



CÁTEDRA DE FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA

INTRODUCCIÓN A LAS INDUSTRIAS FORESTALES



Autores: Myriam Ethel Ludueña, Agustín Pascual Ruiz,
Rolando Schimpf Schneider, Soledad Cordero Vega,
Jorge Goles, Magalí de los Ángeles Acosta,
Paula Vanesa Jiménez, Maximiliano Umlandt

Junio 2025

Introducción a las industrias forestales : cátedra fundamentos de tecnología de la madera / Myriam Ethel Ludueña ... [et al.] ; Compilación de Myriam Ethel Ludueña

;

Agustín Pascual Ruiz. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2025.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-54-6

1. Industrias. 2. Especies Forestales. 3. Madera. I. Ludueña, Myriam Ethel
II. Ludueña, Myriam Ethel, comp. III. Ruiz, Agustín Pascual, comp.
CDD 333.7515



UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CÁTEDRA FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA

INTRODUCCIÓN A LAS INDUSTRIAS FORESTALES

Autores

MYRIAM ETHEL LUDUEÑA

AGUSTÍN RUIZ

ROLANDO SCHIMPF SCHNEIDER

SOLEDAD CORDERO VEGA

JORGE GOLES

MAGALÍ DE LOS ÁNGELES ACOSTA

PAULA VANESA JIMÉNEZ

MAXIMILIANO UMLANDT

Santiago del Estero

2025

Compiladores

MYRIAM ETHEL LUDUEÑA

Esp. Ing. Ing. Forestales

AGUSTÍN RUIZ

Ing. Ind. Forestales

Téc. FABIÁN ZUBRINIC

Diseño de tapa

Mag. Diseñadora FELIZA BENITEZ

Cómo citar el capítulo

Referencia en bibliografía:

Apellido, Nombre (2025). Capítulo II. Industria de paneles a base de madera. En M. E. Ludueña y A. Ruiz (Comps.), *Cátedra Fundamentos de Tecnología de la Madera: Introducción a las industrias forestales* (pp. 46–54). Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Cita dentro del texto:

(Apellido, 2025, p. 46)

ÍNDICE

Pág.

Capítulo I. Conceptos de Industrias Forestales. Introducción a las industrias forestales	1
Capítulo II. Industria del aserrado de la madera	9
Capítulo III. Industria del secado de la madera	20
Capítulo IV. Industria de preservación de la madera	34
Capítulo V. Industrias de paneles a base de madera	46
Capítulo VI. Industria de la carbonización	55
Capítulo VII. Industria de celulosa, papel y cartón	62
Capítulo VIII. Industrias de remanufactura, construcción y carpintería	68
Capítulo IX. Industria de extractivos (taninos, resinas, gomas y mucílagos)	91
Capítulo X. Industria de las biorrefinerías	103
Capítulo XI. Industria de los productos forestales no madereros (PFNM)	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura I.1. Clasificación de las industrias forestales según origen de la materia prima.....	1
Figura I.2. Clasificación de las industrias forestales.....	3
Figura I.3. Primera y segunda transformación de la madera	8
Figura II.1. En los inicios las maquinarias eran enormes y rudimentarias	9
Figura II.2. Cancha de trozas de almacenamiento en seco.....	12
Figura II.3. Cancha de trozas de almacenamiento en húmedo. Sistema de aspersión.....	12
Figura II.4. Clasificación de las Sierras principales	14
Figura II.5. Clasificación de las Sierras reaserradoras.....	14
Figura II.6. Sierra alternativa	15
Figura II.7. Sierra circular.....	16
Figura II.8. Sierra sinfín horizontal portátil	17
Figura II.9. Sierra sinfín vertical.....	17
Figura II.10. Mecanizado de madera y derivados.....	18
Figura III.1. Rodaja de madera mostrando caras de corte	22
Figura III.2. Tabla de HEH para distintas regiones de Argentina	25
Figura III.3. Psicrómetro digital y manual.....	26
Figura III.4. Diferencia del contenido de humedad durante el secado en relación al espesor (sección transversal)	27
Figura III.5. Disposición del patio de secado al aire libre con apilado manual, orientación y tamaño	22
Figura III.6. Ejemplo de estiba de maderas	31

Figura III.7. Cámara de secado tradicional.....	32
Figura III.8. Imágenes de defectos en las maderas aserradas	33
Figura IV.1. Preservación de la madera	34
Figura IV.2. Biodeterioro de la madera	36
Figura IV.3. Métodos sin presión.....	40
Figura IV.4. Autoclave para la preservación de la madera.....	40
Figura V.1. Tableros alistonados de algarrobo y palo santo.	48
Figura V.2. Tableros contrachapados.....	49
Figura V.3. Tableros de partículas recubiertos	50
Figura V.4. Tableros OSB.....	50
Figura V.5. Tableros de fibras duros, semiduros y aislantes.....	52
Figura V.6. Tableros MDF.....	53
Figura V.7. Tablero de madera-cemento.....	53
Figura VI.1. Sistemas de carbonización de la madera según la fuente de calor	57
Figura VI.2. Mujeres carboneras de Santiago del Estero, detrás “horno media naranja argentino”.....	59
Figura VI.3. Horno metálico transportable distribuido en zonas rurales de Argentina por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.....	60
Figura VII.1. Imagen de microscopio con fibras forestales cortas y largas.....	58
Figura VII.2. Clasificación de la materia prima fibrosa y no fibrosa utilizada en la fabricación del papel.....	59
Figura VII.3. Pirámide representativa del orden de las ganancias de la industria de los productos de papel.....	66
Figura VIII.1a. Representación de una viga multilaminada. Un puente de madera.....	67

Figura VIII.1b. Representación de una viga multilaminada. Un cerramiento (techo) de madera.....	67
Figura VIII.1c-d. Representación de una viga multilaminada. Una vivienda de madera.....	67
Figura VIII.2. Imágenes de juegos de mesas y una abertura (puerta).	68
Figura VIII.3. Imágenes de machimbre, deck, molduras, unión Finger Joint y tablero alistonado.	70
Figura VIII.4. Diagrama de flujo de un proceso general de remanufactura.....	71
Figura VIII.5. Moldurera de 4 operaciones.....	72
Figura VIII.6. Moldurera de 4 operaciones.	72
Figura VIII.7. Máquina para generar unión tipo finger joint.y ejemplo del ensamble.....	73
Figura VIII.8. Prensa de vigas laminadas y prensa de tableros alistonados.....	74
Figura VIII.9. Sierra seccionadora horizontal.	75
Figura VIII.10. Lijadora de banda y lijadora calibradora	75
Figura VIII.11. Imágenes del sistema poste y viga	79
Figura VIII.12. Esquema técnico de un bastidor (muro).....	80
Figura VIII.13. Esquema técnico de un bastidor (muro).	80
Figura VIII.14. Imágenes del sistema Plataforma	82
Figura VIII.15. Diagrama de flujo de procesos de carpintería con placa y con madera.....	84
Figura VIII.16. Diagrama de flujo general de procesos de carpintería con placa y con madera	85
Figura VIII.17. Máquinas para carpintería	87
Figura IX.1. Extracto de tanino de diferentes colores.....	92
Figura IX.2. Industria del tanino.....	95

Figura IX.3. Industria de la resina: obtención de la resina de <i>Pinus elliottii</i>	96
Figura IX.4. Máquina desarrollada en Brasil para extracción de resina.....	97
Figura IX.5. Goma de la especie <i>Leucaena leucocephala</i> producto de una herida	99
Figura IX.6. Goma arábica extraída de la especie <i>Senegalia senegal</i> (L.) Britton.....	100
Figura X.1. Plataformas de la biorrefinerías.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla VI.1. Clasificación de la tecnología, el tipo de horno y la procedencia del calor en la producción de carbón vegetal.....	58
Tabla VII.1. Clasificación de los procesos de pulpados celulósicos	64
Tabla VIII.1. Clasificación de la remanufactura.....	69
Tabla VIII.2. Características principales de las construcciones con madera.....	76
Tabla VIII.3. Clasificación de los sistemas constructivos con madera	77
Tabla VIII.4. Clasificación de las carpinterías	83
Tabla XI.1. Clasificación de los productos forestales no maderables.....	83

PRESENTACIÓN

El contenido del presente manuscrito sobre las Industrias Forestales tiene como finalidad brindar apoyo a las clases de la asignatura de Fundamentos de Tecnología de la Madera de la carrera de Ingeniería Forestal, como así también a las clases de la asignatura de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de la carrera de Ingeniería en Industrias Forestales. Este material es una compilación realizada por docentes de diferentes áreas de la Tecnología de la Madera, que puede ser usada como material de consulta por la carrera de Técnico Universitario en Aserraderos y Carpintería Industrial, y toda carrera universitaria que esté vinculada a las Industrias Forestales.

Esta publicación está organizada en capítulos escritos por docentes referentes en el área específica, pertenecientes al Instituto de Tecnología de la Madera (ITM) de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), donde se brindan conceptos generales de cada una de las industrias forestales.

El propósito de este escrito es que pueda contribuir al conocimiento general y específico de estudiantes, docentes y otras personas interesadas, para lo cual se desea una lectura cómoda y placentera.

Santiago del Estero, mayo de 2025.

Mel y Yany

Esp. Ing. Ind. Forestales Myriam Ethel Ludueña

Ing. Ind. Forestales Agustín Pascual Ruiz

Cátedra de Fundamentos de Tecnología de la Madera/ Instituto de Tecnología de la Madera/ Facultad de Ciencias Forestales/ Universidad Nacional de Santiago del Estero/ Argentina

Capítulo I

Conceptos de Industrias Forestales. Introducción a las industrias forestales

Autores: Myriam Ethel Ludueña, Agustín Pascual Ruiz

Las industrias forestales son aquellas que se dedican al aprovechamiento, procesamiento, fabricación y obtención de productos derivados de los bosques y árboles. Estas industrias juegan un papel crucial en la economía, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo rural. Según Coronel (1994), la transformación tecnológica de la madera en un nuevo producto hace de ella un óptimo aprovechamiento con su máxima valoración ambiental, social y económica. Por ello, se puede mencionar que las industrias forestales se fueron desarrollando para brindar bienes como papeles, muebles, viviendas, energía, químicos y nuevas aplicaciones a partir de la nanotecnología y la biotecnología. Los productos de base forestal mantienen capacidad de secuestro y almacenaje de CO₂, a pesar de primeras y segundas transformaciones de producto, realizando un aporte significativo a la agenda de mitigación del cambio climático.

Las industrias forestales pueden clasificarse según el origen de la materia prima que se industrialice (Figura I.1):

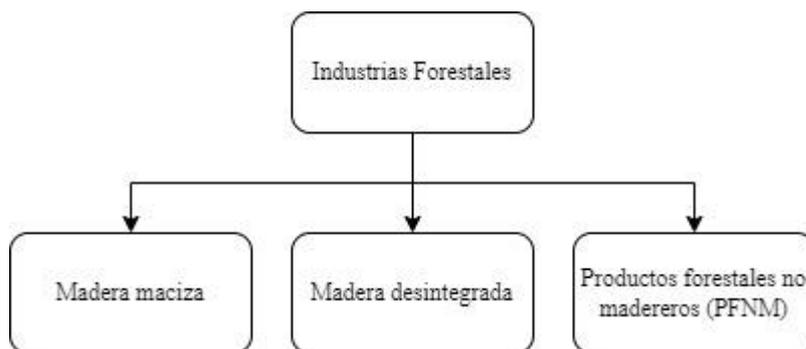


Figura I.1. Clasificación de las industrias forestales según origen de materia prima. Fuente: Adaptado Coronel (1994).

A partir de esta clasificación de los productos forestales según su origen y nivel de procesamiento se facilita el análisis del aprovechamiento forestal desde una perspectiva productiva y ambiental. La madera maciza proviene directamente del tronco del árbol mientras que la madera triturada puede tener origen en el mismo árbol

o como residuo forestal del procesamiento de la madera, y los productos forestales no madereros se obtienen de partes del árbol distintas al tronco, como hojas o frutos, y su procesamiento varía ampliamente según el uso.

Según la FAO (2022a), las industrias forestales hacia el año 2050 tienen perspectivas de crecimiento en un 37 %. El crecimiento de la población urbana y la expansión del comercio por internet (puerta a puerta) necesitan embalaje con base de papel, la mitigación del cambio climático y sostenibilidad promueven la sustitución de productos carbono-intensivos y no renovables conduciendo a un mayor desarrollo de tableros de madera, paneles para la construcción y elementos constitutivos de madera, madera aserrada y celulosa.

En Argentina, la materia prima en las industrias forestales proviene directamente de los recursos forestales de 1,3 millones de hectáreas de plantaciones forestales (1 % de las plantaciones forestales del mundo) y casi 54 millones de hectáreas de bosques nativos. Por otro lado, posee 3,7 millones de hectáreas para expandir las plantaciones forestales que no afectan sitios de alto valor de conservación, ni compiten con bosques nativos ni con cultivos.

