las políticas implementadas a nivel nacional y/o internacional, surgirán los lineamientos a seguir. En el país, existen pocas industrias de gran escala y con capacidad de abastecer al mercado. A su vez, la masiva importación de productos terminados y la exportación de materia prima en bruto (rollizos) no favorecen al desarrollo local ya que, las industrias de transformación que le otorgan valor agregado a la materia prima y que generan recursos económicos y emplean mano de obra, tienen un desarrollo incipiente.

Factores internos

Materia prima: en la planificación de un aserradero, este factor tiene una relación directa con los productos finales y conlleva decisiones como la localización, maquinaria, procesamiento-remanufactura y requerimientos del mercado.

En términos generales, a nivel nacional existe una sustitución permanente de maderas nativas por maderas de especies implantadas, dados los altos costos de aprovechamiento, los problemas sanitarios, la poca homogeneidad de las trozas, los bajos rendimientos y productividades, los elevados costos de aserrado y, por último, y no menos importante, las fuertes presiones ambientales que obligan a los gobiernos a tomar medidas cada vez más sustentables.

En cuanto a las especies implantadas, en Argentina existe un reemplazo de trozas de grandes diámetros por trozas de diámetros medios y pequeños, debido a la reducción de los turnos de corta. Además, el incremento en el costo de la materia prima, ha hecho que trozas de menor diámetro que anteriormente tenían como destino las industrias del triturado (pulpas, bioenergía, tableros de partículas y fibras), hoy se asierren con líneas de producción diseñadas para este tipo de trozas.

En relación a la disponibilidad de materia prima en cercanías de la industria, es recomendable que sean especies con valor comercial, conocidas y con mercados insatisfechos; se aconseja solo un pequeño porcentaje de productos de una nueva especie para la incorporación gradual al mercado.

Un aspecto importante, es que la industria incorpore superficie de monte como **área de seguridad**; en establecimientos medianos-grandes y grandes se recomienda un área que cubra el 30% de la producción anual para ser procesada en circunstancias excepcionales de manera de no interrumpir la producción por falta de provisión de materia prima.

De acuerdo a la maquinaria disponible para aserrar, sobre todo la sierra principal y su sistema de avance (a desarrollarse en el Capítulo 3), se debe analizar la existencia de trozas de diámetros y largos aserrables en cantidad y calidad, de acuerdo al objetivo de producción establecido. Para ello, se debe tener en cuenta la necesidad anual de trozas para abastecer la planta de aserrado en el presente, previendo futuras ampliaciones. Este dato se obtiene a partir de la producción anual estimada para el aserradero a instalar y del rendimiento probable de madera aserrada con respecto al volumen de trozas procesado.

Mercados: es vital considerar sus exigencias y conocer cuáles son los productos de mayor demanda. En este sentido, también existe un paulatino reemplazo de piezas enteras por piezas formadas a partir del encolado de piezas más pequeñas. A nivel nacional, el mayor mercado se encuentra en el eje Buenos Aires-Rosario-Córdoba, área de mayor concentración de la población del país.

Con el objetivo de dar cumplimiento a las exigencias del mercado, existen diferentes tipos de certificación como FSC® (*Forest Stewardship Council*) y CERFOAR (Sistema Argentino de Certificación Forestal), que tienen como propósito certificar los procesos y productos, otorgando información clara sobre la trazabilidad de la materia prima empleada en el producto final.

Transporte: se debe asegurar un abastecimiento sostenible de la materia prima en el tiempo y a una distancia razonable del aserradero. En términos generales, la distancia a la que se debe encontrar la materia prima puede variar desde 30 a 60 km, siendo una distancia máxima aceptable hasta los 150 km. Esto dependerá de la región donde se encuentre instalado el aserradero, ya que no son las mismas distancias en la región del NEA que en la región Patagónica. El transporte de materia prima hacia el aserradero es el más crítico, ya que para abastecer de trozas a la industria se recorren distancias medias-cortas en caminos rurales, los cuales deben soportar la capacidad de carga de los camiones con trozas con alto contenido de humedad. En cambio, para transportar los productos a los centros de consumo y/o comercialización se deben recorrer generalmente grandes distancias, en mejores condiciones, influyendo directamente en el valor final del producto.

En términos generales, a nivel nacional predomina el transporte terrestre a través de camiones, y en los últimos años, se ha incorporado en algunas regiones, la utilización de bitrenes¹⁰, que al poseer gran capacidad de carga reduce los costos. El transporte fluvial de trozas se realiza en la zona del Delta del Río Paraná para aserraderos de Tigre, San Fernando y Zárate; sin embargo, no se emplea en el transporte de madera aserrada o de productos remanufacturados.

Recursos humanos: la industria de aserrado requiere cierto grado de calificación para tareas propias del sector, como las que realiza el operador de la sierra principal, el técnico afilador, el personal encargado de la clasificación y secado de la madera aserrada, entre otros. Es recomendable que la planta de aserrado pueda contar con personal capacitado y/o experimentado, en condiciones de estabilidad laboral y con capacitaciones permanentes, con el fin de actualizar los conocimientos sobre las tecnologías y la seguridad en el trabajo.

El personal de la industria debe contar con tiempos de descanso y seguridad. El tiempo de descanso en este tipo de actividades es esencial ya que se trabaja con equipos de alto riesgo y el cansancio constituye un factor de peligro.

Energía: su disponibilidad es cada vez más limitada y con costos progresivamente elevados. Las máquinas de los aserraderos permanentes poseen motores individuales con energía eléctrica, mientras que los aserraderos portátiles consumen combustibles fósiles, generalmente gasoil.