Misiones, Corrientes y Entre Ríos con los bosques cultivados proveen el 90 % de la producción de madera comercial, mientras que Santiago del Estero, Chaco, Formosa y este de Salta provee el 80 % de la producción forestal nativa. Dos tercios de la producción total de madera y el 90 % de la producción de rollo de madera industrializada (con usos para productos de madera, pulpa y papel) surgen de las plantaciones forestales, lo cual resta presión a los bosques nativos y los valoriza. Por su parte, los bosques nativos explican el tercio restante. En este segmento, el 80 % de la producción se centra en leña y carbón vegetal y, en menor medida, en la extracción de taninos y la fabricación de productos básicos de madera que completan los usos de la madera nativa con fines productivos (Alfonsín, 2023).

A escala mundial, la madera es el producto forestal más relevante, por lo tanto la industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales (Demers y Teschke. 2001).

Justamente, dada la importancia de la madera en las industrias forestales es que se la define como un recurso renovable, reciclable, de carbono neutral, con propiedades

físicas y mecánicas definidas debido a su heterogeneidad, a su característica anisotrópica, y también como demandante de otras industrias y servicios complementarios en química, transporte, ingeniería o diseño (Alfonsín, 2023).

Por otro lado, las industrias forestales se clasifican según el tipo de transformación física, mecánica o química que recibe el recurso renovable, considerando al árbol y su entorno como origen tanto en bosques cultivados como en bosques nativos. En la Figura I.2 se visualiza esa clasificación:

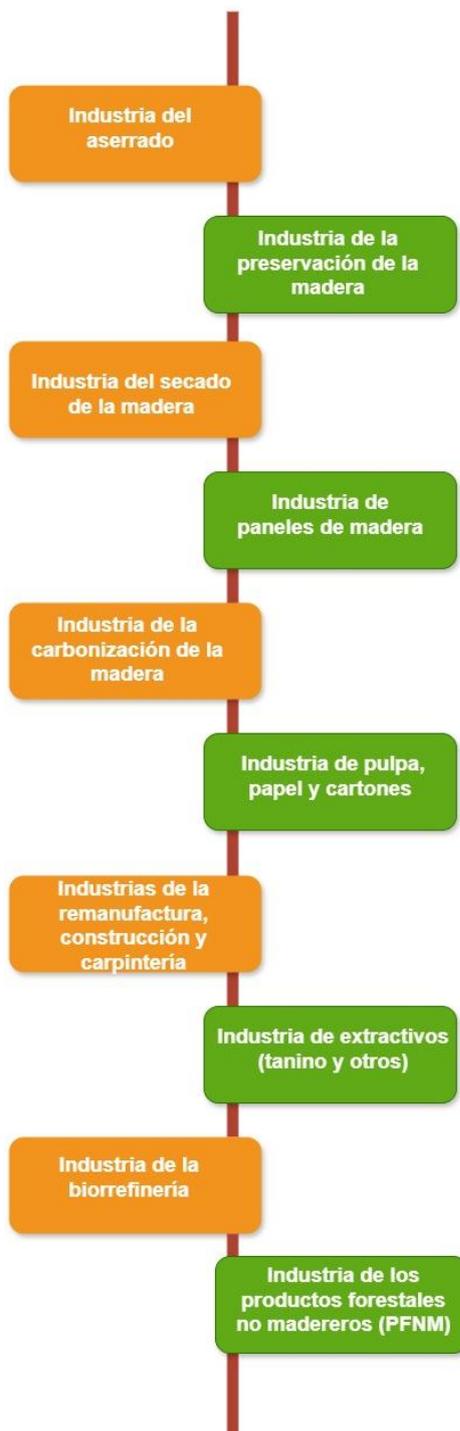


Figura I.2. Clasificación de las industrias forestales. Fuente propia.

Industria forestal de los bosques nativos e implantados

La actividad industrial procedente del bosque nativo comprende procesos mecánicos y termoquímicos, principalmente, mientras que la actividad industrial del bosque implantado está centrada en los procesos físicos mecánicos y químicos, en general.

Bosque nativo

Los bosques nativos pueden generar la industria del aserrado obteniendo productos del aserrío de rollos, a veces proveniente de madera seca. Los productos de madera aserrada comprenden desde el aserrado simple hasta los que requieren la intervención de elementos y maquinarias de carpintería, con un mayor grado de terminación, moldurado y armado. Otro ejemplo es la producción de muebles; materiales utilizados en la construcción como aberturas, pisos y parquet, envases, pallets y cajones; y también las aplicaciones rurales como tranqueras, mangas y cercos.

Entre los procesos termoquímicos se incluyen la producción de tanino o extracto de quebracho, furfural y carbón vegetal, a partir del cual se obtiene el carbón activado y la carbonilla. El uso principal del tanino es la curtiembre de cueros, dado que este extracto natural confiere al cuero características que no se logran con productos sintéticos. El extracto de quebracho es también utilizado en otras aplicaciones industriales, como la perforación de pozos petrolíferos, la flotación de minerales, la industria de la cerámica y de los artículos sanitarios, como aditivo para cemento y asfalto y en la realización de tinta, barnices y lacas.

Bosque implantado

Las cadenas forestales del bosque implantado, representados fundamentalmente por especies exóticas de rápido crecimiento, en su mayor parte de pino y eucalipto, se originan a partir de los productores silvícolas, quienes implantan los árboles para, posteriormente, comercializar los rollizos o madera en rollo para uso industrial.

Las forestaciones cubren la mayor parte de la demanda de madera de las industrias y, a la vez, quitan presión sobre los bosques nativos.

Del aprovechamiento del bosque implantado se obtiene, aproximadamente un 80 % de madera sólida y un 20 % de madera triturable.

A partir de la madera sólida se encadenan los siguientes procesos, los cuales son intensivos en materia prima donde ésta representa más de la mitad del costo total:

- Los rollizos con un diámetro entre 15 y 18 centímetros son destinados a los aserraderos, donde se realiza la ***primera transformación*** mecánica, es decir, el proceso de aserrado (corte con sierra), a partir del cual se obtiene madera aserrada (aproximadamente entre el 40 % al 45 % de la materia prima), pequeños trozos de maderas o chips, corteza y aserrín. El proceso de la madera aserrada continúa con el secado y cepillado, cuyo destino principales la industria de remanufactura de la madera, de la construcción y del mueble.
- La ***segunda transformación*** de la madera sólida comprende la industria de las remanufacturas de madera, entre las que se incluyen las maderas perfiladas, blanks, blocks, fingerjoint, molduras, listones, machimbres, productos para construcción (ventanas, puertas, pisos) y otros objetos de adorno, instrumentos musicales, herramientas de madera y la fabricación de muebles y sus partes. Las astillas o chips que surgen de estos procesos de transformación de estos rollos, se destinan a la producción de tableros reconstituidos, pasta celulósica y generación de energía. La corteza y el aserrín son utilizados para producir energía que habitualmente se aplica en el proceso de secado de la madera.
- Los rollizos con mayor diámetro, mediante el debobinado (corte rotativo con cuchillas) o faqueado (corte plano con cuchillas) se convierten en láminas o chapas de madera, para la fabricación de tableros compensados o contrachapados. De este proceso también se obtienen astillas, chips y corteza para la generación de energía.

A partir de la **madera triturable** se enlazan los siguientes procesos, los cuales son capital intensivo:

1. Por medio de un proceso de compresión se obtienen distintos tipos de tableros reconstituidos: de partículas o aglomerado, de fibra de mediana densidad (MDF), de fibra de alta densidad (hardboard) y de fibra orientada (OSB). Dichos tableros son empleados en la fabricación de muebles y, excepto los MDF, en la industria de la construcción, en especial, los OSB, como perfiles estructurales por su elevada resistencia.
2. De la transformación química de la madera triturable se obtiene pasta celulósica, que en una segunda transformación se convierte en papel. Cabe destacar que el papel se produce tanto a partir de pasta celulosa como de papel reciclado y otras fibras. Los distintos tipos de papel se pueden clasificar en culturales (diarios, impresión y escritura tanto encapado como sin encapar²), industriales (para corrugar, kraft, cartulinas, impermeables, embalaje, etc.) y domésticos (papeles tissues, servilletas, toallas, higiénico, entre otros). Adicionalmente, existen otros tipos de papel como el celofán, fotográfico, entre otros.
3. Dada su condición de material combustible, la madera luego de un proceso bioenergético es transformada en energía. La bioenergía es la conversión de biomasa en energía la cual comprende todos los recursos dendroenergéticos y agroenergéticos. Los recursos dendroenergéticos son: la leña, el carbón vegetal, los residuos forestales, el licor negro y cualquier otra fuente energética de origen arbóreo. Es importante señalar que es posible producir grandes cantidades de combustible a partir de los bosques y los residuos de los aserraderos.
4. La industria del mueble de madera es muy heterogénea, ya que se caracteriza por utilizar una gran diversidad de materias primas (tableros, maderas macizas de bosques de cultivo y nativas, nacionales e importadas), por poseer una amplia distribución geográfica, por proveer de una diversidad de productos finales dirigidos a una gran variedad de segmentos y mercados diferenciados, así como también a distintas formas de eslabonamientos productivos.

5. El proceso de impregnación de postes y madera emplea equipos autoclave para la aplicación de productos químicos, con el fin de prolongar la vida de la madera al aire libre, ejemplos son los postes de líneas telefónicas, eléctricas y de cable, y la madera aserrada para la construcción. En este proceso tradicionalmente se utilizaba creosota, sin embargo en la actualidad, se aplican sales del tipo cromo–cobre–arsénico (CCA) en diferentes concentraciones según el uso en interiores, exteriores cubiertos o intemperie.

Industrias de primera y segunda transformación de la madera

Las **industrias forestales de primera transformación** son aquellas que partiendo de una producción primaria (madera en rollo, por ejemplo) elaboran productos finales o intermedios que se suministran a otras industrias como materia prima para la elaboración de productos finales. Es decir, que se convierten a través de un proceso de transformación física o química en un nuevo producto o bien en materia prima que puede ser utilizada en otras industrias de transformación.

Las **industrias forestales de segunda transformación** son las que elaboran productos finales a partir de su propia materia prima o de los productos intermedios de las industrias de primera transformación.

En la Figura I.3 se realiza la clasificación de industrias de primera transformación de la madera e industrias de segunda transformación de la madera:

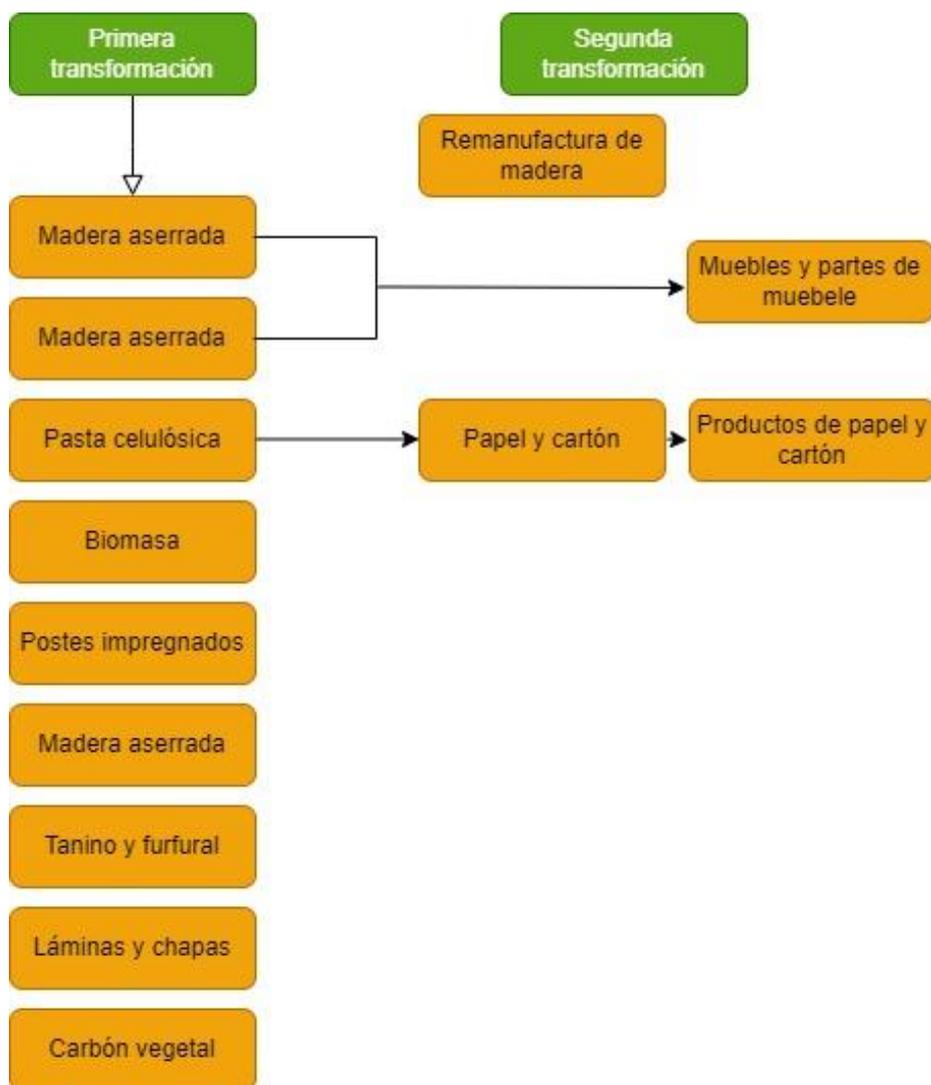


Figura I.3. Primera y segunda transformación de la madera. Fuente propia adaptada de Gorzycki y Ruggiero (2016).

Bibliografía

1. Alfonsín, L. M. 2023. La foresto industria en Argentina. Oportunidades, desafíos y líneas de acción para una estrategia productiva sectorial. Documentos del Plan Argentina Productiva 2030, N° 38.
2. Demers, Paul; Teschke, Kay. 2001. Directores Capítulo 7.1 INDUSTRIA DE LA MADERA. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Subdirección General de Publicaciones, España.
3. FAO. 2022a. Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy. Documento de trabajo N° 31.

Capítulo II

Industria del aserrado de la madera

Autores: Rolando Schimpf Schneider – Soledad Cordero Vega

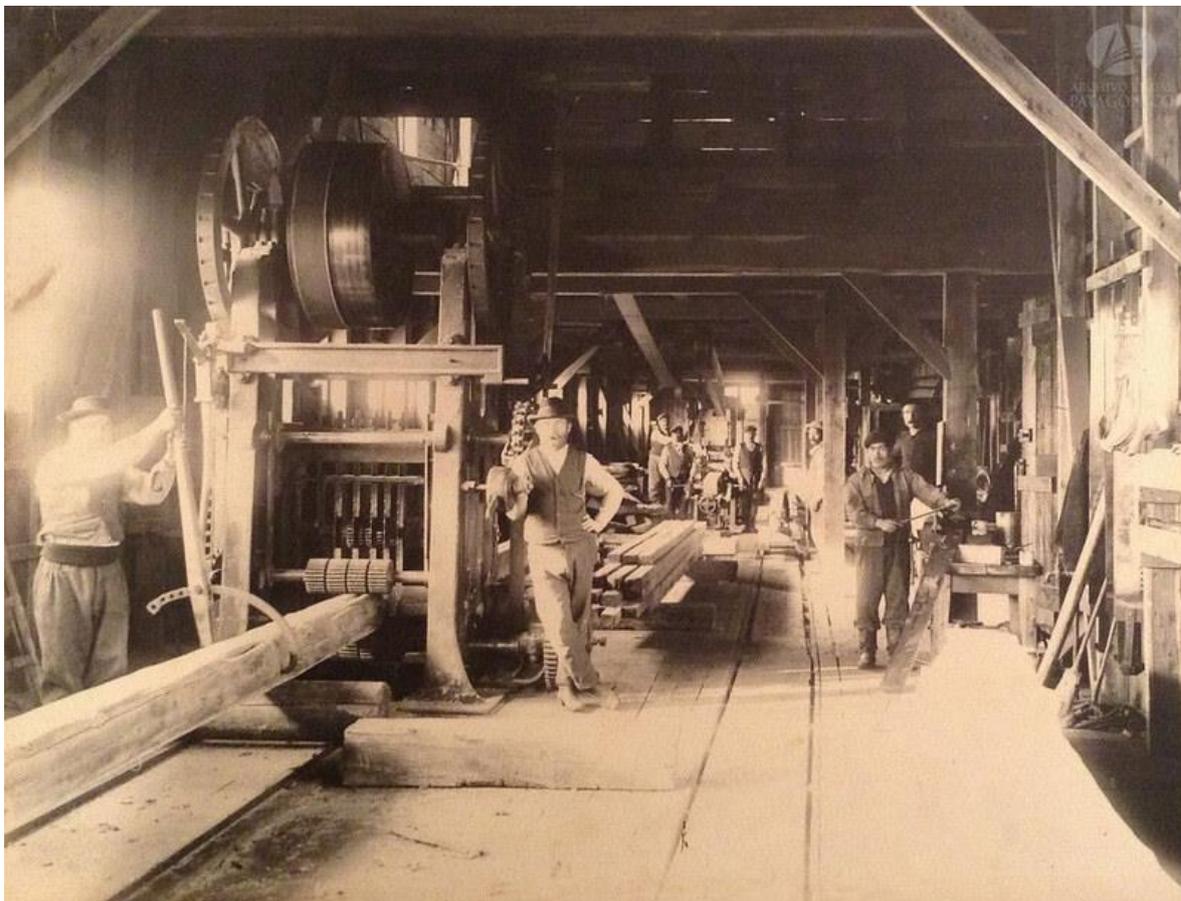


Figura II.1. En los inicios las maquinarias eran enormes y rudimentarias.
Autor: Archivo Visual Patagónico.

La industria del aserrado ha existido en formas sencillas desde hace siglos (XII y XIII), con la construcción de las primeras **sierras alternativas de una hoja**, cuya fuerza motriz era proporcionada por la rueda de un molino hidráulico. El sistema de transmisión de esta fuerza motriz se perfecciona en el siglo XV con la aparición del sistema de biela manivela, el cual permite transformar un movimiento circular uniforme en un movimiento rectilíneo alternativo. En el siglo XVI en Europa se comienza a utilizar las **sierras alternativas múltiples** con una capacidad de producción limitada por la potencia entregada por el molino de agua, con un máximo de 10 KW, donde gran parte de esta potencia se perdía en los sistemas de transmisión

mecánica y en particular en los sistemas de engranajes. Recién en la segunda mitad del siglo XVIII aparece en Inglaterra **la sierra circular** y a principios del siglo XIX en Francia, **la sierra huincha**. A finales del siglo XIX, con la máquina de vapor y el perfeccionamiento de los sistemas de transmisión sobre diseño de engranajes nace la industria de aserrado en Europa y Norteamérica (Devlieger Sollier y Baettig, 1999).

Fue en estas últimas décadas donde se han producido importantes avances tecnológicos con la introducción de la electricidad, la mejora en el diseño de las sierras y, más recientemente, la automatización de la clasificación y otras operaciones. (Demers y Teschke. 2001).

En la actualidad, la industria del aserrado continúa evolucionando con la incorporación de tecnologías de escaneo y optimización computarizada, buscando mejorar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental.

Tecnología de aserrado y diseño de aserraderos

El diseño de un aserradero es un proceso clave que impacta directamente en la eficiencia de producción, el aprovechamiento de la materia prima y la calidad del producto final. La planificación debe considerar múltiples factores, desde la disposición del flujo de trabajo hasta la selección de maquinaria y equipos auxiliares. Se estructuran en diferentes centros de trabajo organizado de forma tal de optimizar la producción.

El avance tecnológico en el sector se orienta a aumentar la velocidad de corte y alimentación, optimizar el rendimiento mediante software de control y automatización, reducir las pérdidas de material a través de técnicas de escaneo y modelado computacional.

Materia prima

La materia prima para la operación del aserrado es muy importante y está directamente relacionada a la calidad de las tablas que se obtienen siendo el producto final en esta industria. Por ello, las buenas prácticas en las técnicas de plantación, poda y raleo son

relevantes ya que afectan significativamente sobre la calidad de la madera. (Devlieger Sollier y Baettig, 1999).

Un manejo forestal adecuado no solo favorece la eficiencia en el aserrado, sino que también optimiza el aprovechamiento del recurso, minimizando el desperdicio y mejorando la rentabilidad.

Cabe destacar que la industria del aserrado requiere una planificación eficiente en cada etapa del proceso.

Almacenamiento de trozas

El propósito fundamental del almacenamiento de trozas es garantizar un stock adecuado que permita al aserradero operar de manera continua, alcanzando la capacidad de producción prevista.

Estas canchas, por otro lado, cumplen funciones de selección, cubicación y clasificación de las trozas de acuerdo con sus características diamétrica, largos, defectos de formas, presencia de nudos, etc. También se realiza el trozado y el descortezado.

Otro tema de gran importancia es la localización de la playa; debe estar ubicada a una distancia tal, que disminuyan las posibilidades de incendio; se deben tomar medidas de prevención, como cortafuegos alrededor de la playa y así mismo entre pilas.

Para prevenir el ataque de hongos, insectos y la aparición de defectos relacionados con la contracción de la madera, es necesario adoptar diversas medidas de protección para las trozas.

Existen dos tipos de almacenamiento cuya función es básicamente la misma: Cancha de trozas de almacenamiento en húmedo y en seco.

- Almacenamiento en Seco: las trozas se depositan en un patio debidamente estabilizado, ya sea para uso temporal o permanente. Es importante que el terreno tenga una pendiente adecuada y un sistema de drenaje eficiente. La nivelación y el

refuerzo de la superficie mejoran su resistencia, permitiendo soportar cargas elevadas (Fig. II2).

- Almacenamiento en Húmedo: Este método se emplea para trozas que deben almacenarse durante períodos prolongados. Se basa en mantenerlas saturadas, con un contenido de humedad que oscila entre el 70% a 80% (Fig. II3). En este método se destacan los siguientes beneficios: 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 y favorece el descortezado al hidratar las células del cambium y acondiciona la madera para el aserrado principal, disminuyendo la resistencia al corte en trozas demasiado secas (Keil, 2022).



Figura II.2. Cancha de trozas de almacenamiento en seco.



Figura II.3. Cancha de trozas de almacenamiento en húmedo. Sistema de aspersión.

El tamaño del patio de trozas queda establecido en función de la demanda máxima de materia prima del aserradero.

Tanto la dimensión como la disposición de la cancha dependen de las características de la materia prima y del método de clasificación utilizado. La distribución de las trozas se realiza considerando factores como diámetro, longitud, especie, calidad y el tiempo de almacenamiento.

Maquinaria para el aserrado

Las máquinas de aserrío son equipos esenciales en la industria maderera; están diseñadas para transformar trozas en piezas con dimensiones específicas. Existen diversos tipos, cada uno con aplicaciones específicas según el tipo de madera y el objetivo del proceso. Podemos distinguir dos grupos:

Sierras principales: estas sierras permiten realizar la apertura de las trozas y los primeros cortes (Fig. II.4).

Máquinas para el reaserrado: proceso de obtención de nuevas piezas aserradas a partir de piezas que han sido producto de un primer corte de una troza original (Fig. II.5).

También se encuentran las máquinas y equipos auxiliares, que aunque no realizan cortes en la madera, desempeñan un papel fundamental en la optimización del proceso de aserrado. Es común disponer de equipos como descortezadoras, sistemas de volteo y giro de trozas, cintas transportadoras, astilladoras, sistema de baño antimancha y equipos para el mantenimiento de las herramientas de corte, entre otros.

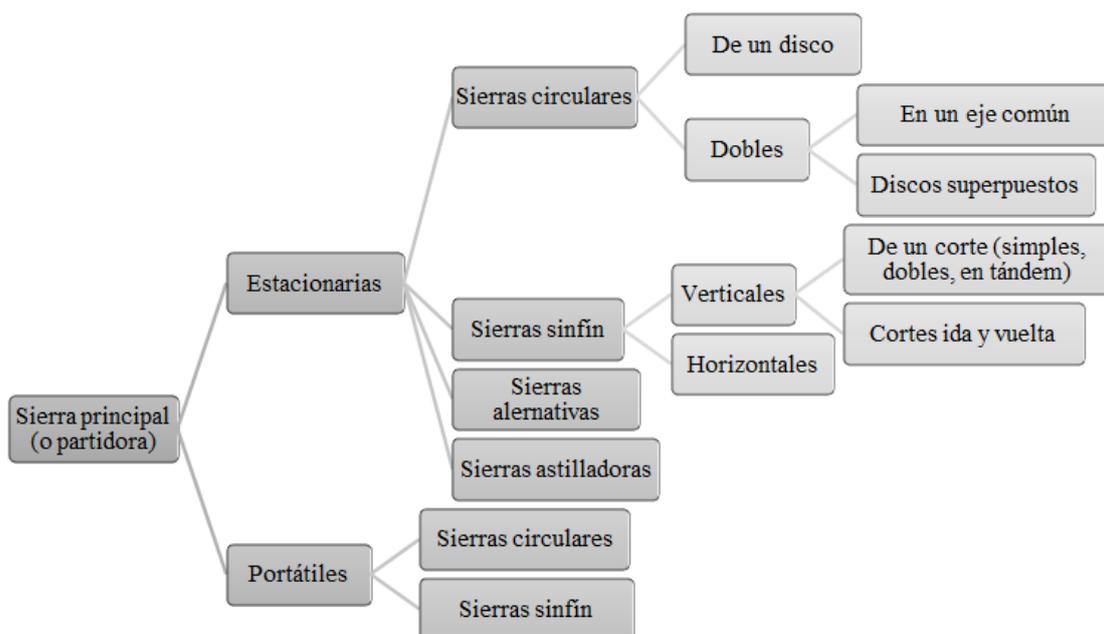


Figura II.4. Clasificación de las sierras principales.