Las calderas se utilizan fundamentalmente para abastecer los grandes secaderos de madera aserrada; pueden funcionar a gas, con limitaciones de disponibilidad durante los meses invernales, con gasoil o con residuos del mismo aserrado.

El costo de los diversos procedimientos de aserrado depende en gran parte de la reutilización de los productos secundarios. El aserrín se emplea como combustible en calderas, mientras que los costaneros y recortes de trozas descortezadas se astillan para la fabricación de pasta o de tableros de partículas o de fibras.

El desafío más importante en cuanto a lograr una economía sustentable, es la reutilización de los productos secundarios de aserrado para diversos fines, entre ellos, el autoabastecimiento de

¹⁰ Bitren: formación basada en un camión (unidad tractora) con al menos dos remolques articulados entre sí, mediante un sistema de enganche. La longitud y peso de los bitrenes es variable según el país, encontrándose con rangos entre 19-30 m y 53-75 toneladas brutas, respectivamente.

energía, es decir, el reemplazo de energía fósil a energía renovable. Estos conceptos serán ampliados en el Capítulo 6.

Aspectos de optimización de la industria

Con el objetivo de lograr la mayor competitividad de la industria, el funcionamiento del aserradero debe estar basado en la producción de madera bajo los siguientes parámetros (Fronius, 1990; INFOR, 1989):

- Mayor rendimiento (%)
- Mayor productividad (pie²/turno)
- Mayor eficiencia (pie²/operario/turno)
- Menor costo (\$)
- Mejor calidad

Si bien en el Capítulo 4 se profundizará el tema, en esta instancia se destacan los principales parámetros del aserrado:

Rendimiento: es la producción de madera aserrada a partir del volumen de trozas empleado en la transformación; cuanto mayor sea este parámetro, mejor será considerado el proceso de aserrado.

Productividad: se refiere al mayor volumen de madera aserrada producida por unidad de tiempo; en el proceso de aserrado se debe tender a generar la máxima productividad posible.

Eficiencia: involucra a la mano de obra necesaria para la producción de un volumen de madera aserrada por unidad de tiempo.

Costo: término referenciado al desembolso económico necesario para la producción de madera aserrada, considerando a cada uno de los actores participantes del proceso.

Calidad: se refiere a un conjunto de características mínimas que debe presentar la madera aserrada respecto a distintas variables, tales como dimensiones, escuadrado, calidad estructural y estética, entre otras.

Aserraderos portátiles y permanentes

Los aserraderos pueden clasificarse en portátiles y permanente, cuyas características comparativas se detallan en la Tabla 2.1.

FACTOR	ASERRADERO PORTÁTIL	ASERRADERO PERMANENTE
Período de funcionamiento en un mismo sitio	Meses hasta un año.	Décadas-Posibilidad de futuras ampliaciones.
Planificación	Sencilla y práctica.	Más sofisticada su operación, movimiento, almacenaje e inspección.
Acondicionamiento del terreno	Acondicionamiento mínimo: aclareos y terrenos no inundables y nivelados (emparejados).	Acondicionamiento mayor: consolidación y nivelación en exterior, y piso de cemento consolidado en interior.
Anclaje de los equipos	No requiere: está apoyado sobre el terreno o carros transportables.	Requiere: los equipos están fijos través de fundaciones y anclajes.
Ubicación geográfica	En el lugar de extracción de trozas.	En centros urbanos cercanos a la materia prima.
Energía	Consumen combustible fósil, generalmente gasoil.	Alto consumo de energía eléctrica.
Relación potencia motriz - equipo	Depende de una única unidad motriz central con reductores de velocidad, poleas, coronas y piñones.	Cada máquina o equipo tiene un motor eléctrico individual.
Cantidad de máquinas y equipos	Máximo de 3 máquinas: sierra principal, canteadora y despuntadora.	Una máquina para cada función: sierra principal, desdobladora, canteadora, despuntadora, re-aprovechadora de costaneros, entre otras.
Cantidad de operarios	3-5 operarios	5-10 operarios en aserraderos chicos; 40-80 en aserraderos medianos; >100 en aserraderos grandes.
Preparación de las trozas	Recepción y procesamiento diario. No requiere espacio significativo para el acopio de trozas.	Procesamiento ininterrumpido durante el año. Requiere de espacio suficiente para acopio de trozas.
Grado de transformación	Transformación parcial: primer corte con producción de piezas de gran escuadría (en general).	Transformación total: remanufactura con producción de productos de mayor valor agregado.
Productividad	Baja (inferior a la menor productividad de aserraderos permanentes pequeños)	Baja: hasta 8.000 pie ² /turno (aserraderos chicos y pequeños); Media: 8.000 a 40.000 pie ² /turno (aserraderos medianos); Alta: 40.000 a 250.000 pie ² /turno (aserraderos grandes).

Tabla 2.1. Factores diferenciales en aserraderos portátiles y permanentes.

Fuente: propia (2020).

En muchas ocasiones, el aserradero portátil (Figura 2.1) puede trabajar en conjunto con el aserradero permanente (Figura 2.2), realizando el primer corte en el monte con aserradero portátil y luego el reaserrado, en planta industrial, con aserradero permanente.



*Figura 2.1. Aserradero portátil. San Martín de los Andes (Neuquén).
Fuente: propia (viaje de estudios Ing. Ftal., 2008).*



*Figura 2.2. Aserradero permanente-CTM.
Fuente: propia (2018).*

Principales características de los aserraderos permanentes

Tal como se mencionó en la Tabla 2.1, el aserradero portátil generalmente se compone de una sola máquina de poca complejidad en el proceso de aserrado. En contraposición, el aserradero permanente presenta una mayor complejidad en su proceso productivo, en la distribución de espacios y en los equipos necesarios para realizar la transformación

mecánica de la troza. Por tal motivo, a continuación se desarrollan los distintos aspectos a considerar en un aserradero de estas características.