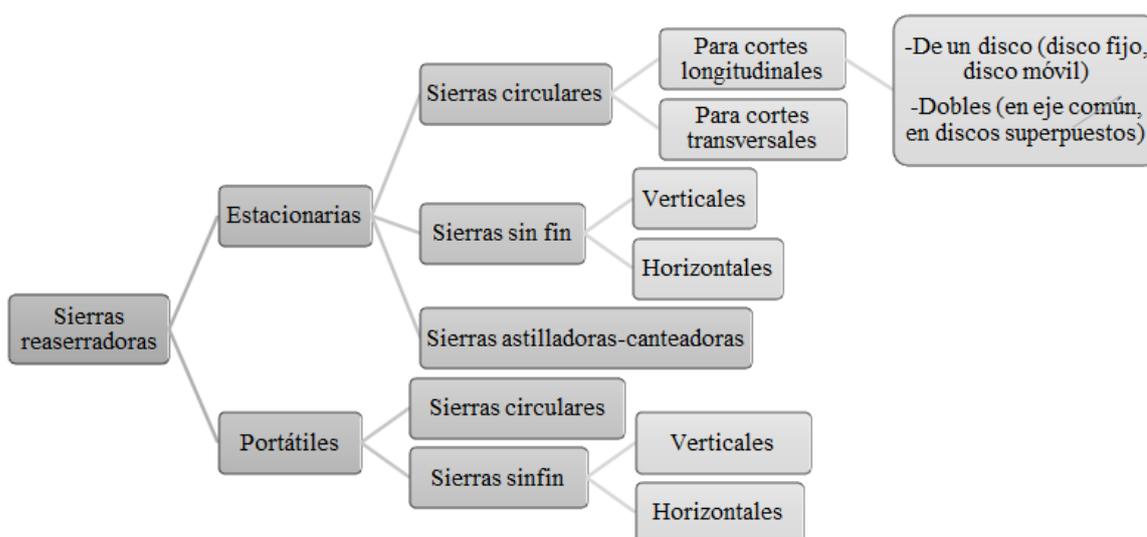


Figura II.5. Clasificación de las sierras reaserradoras.

Sierra alternativa múltiple

Este equipo está compuesto por un bastidor o marco en él se montan múltiples hojas de sierra. La troza es transportada mediante cadenas o un carro especial y asegurada con rodillos dobles, ubicados tanto antes como después del proceso de aserrado.

El funcionamiento de estas sierras se basa en un movimiento alternativo de vaivén, de tipo ascendente y descendente, generado por un mecanismo de biela – manivela que convierte el movimiento circular en un desplazamiento vertical (Fig. II.6).

Durante el descenso, las hojas cortan la madera mientras avanzan. La velocidad de avance varía entre 2 y 15 mm por descenso, dependiendo de si se trabaja con madera dura o blanda, respectivamente.

Para garantizar un corte preciso, las hojas no deben presentar movimiento laterales, lo que implica que sus planos de corte deben ser paralelos a la dirección de avance del sistema de alimentación. Las hojas deben montarse simétricamente respecto al bastidor que las contiene.



Figura II.6. Sierra alternativa

Sierra circular

Las sierras circulares son máquinas simples y versátiles que pueden utilizarse en diversas etapas del proceso de aserrado.

El órgano de corte de la sierra circular está compuesto por un disco dentado en su periferia, cuyos dientes están reforzados con widia, un material de mayor dureza que el cuerpo del disco. Este disco se encuentra montado sobre un eje, el cual transmite la potencia al motor (Fig. II.7).



Figura II.7. Sierra circular

Otros componentes claves incluyen el motor, los dispositivos de protección para el operario y el separador de tablas aserradas, este último ubicado en la parte superior del disco. Su función es evitar que las tablas recién cortadas se junten sobre la hoja de sierra, lo que podría provocar recalentamiento y quemaduras en la madera (INFOR, 1989).

Sierra sinfín

Esta sierra se utiliza en diferentes etapas del aserrado, como sierra principal o de cabecera para el primer corte, como sierra desdobladora para los cortes posteriores (Fig. II.8 y Fig. II.9).

Cuando la sierra se utiliza como principal, su operación se gestiona desde un pupitre o cabina de mando, donde se controlan aspectos tales como posicionamiento 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.

El órgano de corte de la sierra sinfín está compuesto por una cinta dentada sobre dos volantes. Según la disposición de estos volantes, la sierra se clasifica en: vertical, horizontal e inclinada.



Figura II.8. Sierra sinfín horizontal portátil



Figura II.9. Sierra sinfín vertical.

Rendimiento

El rendimiento en un aserradero se define como la proporción de madera aserrada obtenida a partir de un volumen dado de trozas. Se expresa en porcentaje y es una medida de la eficiencia.

Debemos tener en cuenta varios factores que afectan el rendimiento, entre ellos podemos destacar el diámetro y calidad de las trozas, el esquema de corte, el nivel de mantenimiento del equipo y por su puesto la experiencia del operador.

En cuanto al sistema de aserrado existe una amplia gama, que se pueden clasificar dependiendo los anillos de crecimiento y los radios leñosos; respecto al eje longitudinal del rollo; según continuidad de los cortes y por último sistemas especiales por defectos (Fig. II.10).

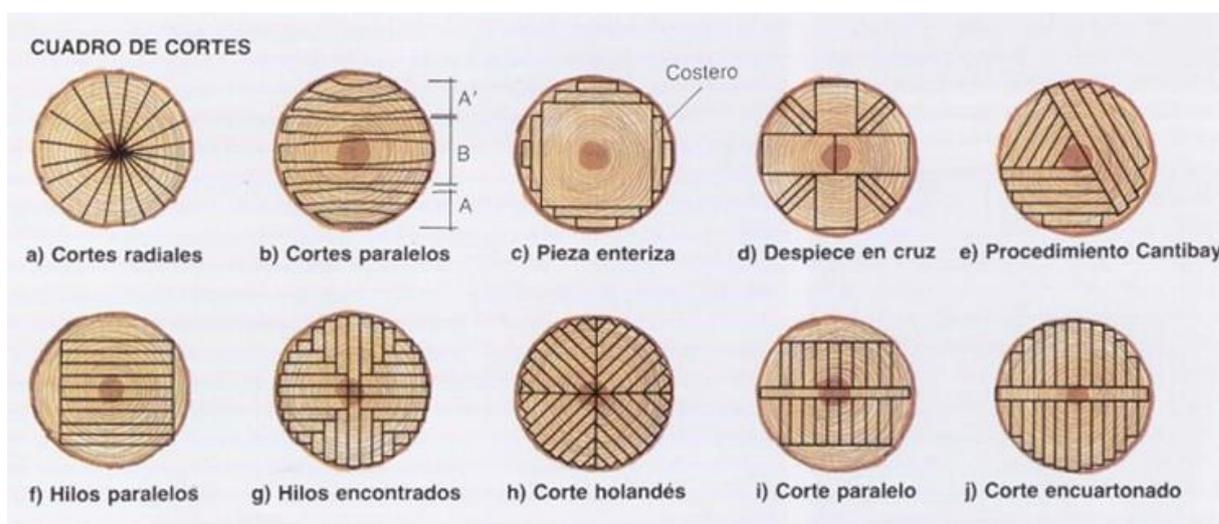


Figura II.10. Mecanizado de madera y derivados. Juan Miguel Pascual Cortés.
IC Editorial.

Concluyendo, la industria del aserrado es un pilar importante dentro de la forestoindustria en nuestro país, ya que no sólo abastece de materia prima a sectores estratégicos como la construcción y la fabricación de muebles, sino que también genera empleo e impulsa el desarrollo productivo de varias regiones.

En Argentina, esta industria ha evolucionado gracias a la incorporación de nuevas tecnologías, mejorando la eficiencia productiva y reduciendo el desperdicio de materia prima. Cabe destacar que, para fortalecer su competitividad y asegurar su evolución, es

fundamental continuar invirtiendo en tecnología, capacitar a los trabajadores y promover prácticas sostenibles que garanticen el uso responsable de los recursos forestales.

Bibliografía

1. Cortés Juan Miguel Pascual; Zambrana Miguel Ángel Acedo. Mecanizado de madera y derivados. mamd0209 - trabajos de carpintería y mueble. IC Editorial.
2. 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.
3. Keil, GD, Spavento, EM y Raffaelli, N. (2022). Industrialización de la madera: Transformación mecánica y química: tecnologías y puesta en valor sustentable (GD Keil, EM Spavento, & N. Raffaelli, Eds.). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
4. INFOR. (1989). Principios de organización y operación del aserradero. Manual N°16. Concepción, Chile: Corporación de fomento a la producción.

Capítulo III

Industria del secado de la madera

Autor: Jorge Goles

La madera es la materia primera para la Industria Forestal. De acuerdo a la capacidad de absorción y eliminación del contenido de agua los materiales se clasifican en:

- **higroscópicos**, por ejemplo madera, papel, cereales, etc. y los
- **no higroscópicos**, por ejemplo rocas, hierro, vidrio, etc.

Existe una gran diferencia entre la cantidad de agua en el árbol vivo y la que posee la madera para su correcta puesta en servicio. Por esta razón, se hace necesario la eliminación del agua sobrante antes de proceder a la fabricación de los productos finales (mobiliario, estructuras, pisos, elementos de carpintería, etc.). La eliminación previa de estas aguas excedentarias es por las siguientes razones:

- Para reducir los cambios dimensionales de la madera en servicio.
- Para evitar las deformaciones (abarquillado, alabeado, curvado) que aparecen como consecuencia de su secado.
- Para facilitar la mecanización.
- Para eliminar el riesgo de ataques por hongos.
- Para reducir el peso en el transporte.

Secar quiere decir eliminar el agua que está en exceso. Para conseguir el secado de la madera rápidamente son necesarias las siguientes tres acciones:

1. Suministrar el calor necesario para producir la evaporación del agua.
2. Provocar el desplazamiento de la humedad desde el interior de la pieza hasta la superficie.
3. Arrastrar de la superficie de la pieza el vapor de agua resultante de la evaporación

La segunda condición es la más compleja y la que más condiciona al proceso de secado, estando influenciado por la estructura anatómica de la madera. La práctica

demuestra que las numerosas diferencias anatómicas existentes entre las especies de madera, tienen una clara repercusión sobre el flujo de humedad por su interior. Dentro del flujo de humedad que se pone en movimiento en el interior de la madera como consecuencia del secado, se distingue el flujo de agua libre, de difusión del vapor de agua y de agua ligada. Existe otro flujo, solo en el caso de temperatura por encima del punto de ebullición, de agua impulsada por una sobrepresión interior (generada por la ebullición interna del agua libre).

El flujo longitudinal del agua libre está favorecido por el número, tamaño y continuidad de los elementos anatómicos longitudinales. En este sentido será mayor en las frondosas de anillos difusos (álamo, sauce, etc.) que en las de anillos porosos (paraíso, roble, etc.).

En contraposición a lo anterior mencionado, en la difusión del vapor de agua, las porosidades no influyen en el flujo. Es por esto que la difusión de vapor de agua junto con la del agua ligada en la madera, se realiza mayoritariamente a través y por el interior de la estructura de la pared celular.

Por consiguiente, la densidad de la madera juega un papel importante en el proceso de difusión. A medida que aumenta la densidad, las paredes celulares resultan más gruesas y los lúmenes más delgados, por lo que la humedad, sea en forma de vapor o de agua ligada circulará más lentamente por el interior de esta estructura.

De todo lo anterior se puede deducir que:

- el secado es más rápido en las maderas livianas que en las pesadas.
- las coníferas (pinos, abetos, etc.) de crecimiento rápido secan antes que las de crecimiento lento (incluso de la misma especie).
- las frondosas de anillos porosos (paraíso, roble) se comportan de manera opuesta al patrón antes citado para las coníferas, ya que su velocidad de secado es mayor conforme menor sea el grosor del anillo de crecimiento (menor densidad).
- las frondosas, especialmente las de anillos porosos, secan longitudinalmente (por las testas) más rápidamente que las coníferas (mayor riego, por tanto de fendas detesta).

- las pérdidas de humedad por las caras radiales es más rápida, que por las caras tangenciales. De ahí que las piezas denominadas “tangenciales” (anillo de crecimiento formando un ángulo con las caras inferiores de 45°) sequen más lentamente que las radiales (Fernández y Golfín, 1998) (Figura III.1).

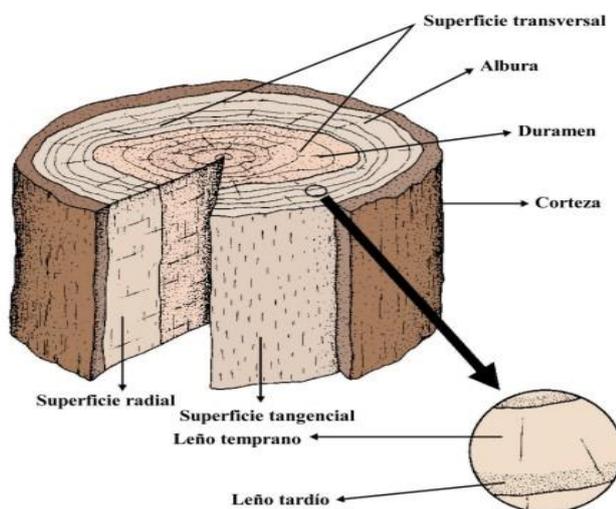


Figura III.1. Rodaja de madera mostrando caras de corte. Fuente: Manual del Grupo Andino (1998).

Propiedades que influyen en la relación agua - madera

El secado está relacionado con las propiedades de la madera como son la humedad, la contracción y la densidad.

La Densidad. Es un parámetro muy importante en el secado de la madera, entre más densa es una madera, más masa hay que deshumidificar y por ende el secado demora más tiempo. Existen excepciones a la regla, que son especies de densidad alta pero poseen un mejor comportamiento al secado que especies menos densas. La densidad es útil no sólo para darnos una idea de qué tan compacta es una madera, sino que también a través de unos cálculos sencillos nos permite conocer el peso de una carga de madera.

La densidad se determina con la siguiente fórmula:

$$D = M/V$$

Dónde:

D: densidad

M: masa de la madera

V: volumen de la madera

Contracción e Hinchamiento. El objetivo práctico de cualquier proceso de secado, es el de secar la madera a un contenido de humedad tal que se encuentre en equilibrio con las condiciones ambientales promedio del lugar en que será expuesta, con el fin de eliminar o minimizar el movimiento de la madera (contracción o hinchamiento). La madera mantiene una estrecha relación con la humedad a través de su vida útil. Esto es, responde a las variaciones de humedad relativa del ambiente, presentando cambios en sus dimensiones: se hincha o contrae de acuerdo con la ganancia o pérdida de humedad, y son expresados como un porcentaje del cambio dimensional respecto a la dimensión original (antes de que el cambio ocurra).

La madera es un material anisotrópico, o sea, que sus propiedades varían de acuerdo a la dirección en que se consideren. En la madera esas direcciones son la longitudinal o paralela al grano, la radial o paralela a los radios y la tangencial o tangente a los anillos de crecimiento. En la madera las contracciones e hinchamientos se manifiestan en magnitud diferente en esas direcciones; siendo mayores en la dirección tangencial que en la radial y esta, a su vez, mayor que la longitudinal. Por lo tanto, la madera no solamente se verá expuesta a una disminución o incremento de su volumen (o en sus dimensiones), sino que también sufrirá distorsiones en su forma.

El hinchamiento lineal máximo (α) de los cuerpos de prueba fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_i = (L_h - L_s) / L_s \times 100$$

Donde α_i : hinchamiento lineal máximo para las direcciones axial, radial, y tangencial, expresado como porcentaje.

La humedad de la madera

La humedad o el contenido de humedad se define como el cociente entre la masa de agua presente la masa anhidra de la madera, expresado en tanto por ciento

$$h: (M_h - M_s) / M_s \times 100$$

Donde:

h: Humedad de la madera (%).

M_h: Masa de la madera húmeda.

M_s: masa de la madera totalmente seca (anhidra).

La humedad de la madera en estado completamente verde presenta grandes variaciones de una especie a otra y también según la posición que ocupe dentro del árbol y la época de corta.

La manera en la que el agua se encuentra en la madera es diferente. Cuando el árbol se encuentra recién apeado, la madera presenta un alto contenido de humedad, ya que el agua se encuentra en el lumen de las células y es retenida por unas fuerzas muy pequeñas. En este momento se dice que el agua se encuentra en forma de **agua libre**, con contenidos de humedad superiores al 30 %. Si la madera continúa secándose, el agua presente en el lumen desaparece, quedando solamente en las paredes celulares como consecuencia de una fuerza de adhesión superficial. Se trata de **agua de impregnación**.

Finalmente la madera tiene **agua de constitución**, siendo aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que la constituyen. No se puede eliminar si no es destruyendo al propio material como, por ejemplo, quemándola.

Punto de Saturación de la fibra (PSF)

Se entiende por PSF, al punto en el cual ya no existe agua libre en el lumen celular, se considera el 30 % de humedad de la madera, a partir de esta fase comienzan los cambios dimensionales

Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH)

El valor del contenido de humedad de la madera en equilibrio con el entorno de temperatura y humedad relativa se denomina humedad de equilibrio higroscópico (HEH). En la Figura III.2 se puede observar el ábaco para determinar la HEH en distintas regiones del país.

Se puede analizar el ábaco para determinar la HEH en diferentes regiones del país.

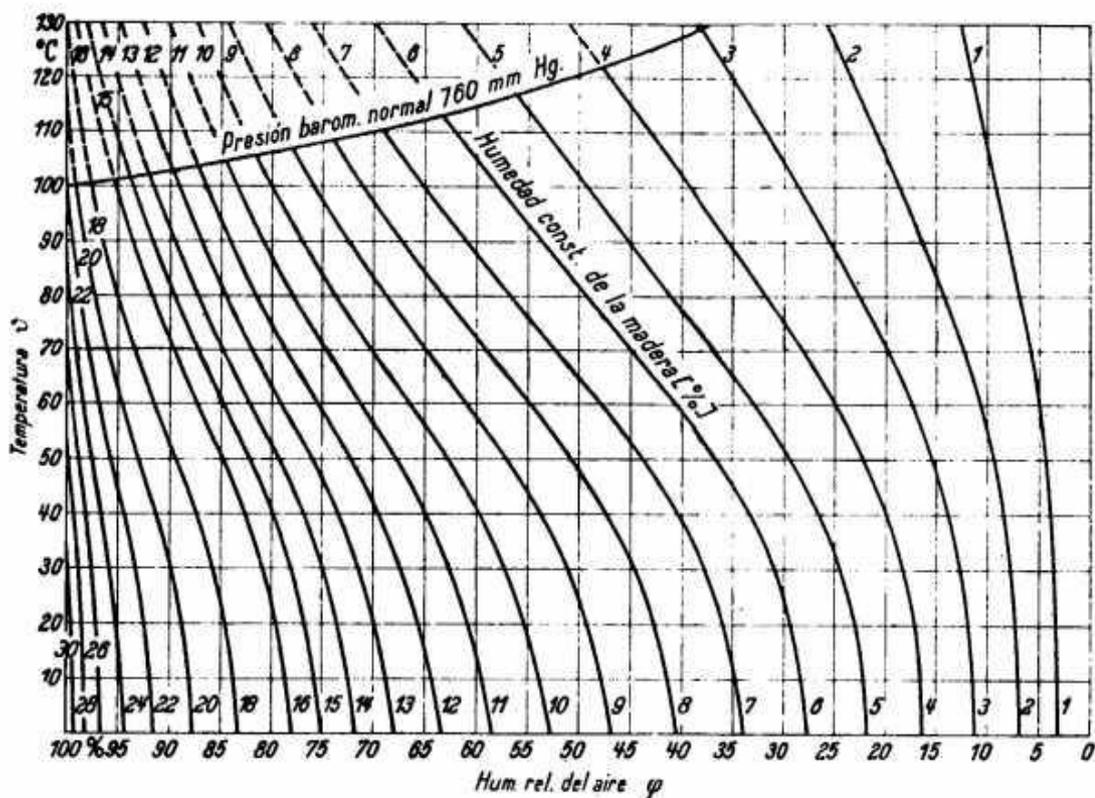


Figura III.2. Tabla de HEH para distintas regiones de Argentina. Fuente: Coronel, 1994.

Variables que afectan el proceso de secado

Propiedades del aire, sus características: temperatura, humedad relativa, capacidad de absorción, velocidad y presión, etc. que influyen en el proceso

Temperatura. Es una medida de la energía calórica almacenada en un cuerpo.

- TEMPERATURA SECA: Temperatura de Bulbo Seco
- TEMPERATURA HÚMEDA: Temperatura de Bulbo Húmedo
- TEMPERATURA DE ROCÍO: Temperatura para lo cual el vapor de agua contenido en el aire comienza a condensarse en forma de agua líquida.

Medidas de la temperatura. Escalas Celsius y Fahrenheit.

$$\text{Relación } ^\circ\text{C}/100 = ^\circ\text{F}-32/180$$

Termómetros, psicrómetros (Figura III.3)

- Termómetro de Bulbo de Hg, Etanol, Tolueno, etc.
- Pirómetros Termoeléctricos: Relación tensión-temperatura (Fe-Constantan).

- Pirómetro de resistencia-sonda de platino: Relación resistencia eléctrica-temperatura.

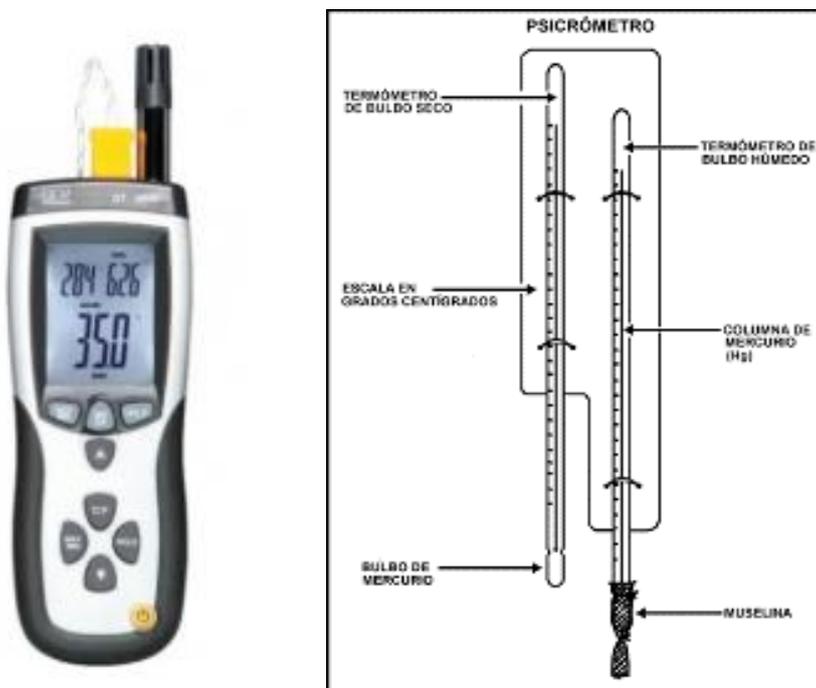


Figura III.3. Psicrómetro digital y manual. Fuente: <https://patagoniatools.com.ar/> / Coronel, 1994.

Humedad relativa y humedad absoluta

Se define por **humedad relativa** al cociente en tanto por ciento de la presión de vapor y la presión de vapor saturado a una temperatura dada.

Se define **humedad absoluta** a la masa de agua asociada a cada kg de aire seco o como es normal referido a volumen, es decir a m^3 . Mide la capacidad de absorción de vapor de agua residual a una temperatura y humedad relativa.

Diferencia Psicrométrica. Se basa en la medición de 2 temperaturas: una de bulbo húmedo y una de bulbo seco. La diferencia entre ambas medidas conjuntamente con la temperatura de bulbo seco define la humedad relativa del aire para dichas temperaturas. Dichas temperaturas se pueden obtener de tablas psicrométricas.

Velocidad del aire. La ventilación o circulación del aire fresco a través de la pila de madera y la expulsión de la humedad, son condiciones necesarias para asegurar la remoción del exceso de humedad dentro del secadero y así mantener las condiciones de humedad relativa deseadas. La velocidad del aire desempeña un papel importante

en el secado. A mayor velocidad del aire mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa. Por tal razón para asegurar el secado rápido y uniforme es indispensable una circulación de aire fuerte y regular.

Gradiente de humedad y temperatura. Son los dos factores que actúan en igual sentido y ayudan a conducir el proceso de secado. La diferencia que se establece entre el contenido de humedad de la madera en el centro y en la superficie, se denominada gradiente de humedad, da origen a la circulación interna del agua del centro a la periferia y es la causa del secado (Fig. III.4).

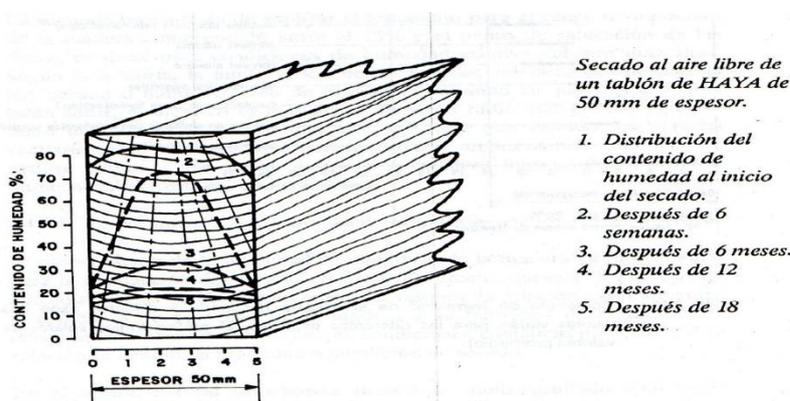


Figura III. 4. Diferencia del contenido de humedad durante el secado en relación al espesor (sección transversal). Fuente: Brunner-Hildebrand.