Distribución de las máquinas y los equipos en un aserradero

El diagrama de flujo, también denominado con el término *lay out*, literalmente traducido como “configuración”, se define en forma gráfica como la elección compositiva y asociativa de los elementos específicos (máquinas y equipos) dentro de un espacio determinado, para que su conformación espacial maximice su eficacia durante el proceso de aserrado (Rossi, 2006).

En el diseño de la **distribución de las máquinas y equipos** en la planta de aserrado, se debe tener en cuenta la disposición de las máquinas con el fin de propiciar la mayor eficiencia de acuerdo al producto que se quiera lograr, optimizando la velocidad de flujo de los materiales en las distintas fases de transformación. Con el objetivo de mejorar dicho flujo y la seguridad del personal, es recomendable una adecuada **distribución de los espacios productivos**. De este modo, quedarían delimitadas las áreas que conforman el aserradero, las cuales dependerán del tipo de establecimiento. En términos generales, en una planta de aserrado tipo, se encuentran 5 sectores de trabajo bien diferenciados: playa de trozas, sector de aserrado propiamente dicho, playa de secado de la madera aserrada, sector para el manejo de productos secundarios del aserrado como aserrín, costaneros, chips, virutas, des-puntes, cantos, corteza y tablas de desecho, y sector de remanufactura donde se le agrega valor a los productos de aserrado de mayor calidad, produciendo por ejemplo, tablas cepilladas, molduras, machimbres, tableros de listones, vigas laminadas, tableros CLT, entre los de mayor relevancia.

En la Figura 2.3, se muestra la configuración del aserradero del CTM, un establecimiento de mediana escala. Allí se observa el sector para ingreso y salida de camiones (1), el espacio para la playa de trozas (2), el sector de la administración (3), la nave que alberga a la línea de aserrado y al taller de afilado (4), la cámara de secado (5), el sector de secado bajo tinglado (6), el sector de secado al aire libre (7), el taller de remanufactura (8), el galpón de almacenamiento de productos terminados (9) y el sector para acopio de chips (10).



Figura 2.3. Distribución de los espacios de producción-CTM.
Fuente: CTM (2021).

Principales máquinas para aserrar

En el sector 4 de la Figura 2.3 se ubican las **máquinas principales**, que son aquellas que realizan los procesos de corte o aserrados iniciales de la madera. Estas máquinas incluyen: **sierra principal** para hacer el primer corte de la troza, **sierra desdobladora** para reaserrar las piezas provenientes de la sierra principal, **sierra canteadora** para dar el ancho a la pieza aserrada, y **sierra despuntadora** para dar el largo a la misma pieza, pudiendo haber sierras que se encargan de reaprovechar los costaneros gruesos que se obtienen en la sierra principal. En el Capítulo 3 se realizará una descripción más detallada sobre estos aspectos.

Máquinas y equipos auxiliares

En el sector 4 de la Figura 2.3 también se ubican las **máquinas y equipos auxiliares**, las cuales, si bien no realizan cortes en la madera, aportan para que el proceso se realice en forma integral. En un aserradero mediano o grande, se pueden encontrar los siguientes equipos auxiliares al aserrado de la madera: descortezadora, sistemas de volteo y giro de trozas, cintas transportadoras, astilladora, sistema de baño anti-mancha, equipos para el mantenimiento de los elementos de corte, entre otros. En el Capítulo 3 se realizará una descripción más detallada sobre estos equipos.

Diagrama de flujo de un aserradero tipo

En la Figura 2.4 se presenta el esquema de trabajo de un aserradero tipo, que incluye además, los procesos de secado y remanufactura, y abarca desde el almacenamiento de la materia prima hasta la entrega de los productos terminados. El diagrama de flujo variará según cada aserradero.

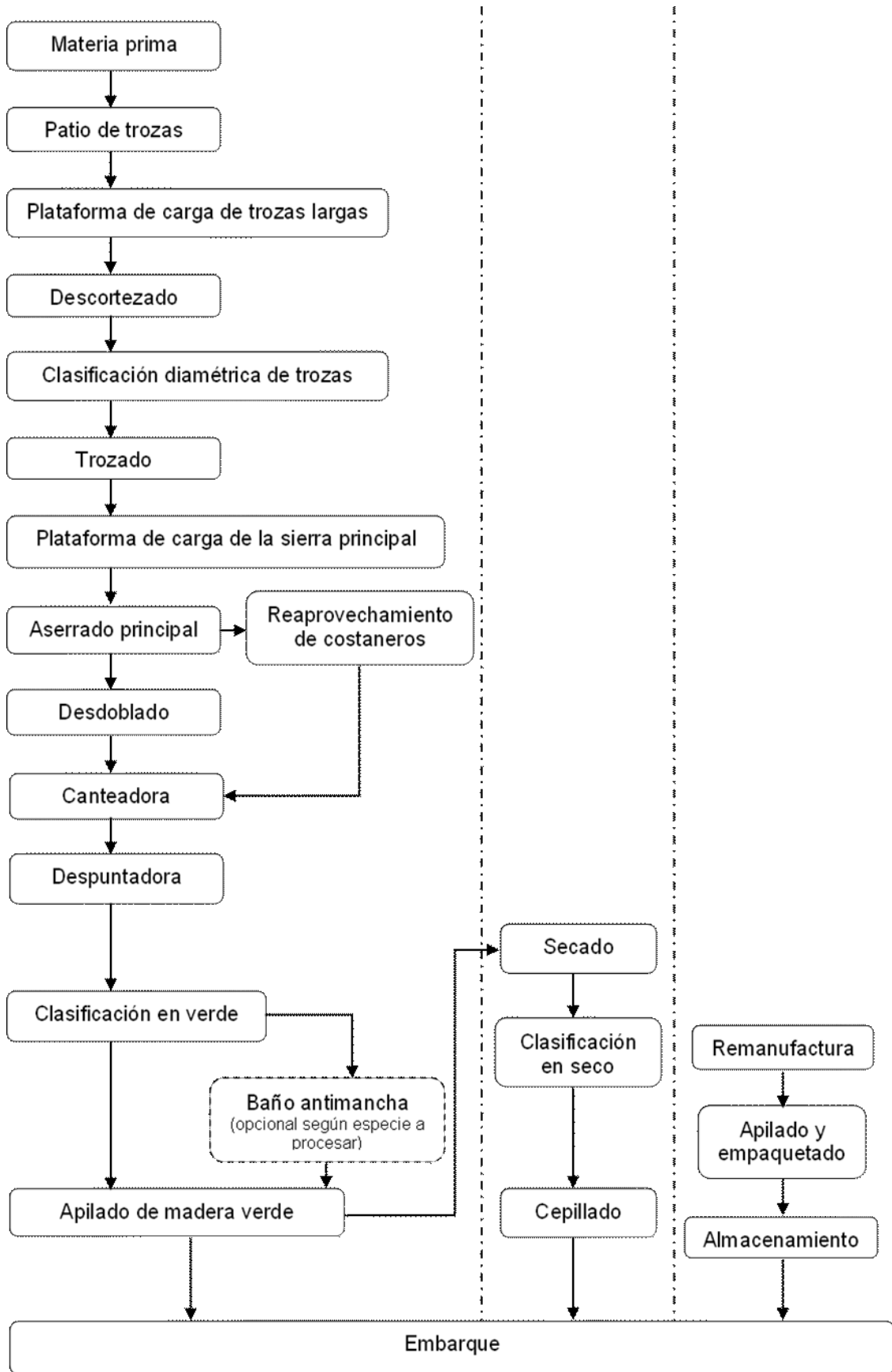


Figura 2.4. Diagrama de flujo de un aserradero tipo.
Fuente: propia (2020).

Específicamente el diagrama de flujo del aserradero del CTM no cuenta con descortezadora, plataforma de carga de trozas largas, tronzadora, ni clasificador de trozas. En cuanto a los equipos de aserrado, el CTM no cuenta con sierra para reaprovechamiento de costaneros ni desdobladora, si bien la canteadora se puede usar como desdobladora para piezas de hasta 3" de altura. Asimismo, cuenta con un secadero con capacidad para 15 m³ de madera aserrada, y con un taller de remanufactura cuyos detalles se desarrollarán en el Capítulo 5. El proceso se completa con el movimiento subterráneo a través de cintas, de productos secundarios clasificados por granulometría, con la salida del aserrín hacia un silo, mientras que los productos de mayor dimensión pasan por la chipeadora luego de la cual, los chips se almacenan en forma elevada en un segundo silo para facilitar la carga del transporte.

Playa de trozas

Dada la importancia de la materia prima en este tipo de industrias, la planificación de la playa de trozas toma relevancia significativa. La superficie otorgada para ello es generalmente mayor que para el resto de las actividades dentro del predio, ya que la producción debe ser continua y requiere contar con suficiente stock de materia prima para abastecer el aserradero. Asimismo, con el fin de evitar pérdidas de productividad y rendimiento, la playa de trozas debe estar correctamente diagramada en relación al producto final a obtener.

Las principales actividades que se desarrollan en la playa de troza son las siguientes:

- Abastecimiento
- Almacenamiento
- Clasificación
- Protección
- Cubicación
- Manejo
- Descortezado
- Tronzado

Abastecimiento de trozas

El abastecimiento constituye la recepción de la materia prima en la playa de trozas, las cuales son abastecidas a la planta de aserrado por medio de camiones. Éstos pueden tener un sistema de descarga propio, con cabezales para mover las trozas desde el transporte a la pila o, en caso de no contar con dicho cabezal, debe preverse desde el aserradero, el equipo para realizar esta tarea (Figura 2.5).



Figura 2.5. Abastecimiento con cabezales de trozas de *Pinus ponderosa* (Abra Ancha, Neuquén).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2008).

Almacenamiento de trozas

El objetivo del almacenamiento es mantener un volumen suficiente de trozas para que el aserradero funcione ininterrumpidamente. La materia prima debe ser almacenada de forma tal que permita la utilización de las trozas más antiguas primero, ya que tienden a perder humedad y calidad por la aparición de varios defectos (Figura 2.6).



Figura 2.6. Almacenamiento de trozas de *Eucalyptus grandis*. (Ubajay, Entre Ríos).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2013).

El diseño de apilado de la materia prima depende de la tecnología disponible para tal fin. Para pilas de mayor altura, se emplean plumas fijas en el terreno, o móviles con ruedas sobre rieles; para pilas de altura media se emplean cargadores frontales forestales; para pilas de menor altura se emplean tractores agrícolas adaptados para la función.

El diseño del espacio de almacenamiento debe contemplar un camino perimetral cortafuego y calles de distintas jerarquías para circular entre las pilas.

La playa de trozas se conecta directamente con el sector de aserrado, por lo tanto las pilas deben estar ubicadas alejadas del lugar de aserrado para evitar incendios que puedan originarse en el sector de procesamiento, como así también pérdidas de tiempo por obstrucciones, pero lo suficientemente cerca para minimizar el transporte desde la pila a la plataforma de carga de la sierra principal.

Para el cálculo de la superficie de almacenamiento se pueden emplear distintas de metodologías de trabajo, dependiendo de la información previa con que se cuenta.