Procesos de Secado de la Madera

Los aspectos prácticos de más interés referidos a las tecnologías de mayor implementación industrial o con un previsible mayor interés en un futuro inmediato, las tecnologías son:

- Secado al aire libre, natural o estacionamiento
- Secado con aire calefaccionado o en cámara a temperatura $\leq 80^{\circ}\text{C}$.
- Secado en cámara con bombas de calor.
- Secado en cámara por condensación o a temperatura media.
- Secado en cámara a alta temperatura $\geq 100^{\circ}\text{C}$.
- Secado en cámara solar.
- Secado en cámara al vacío.
- Secado en cámara por radiofrecuencia.

Secado al aire libre, natural o estacionamiento. Es la pérdida natural de la humedad, mediante la evaporación del agua, merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del medio ambiente.

Comparado con el secado artificial presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. *Reducido monto de inversión*
2. *Escasos gastos de mantenimiento y funcionamiento.*
3. *No requiere personal capacitado.*
4. *Plazos de secado prolongados (aproximadamente 3 meses por pulgada de espesor, según zona del país; aunque en la Facultad de Ciencias Agrarias de Cuyo se ha secado en verano en 1 mes, con 1 pulgada de espesor).*
5. *Mayores costos financieros por capital inmovilizado.*
6. *No se puede secar madera por debajo del equilibrio higroscópico correspondiente al lugar.*
7. *No se pueden corregir defectos que aparecen durante el secado.*

Playa de estibado o estacionamiento (Figura III.5)

Ubicación: se localizará en concordancia con las vías de acceso (rutas, calles), separada de arboledas, muros, edificios y otros obstáculos que impidan la libre circulación del aire.

Terreno: deberá ser parejo, fácil de transitar con los equipos para el movimiento de las maderas. El suelo será permeable, con buen escurrimiento y desagües para evitar la acumulación del agua de lluvia. Se mantendrá limpio de malezas, desechos y cualquier otro tipo de residuos que limite la libre circulación del aire.

Declives y drenajes: resultan indispensables, pues el agua acumulada en el terreno retarda el secado de la madera al aumentar la humedad relativa del aire, especialmente cuando la acumulación se produce debajo de las estibas. Una pendiente del 2 al 5 %, según el tipo de suelo, puede ser suficiente para lograr un buen escurrimiento del agua.

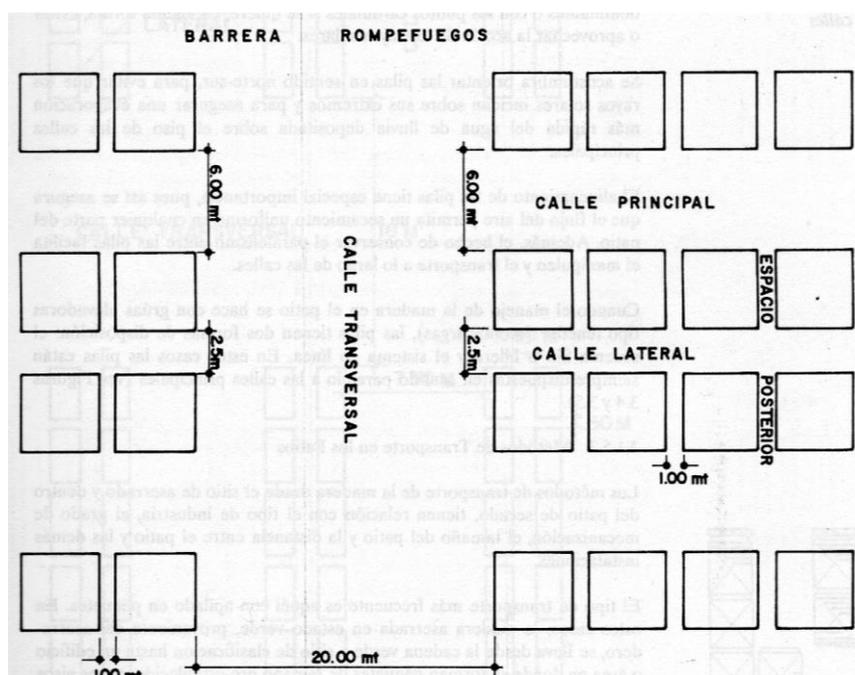


Figura III.5. Disposición del patio de secado al aire libre con apilado manual, orientación y tamaño. Fuente: Fernández - Golfín (1998).

Apilado horizontal o estiba de madera aserrada (Figura III.6)

Estiba: es el conjunto de maderas (tablas, tirantes, listones, etc.) reunido según normas técnicas, que está en condiciones de sufrir un proceso de secado con el mínimo de desperfectos. La forma de la estiba depende del tipo de pieza que se estaciona: en el caso de tablas, tablones, tirantes largos, presentará la forma de un paralelepípedo con la medida mayor (largo de la estiba) perpendicular a la vía de acceso. Para obtener un mejor secado de la madera, se aconseja que las estibas se preparen con material de la misma especie forestal, del mismo espesor, con similar grado de humedad, de igual longitud.

El *largo de las estibas* dependerá de la longitud de las piezas a secar. Pueden aplicarse a maderas con distintos largos, siempre que los extremos de todas las piezas, tengan sus correspondientes apoyos.

La *altura* se recomienda que esta medida sea uniforme en todas las estibas que conforman la playa de estacionamiento y que no exceda los 5 m. Alturas mayores

provocan un secado irregular dentro de la estiba, pues el aire seco encontrará mayores dificultades para descender.

El *ancho* se debe aceptar como principio general que: “cuanto más ancha sea la estiba, menor será la velocidad de secado”. Las medidas pueden oscilar entre 1,20 m y 4 m, siendo lo más aconsejable que no superen los 2 m como norma general.

Las estibas están conformadas por tres elementos básicos:

Fundaciones: son los soportes sobre los cuales descansan las piezas a secar. La altura de las mismas depende del grado de ventilación que debe dársele a la madera. Generalmente se adopta una altura media de 0,50 m en zonas húmedas y 0,20 m en zonas secas.

Tablillas de separación: son elementos de separación, en sentido vertical, de las piezas estibadas. Su ancho y espesor influyen sobre la marcha del secado, pues modificarán el grado de ventilación dentro de la estiba. En algunos casos las mismas piezas actúan como elementos separadores (el ej. más conocido de esto son las estibas que tradicionalmente se hace en nuestra provincia).

Techos o cubiertas: la madera expuesta a la intemperie sufre las alternativas de humedad y sequedad producidas por las lluvias y la acción directa de los rayos solares. Los techos pueden prepararse con materiales económicos, empleándose costaneras, tablas de descarte, chapas de cartón alquitranado, etc.

Chimeneas: algunas veces es necesario aumentar la circulación vertical del aire dentro de la estiba para lograr un secado más rápido, para lo cual se dejan conductos verticales más anchos que la simple separación lateral de las tablas dentro de cada camada. Estos conductos reciben el nombre de “chimeneas” y generalmente se preparan dejando una separación de 20 a 30 cm entre dos hileras verticales del centro de la estiba.

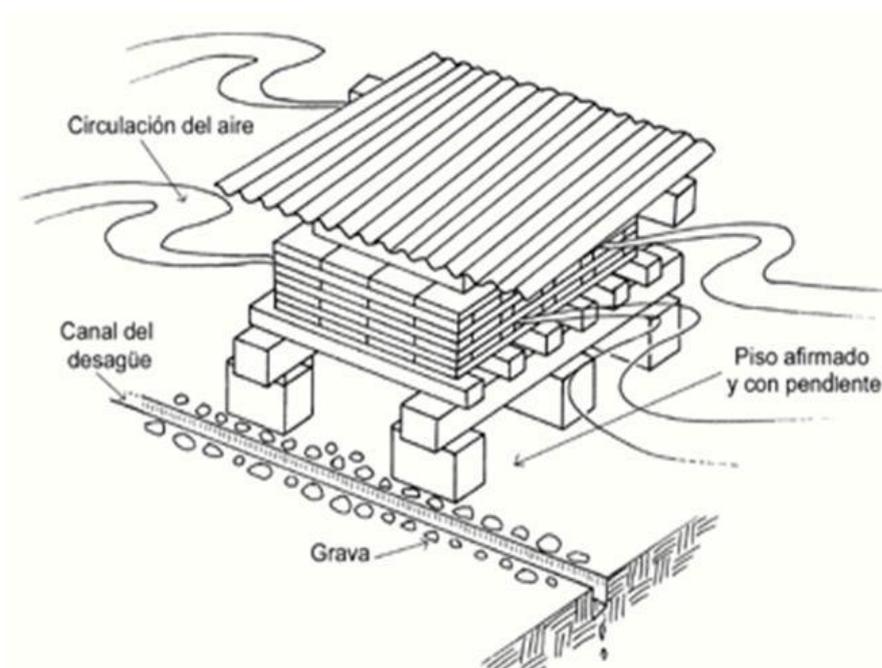


Figura III.6. Ejemplo de estiba de maderas. Fuente: Manual de Secado. Fernández-Golfin (1998).

Secado con aire calefaccionado o en cámara a temperatura $\leq 80^{\circ}\text{C}$

Consiste en el apilado de la madera en naves, equipadas con ventiladores, equipos de calefacción y de regulación de la humedad interior por apertura y cierre de las trampillas de ventilación.

La estructura interior debe ser resistente a la corrosión, las paredes laterales y el techo deben incorporar aislante térmico. La humedad relativa controlada con humidificadores y por cierre y la apertura de las trampillas de renovación del aire interior. Ventiladores para permitir la circulación del aire e intercambiadores de calor para mantener una temperatura interior. El suelo debe ser de hormigón para resistir el tránsito de carga pesada y grande abertura para su carga para el acceso.

Etapas del proceso

1. Fase de elevación inicial de la temperatura.
2. Fase de precalentamiento.
3. Fase de Secado (eliminación del agua).
4. Fase de equilibrado y acondicionamiento final (reacondicionado).
5. Fase de enfriamiento.

Cámara de secado tradicional (Figura III.7)

Consiste de sistema de calefacción, sistema de humidificación, ventiladores sobre falso techo, trampilla de admisión de aire exterior y trampilla de expulsión de aire.

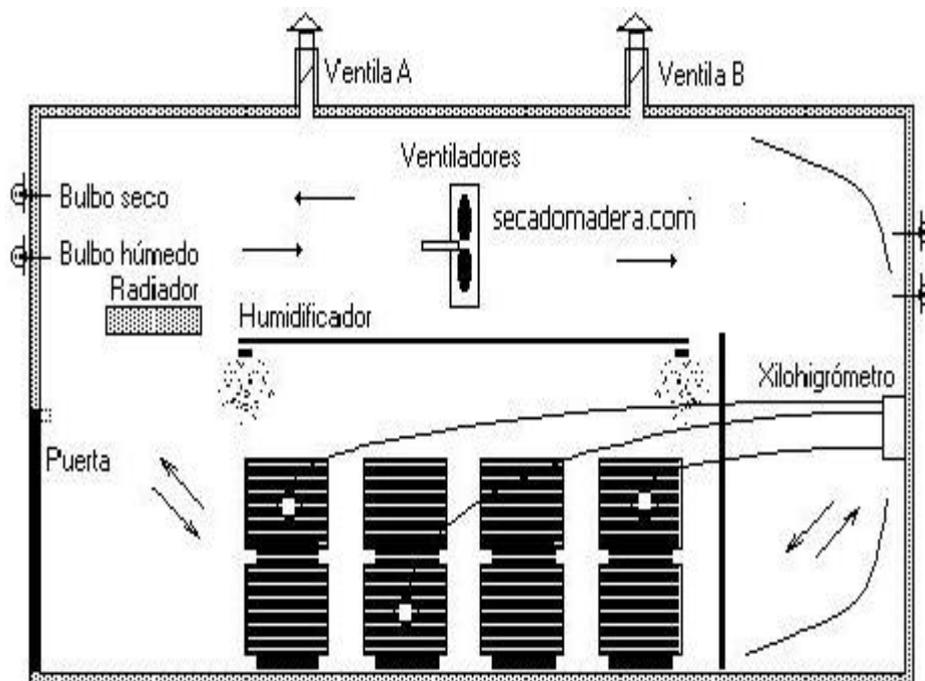


Figura III.7. Cámara de secado tradicional. Fuente: www.secadomadera.com.

Secadero a tradicional a temperatura media ≤ 80 °C

Dentro de este método se pueden considerar dos tipos diferentes de secaderos:

1. **SECADEROS DISCONTINUOS:** donde la madera permanece apilada inmóvil y las condiciones ambientales van variando a lo largo del proceso de secado.
2. **SECADEROS TIPO TUNEL O CONTINUOS:** la madera apilada avanza a lo largo del secadero pasando por sucesivas condiciones ambientales (de acuerdo con el programa previamente aprobado)

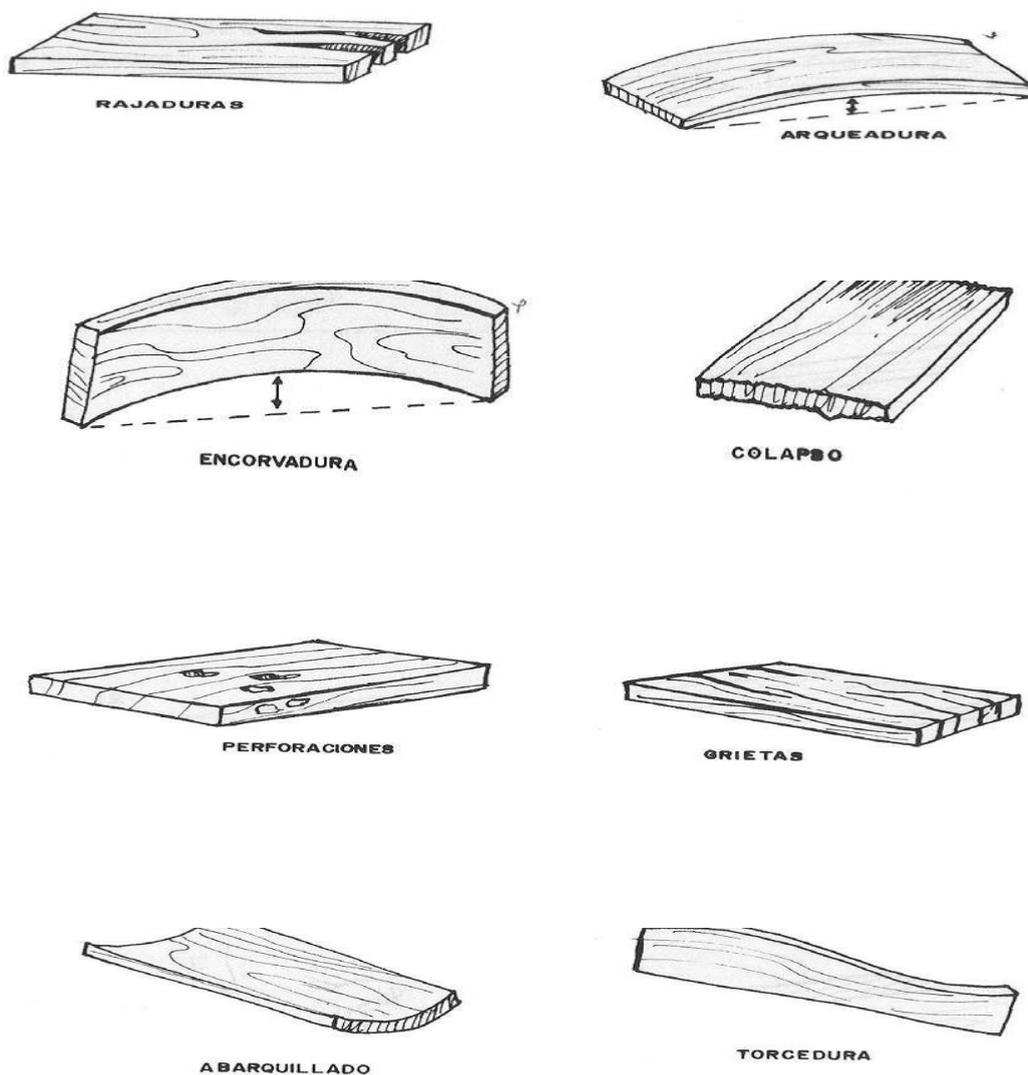
Defectos del secado (Figura III.8)

Figura III.8. Imágenes de defectos en las maderas aserradas. Fuente: JUNAC (1989).

Bibliografía

1. Fernández, F.I.; Golfín Seco, M. 1998. Manual de Secado de Maderas.
2. Ugarte Oliva, J.; Stöffler, K. H. 2017. Manual para Operadores de Secadores Convencionales para Madera.
3. Hildenbrand, R. 1962. Secado de Madera Aserrada. Maschinenau.
4. TUSET, R. y DURÁN, F. 1978. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización.
5. JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1989. Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. 1º Edición. -.

Capítulo IV

Industria de preservación de la madera

Autora: Magalí de los Ángeles Acosta

¿Qué es la preservación de la madera?

La madera es una materia prima importante para el hombre por ser fuerte, ligera, biodegradable, reciclable y muy versátil. Se utiliza para la construcción de casas, muebles, puentes, barandillas, herramientas, durmientes de ferrocarril y postes; además, se puede obtener papel, material de empaque, energía y de sus constituyentes químicos se pueden derivar diferentes productos químicos industriales. Sin embargo, debido a su origen, puede ser susceptible a la degradación causada por agentes abióticos como la luz del sol, agua, viento y por factores bióticos entre los que destacan los insectos, hongos, bacterias. (Carrillo-Parra et al. 2020).

La madera debe protegerse a través de la aplicación de algún tipo de tratamiento, por lo tanto, la industria de la preservación de la madera desempeña un papel crucial en la mejora de sus propiedades y la prolongación de su vida útil.

Se define la **Preservación de la Madera** como el conjunto de procesos y tratamientos aplicados para proteger la madera de los efectos destructivos de factores biológicos, así como también de factores no biológicos (Fig. IV.1). El objetivo es aumentar la durabilidad natural de la madera y evitar su deterioro, conservando sus propiedades. La madera sin tratamientos adecuados puede sufrir un rápido deterioro, comprometiendo

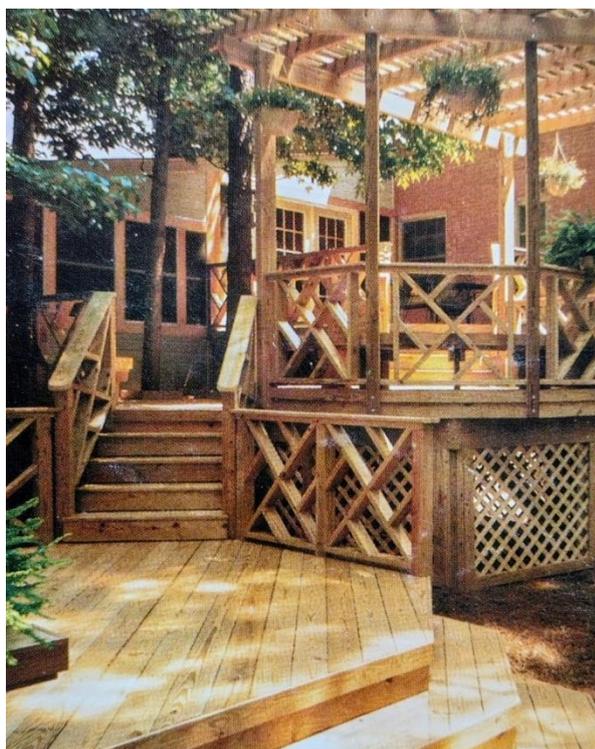


Figura IV. 1. Preservación de la madera.

Fuente: Revista ASORA

sus propiedades. Por lo tanto, preservar la madera permite extender su vida útil y en servicio, haciéndola más resistente ante la acción de agentes destructivos. “La falta de tratamiento adecuado de la madera puede reducir su vida útil de varias décadas a solo unos pocos años, especialmente en condiciones de alta humedad o exposición al suelo” (Forest Products Laboratory, 2010).

Lo expuesto, pone de manifiesto la necesidad de combinar saberes desde distintas especialidades, es decir, desde la interdisciplinariedad, para lograr el desarrollo de conocimientos y resolver esta problemática.

El objetivo de este capítulo es proporcionar una breve descripción de la preservación de la madera, los agentes destructores, las sustancias preservantes utilizadas, los métodos y procesos de preservación, para reducir su deterioro.

Importancia de la preservación de la madera

Preservar la madera permite alargar su vida útil, mantener sus propiedades mecánicas y estéticas, reducir costos y reducir la explotación forestal mediante un uso más eficiente de los recursos naturales.

A continuación, se examinan los principales fundamentos que justifican la relevancia de la preservación de la madera:

- **Durabilidad y economía:** La preservación de la madera incrementa significativamente su vida útil, lo cual reduce la necesidad de reemplazo frecuente. Esto representa un ahorro económico considerable y una mayor sostenibilidad en proyectos de infraestructura y diseño. "La protección de la madera permite mejorar su durabilidad y mantener sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo, haciendo que este recurso renovable sea más competitivo frente a otros materiales" (Arévalo, 2012, p. 45).

- **Protección del medio ambiente:** Al alargar la vida útil de los productos de madera, se disminuye la presión sobre los bosques y se fomenta un uso más responsable de los recursos naturales. "El tratamiento adecuado de la madera reduce la necesidad de talas constantes, lo que contribuye a la conservación de los ecosistemas forestales" (FAO, 2020).

- **Preservación del patrimonio arquitectónico:** En el ámbito del patrimonio cultural, tratar la madera permite conservar elementos originales en estructuras históricas, evitando su sustitución y manteniendo el valor estético y simbólico del inmueble. "La preservación de los elementos de madera en arquitectura patrimonial permite mantener el valor histórico y cultural de los inmuebles" (ICOMOS, 2011).
- **Salud y seguridad:** La madera no tratada es vulnerable al ataque de plagas y al deterioro estructural, lo que puede comprometer la integridad de las edificaciones y la seguridad de sus ocupantes. Los tratamientos de preservación son fundamentales para prevenir estos riesgos. "El uso de maderas tratadas en la construcción minimiza los riesgos estructurales y sanitarios asociados a su degradación" (Cabrera & López, 2015).

Factores que afectan la madera

La madera, como material orgánico y renovable, está sujeta a diversos factores que pueden afectar su integridad, durabilidad y funcionalidad a lo largo del tiempo. Estos factores se clasifican comúnmente en **bióticos** (hongos, insectos, bacterias y perforadores marinos) y **abióticos** (condiciones climáticas, el fuego, desgaste mecánico), y su acción conjunta puede provocar un deterioro acelerado si no se toman las medidas adecuadas para su protección y preservación.

Entre los **factores bióticos**, destacan principalmente los **organismos xilófagos**, como

hongos, insectos y bacterias (Fig.IV.2). Los hongos de pudrición, en particular, se desarrollan en condiciones de alta humedad y afectan gravemente las propiedades mecánicas de la madera (FAO,



Figura IV.2. Biodeterioro de la madera

2020). Los insectos, como las termitas y los taladradores de

madera, también representan una amenaza significativa, ya que se alimentan de la

celulosa y pueden destruir completamente estructuras en poco tiempo (Carrillo-Parra et al., 2020).

En cuanto a los **factores abióticos**, la **humedad** es uno de los más críticos. Un alto contenido de humedad facilita el desarrollo de hongos y disminuye la resistencia estructural de la madera (Arévalo, 2012). Las variaciones térmicas también afectan la estabilidad dimensional del material, provocando hinchamiento, contracción y posibles deformaciones. Asimismo, la exposición prolongada a la **radiación solar** puede degradar la superficie de la madera, reduciendo su resistencia mecánica y alterando su color (Cabrera & López, 2015).

Además, la especie de la madera influye considerablemente en la respuesta de la madera frente a estos factores. Algunas especies presentan una mayor resistencia natural debido a su densidad o a la presencia de extractivos que actúan como defensas químicas contra agentes degradantes (García Roque, 2020). La cual se conoce como **durabilidad natural** de la madera.

La identificación y comprensión de estos factores es esencial para definir estrategias adecuadas de selección, tratamiento y uso de la madera, especialmente en aplicaciones estructurales, arquitectónicas o patrimoniales. Su correcta gestión garantiza no solo la durabilidad del material, sino también la sostenibilidad de su uso en el tiempo.

Factores que afectan la durabilidad natural de la madera

La durabilidad natural de la madera está determinada por su capacidad intrínseca para resistir el ataque de agentes bióticos y abióticos sin necesidad de tratamientos químicos. Esta propiedad depende de diversos factores, entre los que destacan la especie forestal, el contenido de extractivos, la densidad, la anatomía de la madera, y las condiciones ambientales a las que se expone.

Uno de los principales factores que inciden en la durabilidad es la especie de origen, ya que cada una presenta composiciones químicas y estructuras celulares diferentes. Algunas especies tropicales, por ejemplo, poseen extractivos naturales que inhiben el desarrollo de hongos e insectos, lo que les confiere una mayor resistencia (Carrillo-Parra et al., 2020).