El Instituto Forestal de Chile (INFOR, 1989) propone la siguiente fórmula de cálculo (Fórmula 2.1):

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{H \times K_1 \times K_2 \times K_3} \quad (2.1)$$

Donde: S: superficie de almacenamiento, en m²; Q: volumen de trozas a almacenar (dependiente de la productividad y el rendimiento), en m³; H: altura media de las pilas, en m; K₁: coeficiente de utilización de la superficie (0,5-0,7); K₂: coeficiente de densidad de apilado (0,4-0,6); K₃: coeficiente de utilización de la altura (0,5-0,8), adimensionales.

El volumen de trozas a almacenar dependerá del nivel de producción del aserradero y del rendimiento de las trozas en madera aserrada. La altura de las pilas dependerá del/los equipo/s disponible/s para el apilado, ya que cada equipo tiene una altura de trabajo característico. Los coeficientes K₁, K₂ y K₃ son empíricos, obtenidos en trabajos con trozas de *Pinus radiata* de la industria chilena.

En FAO (1982), se propone la siguiente metodología de cálculo, un poco más sencilla y menos específica que la anterior (Fórmula 2.2):

$$S_r \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{H \times d} \times 4 \quad (2.2)$$

Donde: S_r: superficie de almacenamiento, en m²; Q: volumen de trozas a almacenar, en m³; H: altura media de las pilas, en m; d: coeficiente de densidad de apilado (0,4-0,6), adimensional.

Esta fórmula incluye el espacio requerido por las pilas de madera y la superficie requerida para los caminos cortafuegos e internos. La densidad de apilado surge del cociente entre el volumen real de trozas y el volumen total de las pilas. Se multiplica por 4 para considerar la planificación de caminos cortafuego e internos entre filas. Es una fórmula sencilla y de aplicación aceptable para los ejemplos nacionales.

La superficie de emplazamiento total de una planta de aserrado (Fórmula 2.3) se podrá calcular sumando la superficie de almacenamiento de trozas; la superficie de edificaciones, que son los metros cuadrados construidos en galpones, pañoles, vestuarios, baños, oficinas, secaderos y otras necesarias para el normal trabajo de la planta industrial; y la superficie requerida para el secado al aire (natural) de parte o la totalidad de la producción.

$$S_t \text{ (m}^2\text{)} = S_r + S_c + S_a \quad (2.3)$$

Donde: S_t: superficie de emplazamiento total del aserradero, en m²; S_r: superficie de la playa de trozas, en m²; S_c: superficie de construcciones en m²; S_a: superficie de secado natural de madera aserrada, en m².

La superficie de secado al aire o estacionamiento de madera aserrada se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S_a \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{H \times d} \times 6 \quad (2.4)$$

Donde: S_a: superficie de secado, en m²; Q: volumen de madera aserrada a secar, en m³; H: altura media de las pilas, en m; d: coeficiente de densidad de apilado de madera aserrada (0,6-0,8), adimensional.

El volumen de madera aserrada a secar dependerá del nivel de producción del aserradero y del tiempo requerido para secar la madera. La altura de las pilas dependerá del/los equipo/s disponible/s para el apilado, y el coeficiente de apilado surge del cociente entre el volumen real de la madera aserrada y el volumen total de la pila, relacionado principalmente al espesor de los separadores. Se multiplica por 6 para considerar la planificación de caminos inter-nos entre filas.

Clasificación de trozas

Con el objetivo de mantener un flujo de producción y evitar perder eficiencia y rendimiento, se sugiere que la playa de trozas se encuentre ordenada. Por este motivo, se clasifica y ordena la madera con el empleo de cargadores frontales en distintas pilas. La clasificación se realiza según especie, diámetro menor, estado sanitario y presencia de defectos (Figuras 2.7 y 2.8).



Figura 2.7. Trozas clasificadas e identificadas de *Nothofagus pumilio* (Tolhuin, Tierra del Fuego).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2017).



Figura 2.8. Trozas sin clasificación diamétrica de *Eucalyptus grandis* (Virasoro, Corrientes).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2005).

En aserraderos de especies nativas del NEA y del NOA, es muy común la clasificación y almacenamiento de las trozas en pilas separadas por especie.

En aserraderos medianos-grandes es habitual encontrar un clasificador mecánico de trozas que escanea la materia prima (por diámetro) a medida que va circulando por una cadena. En el trayecto cuenta con desviadores o pateadores que localizan en boxes las trozas de igual rango diamétrico. Luego, los cargadores frontales trasladan las trozas clasificadas a la plataforma de carga de la sierra principal, acorde a los rangos diamétricos necesarios según el plan de trabajo del aserradero y el producto final requerido.

La clasificación más importante y conveniente de realizar es la clasificación diamétrica en 2 o 3 categorías, para uniformar el proceso de aserrado. Lo recomendable es realizar esta clasificación durante el aprovechamiento en el monte, ya que el espacio para realizarlo es mucho mayor, y sobre todo, en los casos donde la industria no cuenta con equipo de clasificación mecánica de trozas.

En aserraderos que están provistos de descortezador mecánico, el clasificador de rollizos se ubica posteriormente al equipo descortezador, pero en la misma línea de trabajo.

A su vez, es recomendable clasificar por estado sanitario y defectos, para evitar costos altos de producción en trozas de bajo rendimiento por presencia de anomalías. Si el volumen de madera a producir y su costo lo justifican, las trozas con defectos deberán aserrarse en períodos de menor demanda, ya que su tiempo de procesamiento afecta la productividad.

Protección de trozas

El objetivo de esta etapa es prevenir los daños que se puedan originar por los insectos que generalmente se alojan debajo de la corteza y/o por los hongos, que pueden manchar o destruir parcial o totalmente la troza. Asimismo, mediante esta etapa se trata de evitar la desecación brusca que puede originar grietas y rajaduras. Para impedir que el sol incida en forma directa sobre las cabezas de las trozas, las mismas se pueden pintar con productos hidrófugos, proteger con barreras físicas como nylon, madera, o generar sombra con cualquier material disponible.

Del mismo modo, la aspersión de las trozas (Figura 2.9) es una de las prácticas más recomendable para realizar esta etapa de protección, cuyos beneficios son los siguientes:

- Evita o disminuye la aparición de rajaduras de cabeza, y de grietas de cabeza y de superficie.
- Evita el ataque de hongos manchadores y xilófagos al quitar la disponibilidad de oxígeno.
- Previene incendios o ayuda a controlarlos más rápidamente.
- Favorece el descortezado al hidratar las células del cambium.
- Acondiciona la madera para el aserrado principal, disminuyendo la resistencia al corte en trozas demasiado secas.



Figura 2.9. Protección de trozas por aspersión de *Eucalyptus grandis* (Virasoro, Corrientes).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2003).

Cubicación de trozas

En la organización de la playa de trozas, la cubicación tiene tres objetivos: el uso en transacciones comerciales, la obtención de inventarios actualizados y la determinación del rendimiento en aserrado.

Los métodos que se emplean en la cubicación de trozas son:

- Indirecto
- Scanner
- Manual

El **método indirecto** se realiza a través del pesaje de las trozas. Si bien es un método de uso difundido en la industria local, presenta una desventaja fundamental que es la variación del peso

con el contenido de humedad de la madera, que varía con la época del año, el tiempo transcurrido entre apeo y traslado a playa, la especie, entre otros.

Los **scanners** son equipos complementarios más precisos y modernos que pueden estar colocados en el equipo descortezador o en la sierra principal, para determinar el volumen de las trozas.

La **metodología manual** consiste en la medición de los diámetros en punta fina y punta gruesa, así como su longitud, aplicando distintas fórmulas estandarizadas.

En Argentina, la más utilizada es la fórmula de Smalian, tanto en su versión original (Fórmula 2.5) como en su versión simplificada (Fórmula 2.6).

$$V_{\text{ssc}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{a + A}{2} \times L \quad (2.5)$$

$$V_{\text{ssc}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{0,7851 (d^2 + D^2)}{2} \times L \quad (2.6)$$

Donde: V_{ssc} : volumen sólido sin corteza, en m^3 ; a : área en punta fina, en m^2 ; A : área en punta gruesa, en m^2 ; L : longitud de la troza, en m ; d : diámetro en punta fina, en m ; D : diámetro en punta gruesa, en m .

Las fórmulas para cubicación de trozas EFA (Empresa Forestal Arauco), desarrolladas en Chile para cubicar trozas de *Pinus radiata* principalmente, pero factible de ser usadas en Argentina para *P. elliotii* y *P. taeda*, diferencia dos largos de trozas (INFOR, 1989) (Fórmula 2.7). Dicha fórmula es para trozas de largos menores a 8 metros, aplicable a la industria del aserrado:

$$V_{\text{ssc}} \text{ (m}^3\text{)} = -0,01819 + 0,0093 \times L - 0,0003 D^2 + 0,0009 D^2 \times L \quad (2.7)$$

Donde: V_{ssc} : volumen sólido sin corteza, en m^3 ; D : diámetro máximo del extremo menor aproximado al par inferior, en m ; L : longitud agregándole 0,1 m de sobredimensión, en m .

Las fórmulas para cubicación de trozas JAS (*Japanese Agricultural Standards*) se plantean para dos largos de trozas, siendo la de uso más generalizado en aserrado y exportación de rollizos, aquella recomendada para largos menores a 6 metros (Fórmula 2.8).

$$V_{\text{ssc}} \text{ (m}^3\text{)} = D^2 \times L \times 10^{-4} \quad (2.8)$$

Donde: V_{ssc} : volumen sólido sin corteza, en m^3 ; D : diámetro menor aproximado al par inferior, en m ; L : longitud aproximada a los 20 cm inmediatos inferiores, en m .

Las metodologías de cálculo mencionadas tienen sus respectivas tablas de doble entrada donde, en la primera columna se señala el diámetro menor de la troza en centímetro, y en las columnas sucesivas se encuentran distintos largos de trozas en metro, localizándose en el cuerpo de la tabla el valor del volumen de la troza en metros cúbicos sólidos sin corteza para cada par de valores de diámetro y longitud (Tabla 2.2).

Diámetro menor (cm)	SMALIAN		EFA		JAS	
	Largo (m)		Largo (m)		Largo (m)	
	4	6	4	6	4	6
10	0,03167	0,04750	0,05722	0,09569	0,04000	0,07260
12	0,04560	0,06840	0,07362	0,12083	0,05760	0,10140
14	0,06207	0,09310	0,09300	0,15053	0,07840	0,10500
16	0,08107	0,12160	0,11537	0,18481	0,10240	0,17340
18	0,10260	0,15390	0,14072	0,22366	0,12960	0,21660
20	0,12667	0,19000	0,16904	0,26708	0,16000	0,26460
22	0,15327	0,22990	0,20035	0,31508	0,19360	0,31740
24	0,18240	0,27361	0,23464	0,36764	0,23040	0,37500
26	0,21407	0,32111	0,27192	0,42477	0,27040	0,43740
28	0,24827	0,37241	0,31217	0,48647	0,31360	0,50460
30	0,28501	0,42751	0,35541	0,55275	0,36000	0,57660
32	0,32427	0,48641	0,40163	0,62359	0,40960	0,65340
34	0,36607	0,54911	0,45083	0,69901	0,46240	0,73500
36	0,41041	0,61561	0,50302	0,77899	0,51840	0,82140
38	0,45728	0,68591	0,55818	0,86355	0,57760	0,91260
40	0,50668	0,76001	0,61633	0,95267	0,64000	1,00860
42	0,55861	0,83792	0,67746	1,04637	0,70560	1,10940
44	0,61308	0,91962	0,74157	1,14464	0,77440	1,21500
46	0,67008	1,00512	0,80866	1,24748	0,84640	1,32540
48	0,72961	1,09442	0,87874	1,35489	0,92160	1,44060
50	0,79168	1,18752	0,95179	1,46687	1,00000	1,56060
52	0,85628	1,28442	1,02783	1,58342	1,08160	1,68540
54	0,92342	1,38513	1,10685	1,70454	1,16640	1,81500
56	0,99309	1,48963	1,18885	1,83023	1,25440	1,94940
58	1,06529	1,59793	1,27384	1,96049	1,34560	2,08860
60	1,14002	1,71003	1,36180	2,09533	1,44000	2,23260

Tabla 2.2. Volumen sólido sin corteza para cada fórmula de cálculo.

Fuente: INFOR (1989).

Manejo de trozas

El objetivo de esta actividad es permitir la descarga de la madera, movilizarla dentro de la playa de trozas y trasladarla desde las pilas a la plataforma de carga del descortezador o de la sierra principal.

Los equipos que se emplean para esta actividad pueden ser:

- Plataforma inclinada: estructura por la cual se trasladan las trozas por gravedad a la plataforma de carga de la sierra principal.
- Grúas móviles sobre camiones o tractores: equipos que permiten la carga o descarga de las trozas desde el vehículo de transporte que llega a la playa de trozas.
- Grúas móviles sobre rieles: equipos de gran altura que tienen un desplazamiento horizontal.
- Grúa fija o estacionaria sobre una torre: equipos de gran altura sin desplazamiento horizontal.
- Cargadores frontales: equipos transportables que permiten mayor versatilidad, movilidad y velocidad en las operaciones; poseen bajo costo de mantenimiento y reparaciones; requieren terrenos consolidados (Figura 2.10).
- Cargador con orugas: equipos transportables de mayor envergadura que se emplean en terrenos poco consolidados (Figura 2.11).
- Tractores agrícolas modificados: equipos adaptados con una plataforma o grúa incorporada.



Figura 2.10. Cargador frontal de trozas de *Pinus ponderosa* (Junín de los Andes, Neuquén).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2008).



Figura 2.11. Cargador de trozas con oruga de *Nothofagus pumilio* (Tolhuin, Tierra del Fuego).
Fuente: propia (viaje de estudio Ing. Ftal., 2017).

Descortezado

El objetivo del descortezado es separar, a la altura del cambium, la corteza de la madera; sus principales ventajas son:

- Preservar los elementos de corte.
- Disminuir el peso de las trozas.
- Disminuir o evitar el desarrollo de insectos que atacan la madera verde.
- Generar residuos limpios para las industrias de pulpa y tableros de fibras y partículas.
- Mejorar el posicionamiento de la troza en el carro para realizar el aserrado principal y consecuentemente, mejorar la calidad del corte.

Los métodos usados en el descortezado de las trozas con destino a aserrado son los siguientes:

- Descortezado manual.
- Cabezales descortezadores.
- Descortezador de anillo mecánico.

En el **descortezado manual** se emplean machetes o palas descortezadoras. Generalmente, es un trabajo que se realiza en el monte, posterior al volteo y desrame. Debe realizarse con la troza en un máximo contenido de humedad, donde las células del cambium están hidratadas y facilitan el trabajo. Es conveniente descortezar en verano cuando el árbol se encuentra en actividad.

El **cabezal descortezador** es un rotor con cuchillas tangenciales que van descortezando la troza a medida que pasa por la superficie de la misma. Es un sistema donde la troza va girando sobre su eje a través de rodillos ubicados en forma transversal al largo de la misma, mientras que el cabezal descortezador va recorriendo toda la troza movido por un brazo hidráulico (Figura 2.12). Es utilizado para *Eucalyptus* spp. y otras latifoliadas donde la corteza forma tiras de gran resistencia y no son efectivos los descortezadores de anillo mecánico.



Figura 2.12. Cabezal descortezador.
Fuente: Huertas Monte (2020)¹¹.

El **descortezador de anillo mecánico** (Figura 2.13) está constituido por un marco base que contiene un rotor basculante de gran potencia, sobre el que se disponen los elementos de cortes (cuchillas) en número variable de 4 a 6; el rotor, con forma de anillo, se centra automáticamente según el diámetro de la troza a descortezar; las cuchillas están formada por dos partes, el brazo y la punta afilada o cuchilla propiamente dicha. La punta afilada es fijada en el extremo del brazo mediante dos tornillos que facilitan su recambio para el afilado. El brazo se retira solo en caso de daño o desgaste para su mantenimiento.



Figura 2.13. Descortezador de anillo mecánico.
Fuente: Direct Industry (2020)¹².

¹¹ www.iesboliches.org/tecnologia/index.php/03-la-madera/03-obtencion-de-la-madera

¹² www.directindustry.es/prod/segem/product-63783-853679.html

El proceso de descortezado solo lo realizan las cuchillas, las cuales trabajan en un patrón en espiral y disponen de un sistema neumático de presión variable para acomodar la profundidad del descortezado según el tipo de corteza. Asimismo, cuenta con rodillos prensores y motrices, ubicados en la entrada del descortezador, los cuales ascienden y descienden hidráulicamente según el diámetro de la troza a descortezar; estos rodillos cumplen las funciones de fijación y alimentación simultáneamente. A la salida del descortezador se encuentran otros rodillos, de la misma naturaleza que los anteriormente descritos, que completan el proceso de fijación y alimentación una vez que la troza es liberada por los rodillos anteriores. Generalmente, y según el modelo, son triangulares y se ubican de a tres en cada una de las partes del descortezador, entrada y salida; están equipados con puntas endurecidas que penetran la corteza, para poder alimentar la troza. La fuerza de sujeción tiene que ser lo suficientemente grande como para evitar que la troza gire cuando los elementos descortezadores están sobre ella realizando el trabajo de descortezado, pero no tan grande como para dañar la madera. Por lo tanto, la presión de los rodillos en el lado de salida de la troza descortezada, siempre es programada a un valor inferior respecto a la presión de entrada. En términos generales, a través del uso de este descortezador, la capa del cambium es aplastada por las grandes fuerzas de cizalle resultantes para que se desprenda la corteza; presenta un uso generalizado para el descortezado de coníferas, pudiéndose emplear también para latifoliadas (García Esteban *et al.*, 2002; Andía *et al.*, 1995).

La productividad de un descortezador mecánico según el INFOR (1989) se calcula de la siguiente manera (Fórmula 2.9):

$$P \left(\frac{\text{trozas}}{\text{turno}} \right) = \frac{T \times U \times K_1 \times K_2}{L} \quad (2.9)$$

Donde: *P*: productividad, en trozas por turno; *T*: duración del turno, en s; *U*: velocidad de avance, en m/s; *K*₁: coeficiente de uso del tiempo de trabajo (0,8-0,9), adimensional; *K*₂: coeficiente de uso de la máquina (0,7-0,8), adimensional; *L*: longitud de la troza, en m.

En el caso de los descortezadores de cabezal y mecánico, los criterios de selección del equipo y de optimización del proceso son los siguientes:

- Capacidad de producción del aserradero (pie²/turno)
- Capacidad del descortezador: en relación al consumo diario máximo de madera en planta.
- Características de las trozas: especie (las latifoliadas son más difíciles de descortezar que las coníferas), dimensiones (longitud y diámetros), y defectos.
- Potencia requerida para alimentar la descortezadora y para el trabajo del cabezal descortezador.
- Costo del descortezador.
- Disponibilidad de stock de piezas de repuesto en el mercado
- Pre-tratamiento de la madera antes de descortezar.
- Superficie de almacenamiento (playa de trozas).

Tronzado

El tronzado consiste en cortar las trozas en forma transversal a su eje, para dar la longitud de trabajo. Cuando las trozas llegan del monte con fuste entero, el aserradero debe contar con un equipo de sierra circular de gran diámetro para el tronzado permanente de los fustes a la longitud requerida, según el carro o sistema de alimentación de la sierra principal (Figura 2.14). En aserraderos con tronzado eventual, el trabajo se realiza con motosierra. En Argentina, las trozas se dimensionan en longitud durante el aprovechamiento, por lo que no se hacen trabajos de tronzado en la planta de aserrado, a excepción de trozas defectuosas o con curvaturas pronunciadas donde se requiere este proceso para obtener trozas más cortas a fin de disminuir la intensidad del defecto.



Figura 2.14. Tronzador de sierra circular.
Fuente: Huertas Montes (2020)¹³.

Consideraciones finales

Este capítulo resalta por un lado, la importancia de conocer los principales factores que se encuentran involucrados en la industria de aserrado, con el objetivo de lograr un mejor manejo y planificación de la misma, tanto a corto como a mediano y largo plazo. Por otro lado, se destaca la importancia del sector de la playa de trozas, donde, bajo un manejo adecuado de la materia prima, se logrará la obtención de productos de calidad, maximizando productividad, rendimiento y eficiencia.

¹³ www.iesboliches.org/tecnologia/index.php/03-la-madera/03-obtencion-de-la-madera

Referencias

- Andía, I.; Otaño, M.; Keil, G. (1995). Alternativas de industrialización de madera de álamo. Buenos Aires, Argentina: Consejo Federal de Inversiones.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. EU transparency register N°389996116741-55.
- European Environment Agency. (2018). The circular economy and the bioeconomy: partners in sustainability. EEA Report N°18. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISSN 1977-8449.
- FAO. (1982). Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo, guía para su planificación y establecimiento. Roma. Estudio FAO Montes N°28. Roma.
- Fronius, K. (1990). Técnicas de Aserrado. Material didáctico. Concepción, Chile.
- 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.
- Husso, M.; Nybakk, E. (2010). Importance of internal and external factors when adapting to environmental changes in SME sawmills in Norway and Finland: The manager's view. *Journal of Forest Products Business Research*, 14pp.
- INFOR. (1989). Principios de organización y operación del aserradero. Manual N°16. Concepción, Chile: Corporación de fomento a la producción.
- Loray, R. (2015). ¿La bioeconomía como modelo de desarrollo? Recursos naturales y políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación. *Revista Estado y Políticas Públicas*, (5), 99-118.
- IRAM 9502. (1957). *Definiciones de términos para la comercialización de maderas y de interés tecnológico*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Näyhä, A. (2019). Transition in the Finnish forest-based sector: Company perspectives on the bioeconomy, circular economy and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1294-1306.
- Packalen, T.; Kärkkäinen, L.; Toppinen, A. (2017). The future operating environment of the Finnish sawmill industry in an era of climate change mitigation policies. *Forest Policy and Economics*, 82, 30-40.
- Rossi, P. (2006). Gestión de los costos y gastos de las pymes de la madera y del mueble. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Madera y Muebles.