Asimismo, la presencia de compuestos químicos naturales, como taninos, resinas, ligninas y aceites esenciales, influye directamente en la durabilidad. Estos extractivos actúan como barreras contra organismos xilófagos, impidiendo su colonización (García Roque, 2020). La concentración y distribución de estos compuestos varía entre duramen y albura, siendo el duramen generalmente más resistente (FAO, 2020).

Otro factor relevante es la densidad de la madera, ya que una mayor densidad suele estar asociada a una mayor resistencia mecánica y a un menor grado de penetración de agentes deteriorantes. Sin embargo, esto no garantiza por sí solo una alta durabilidad, ya que debe considerarse en conjunto con otros parámetros (Cabrera & López, 2015).

Finalmente, las condiciones de exposición, como la humedad, temperatura, ventilación y contacto con el suelo, también afectan su durabilidad. La madera expuesta a ambientes húmedos y mal ventilados es más propensa al desarrollo de hongos de pudrición (Arévalo, 2012).

Comprender estos factores es clave para seleccionar adecuadamente la especie de madera y definir la necesidad de tratamientos de preservación según su uso final.

Métodos de preservación de la madera

El hombre a través de los tiempos ha ensayado diversos métodos para impregnar la madera y protegerla de sus numerosos enemigos. En la actualidad, el progreso de esta técnica ha permitido modificar procesos antiguos para hacerlos más eficaces, según sea el tipo de madera, uso que se le vaya a dar, preservante a utilizar y método de aplicación. Para garantizar la durabilidad, resistencia y funcionalidad a largo plazo, de la madera, se han desarrollado diversos métodos de preservación.

Los métodos para preservar la madera se clasifican en dos categorías básicas: **métodos profilácticos y métodos de preservación.**

Los **métodos profilácticos** están orientados a la prevención de la degradación antes de que ocurra. Incluyen prácticas como el secado adecuado, el almacenamiento correcto, el diseño constructivo que evita el contacto directo con el suelo o el agua, y el uso de barreras físicas contra insectos o humedad. Estos métodos buscan minimizar las

condiciones que favorecen el ataque de agentes biológicos como hongos o insectos (Morrell & Schultz, 2009).

Los **métodos de preservación** implican el uso de productos químicos que protegen la madera frente a organismos xilófagos y otros agentes degradantes. Estos tratamientos pueden ser superficiales o mediante impregnación profunda, y utilizan preservantes como sales cúpricas, creosota o productos a base de boro, dependiendo del uso final de la madera (Lebow, 2010).

"La preservación de la madera comprende todas las acciones destinadas a prolongar su vida útil, entre ellas, la impregnación de preservantes químicos es una de las más eficaces" (Cabrera & López, 2015). "La impregnación es el procedimiento mediante el cual se introducen sustancias protectoras dentro del tejido leñoso, generalmente mediante presión o vacío" (Arévalo, 2012, p. 37).

Los métodos de preservación protegen la madera a largo plazo y se dividen en los siguientes procesos:

1 - Procesos sin presión

2 - Procesos a presión

3 - Procesos especiales

La elección del método adecuado depende del tipo de madera, las condiciones de exposición y el uso previsto del material (García Roque, 2020).

1 - Procesos sin presión

Consisten en la aplicación superficial de preservantes mediante métodos como el pincelado, el rociado o la inmersión. Aunque son de bajo costo y fáciles de aplicar, su eficacia suele ser limitada debido a la escasa penetración del producto en la madera (Lebow, 2010). En los tratamientos sin presión (Fig. IV.3), los productos preservantes se aplican a la madera en forma de líquidos, aerosoles o inmersiones directas sin la utilización de presión. Estos tratamientos son menos eficaces en cuanto a la penetración profunda en la madera y se utilizan principalmente en situaciones donde no es necesario una protección tan duradera o profunda. Un ejemplo común es el

tratamiento con aceites (como el aceite de linaza), que es utilizado para dar a la madera propiedades hidrófobas (Evans, 2013).



Figura IV.3. Métodos sin presión

2 - Procesos a presión

Los métodos de preservación de la madera con presión son técnicas ampliamente utilizadas para proteger la madera contra la degradación biológica (hongos, insectos, etc.) y aumentar su durabilidad. Estos procesos consisten en impregnar la madera con productos químicos preservantes mediante presión, permitiendo una penetración profunda del agente protector.

Los tratamientos con presión consisten en la impregnación de productos químicos preservantes en la madera, aplicando presión dentro de autoclaves especialmente diseñadas para ello (Fig. IV.4). Este procedimiento permite que el preservante penetre profundamente en las células de la madera, alcanzando niveles de protección superiores a los tratamientos superficiales o por inmersión. Este tipo de tratamiento es ideal para maderas destinadas a ambientes hostiles, como exteriores, suelos húmedos o estructuras marinas (Morrell & Barnes, 2015)



Figura IV.4. Autoclave para la preservación de la madera

Permiten una mayor penetración del preservante al interior de la madera mediante el uso de autoclaves, donde se combinan vacío y presión. Estos métodos, como el proceso Bethell (vacío-presión), son altamente eficaces y ampliamente utilizados en maderas expuestas a condiciones severas (Morrell & Schultz, 2009).

Los principales métodos de preservación con presión se detallan a continuación:

A. Método de célula llena (Bethell)

Este método implica aplicar vacío inicial para extraer el aire de las células de la madera, seguido de la aplicación de presión para forzar el preservante en la estructura celular. Se utiliza para obtener una alta retención del producto preservante.

- **Ventaja:** Alta retención del producto preservante.
- **Desventaja:** Mayor uso de químico, mayor costo.

B. Método de célula vacía

Existen dos variantes principales: **Lowry** y **Rueping**. Ambos utilizan presión para introducir el preservante, pero de forma que se minimiza la cantidad retenida al final del proceso.

- **Lowry:** Sin aplicación de vacío inicial. El aire actúa como amortiguador y empuja el excedente del preservante fuera al finalizar.
- **Rueping:** Comienza con una pre-presurización de aire, que luego facilita el retorno del exceso de preservante.
- **Ventaja:** Menor consumo de preservante.
- **Desventaja:** Menor retención, útil solo cuando se requiere penetración superficial.

C. Método de doble vacío

Aplicado especialmente en maderas de baja permeabilidad o en productos de madera de uso decorativo. Consiste en un vacío inicial, luego impregnación con presión, y finalmente un vacío final para eliminar el exceso de preservante superficial.

- **Ventaja:** Menor goteo y exudación, buena distribución del preservante.
- **Uso típico:** Madera para interiores, mobiliario o revestimientos.

3 - Procesos especiales

Incluyen técnicas como la doble difusión, la acetilación o el uso de preservantes térmicos, que buscan mejorar la durabilidad sin recurrir a productos químicos convencionales. Estas técnicas son más recientes y a menudo están orientadas a aplicaciones específicas o a reducir el impacto ambiental (Hill, 2006).

Preservantes utilizados en Argentina

En Argentina, el tratamiento de la madera con preservantes es una práctica común para prolongar su vida útil frente al ataque de agentes xilófagos (hongos, termitas, insectos de ciclo larval, etc.). Los principales preservantes utilizados son:

1. CCA (Arseniato de Cobre Cromatado)

Es uno de los preservantes más utilizados en el país, especialmente en postes, durmientes y estructuras al aire libre. Ofrece una alta resistencia al deterioro biológico, aunque contiene compuestos tóxicos como arsénico. “El CCA es el preservante más empleado en Argentina para la protección de maderas expuestas al medio ambiente, especialmente en estructuras de alto riesgo como postes y durmientes” (INTA, 2008).

2. CCB (Borato de Cobre Cromatado)

Es una alternativa al CCA que elimina el arsénico de la fórmula, manteniendo una buena protección contra hongos e insectos. “El CCB, al no contener arsénico, representa una alternativa menos tóxica al CCA, siendo utilizado principalmente en aplicaciones donde se busca menor impacto ambiental” (Dorado et al., 2002).

3. Boratos

Utilizados principalmente en interiores, ya que son solubles en agua. Son eficaces contra insectos, especialmente termitas, y hongos. “Los compuestos a base de boro se utilizan en maderas de uso interior o bajo cubierta debido a su alta solubilidad y baja toxicidad” (INTA, 2008).

4. Creosota

Utilizado principalmente en durmientes ferroviarios y postes. Tiene una excelente capacidad de protección, pero su uso está limitado debido a su toxicidad y olor fuerte.

“La creosota se ha utilizado tradicionalmente para proteger durmientes y postes, aunque su empleo en zonas habitadas está limitado por razones de salud y medio ambiente” (IRAM 9513, 2011).

5. MCA (Cobre Cuaternario Amónico – ACQ)

Alternativa moderna y más ecológica al CCA. No contiene metales pesados y se está comenzando a implementar en el país, especialmente para usos residenciales. “El sistema MCA (ACQ) se presenta como una alternativa ambientalmente más aceptable, aunque su uso todavía no está generalizado en el país” (INTA, 2008).

Normativas y certificaciones en la industria

La preservación de la madera está regulada por diversas normativas internacionales que buscan garantizar la seguridad y efectividad de los productos utilizados. En Europa, por ejemplo, la **norma EN 351** establece los requisitos técnicos para la preservación de la madera, mientras que en Estados Unidos, la **AWPA (American Wood Protection Association)** es la principal organización encargada de definir los estándares para el tratamiento de la madera (AWPA, 2020).

Impacto ambiental y sostenibilidad

El uso de productos químicos para la preservación de la madera ha generado preocupación debido a su potencial impacto ambiental. Por ejemplo, los compuestos como el CCA, aunque muy eficaces, contienen arsénico, lo que puede generar riesgos para la salud humana y el medio ambiente. En la última década, se han desarrollado alternativas ecológicas como el **cobre micronizado, las sales boradas** y los productos biológicos (Carter, 2011). Estos tratamientos tienen un menor impacto ambiental y son igualmente efectivos para proteger la madera de los daños biológicos.

La creciente preocupación por el impacto ambiental de los productos químicos en la preservación de la madera ha impulsado el desarrollo de tratamientos más sostenibles. La modificación térmica, es una de las opciones más prometedoras debido a su baja huella ecológica. Además, la investigación continúa en la búsqueda de preservantes naturales y procesos que minimicen el uso de productos químicos sintéticos. Según Evans (2013), la madera tratada de manera sostenible puede convertirse en una opción

aún más atractiva para la construcción, ya que no solo mejora la durabilidad del material, sino que también reduce la dependencia de materiales no renovables.

Las industrias dedicadas a la preservación de la madera juegan un papel fundamental en la sostenibilidad y prolongación de la vida útil de este material tan valioso. A través de la investigación y el desarrollo de nuevos métodos y productos, la preservación de la madera se está transformando en una actividad más respetuosa con el medio ambiente, sin sacrificar su eficacia. Como futuros ingenieros, es crucial entender estos procesos y su aplicación en los diferentes campos de la ingeniería civil, arquitectura y construcción, ya que la madera sigue siendo un material esencial en la edificación de estructuras duraderas y sostenibles.

El crecimiento de esta industria también está vinculado al aumento de la conciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de conservar los recursos naturales, ya que la madera es un recurso renovable cuando se maneja adecuadamente. Así, la preservación de la madera no solo es relevante para mantener la calidad de los productos derivados de ella, sino también para contribuir a la gestión responsable de los bosques y minimizar el impacto ambiental de la explotación forestal.

Bibliografía

1. Arévalo, J. (2012). *Tratamiento y preservación de la madera*. Ediciones Técnicas Forestales.
2. AWP (2020). "American Wood Protection Association Standards." *AWPA Book of Standards*, 84th Edition.
3. Cabrera, M., & López, S. (2015). Preservación de la madera: técnicas y aplicaciones en arquitectura y diseño. *Revista Madera y Construcción*, 22(3), 33–49.
4. Carrillo-Parra, A., Garza-Ocañas, F., González-Rodríguez, H., Foroughbakhch, R., & Bustamante-García, V. (2020). Tecnologías para la preservación de la madera y evaluación de la durabilidad. En L. A. García Roque (Ed.), *Técnicas en el manejo sustentable de los recursos naturales* (pp. 122–139). Academia.edu.
https://www.academia.edu/download/79307855/Tecnologas_para_la_preservacin_de_la_mad20220121-8496-1vimgj0.pdf
5. Carter, P. (2011). "Sustainable Wood Preservation: Trends and Innovations." *Wood Protection Journal*, 23(2), 14-28.
6. Dorado, J., Baeza, J., & Cruz, E. (2002). *Preservación de la madera con sales hidrosolubles*. *Revista Maderas: Ciencia y Tecnología*, 4(1), 21–30.

7. Evans, P. (2013). "Wood Modification: Chemical, Thermal, and Other Processes." *Wood Technology*, 49(5), 14-30.
8. FAO. (2020). *State of the world's forests 2020: Forests, biodiversity and people*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
9. Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
10. García Roque, L. A. (2020). *Tecnologías para la preservación de la madera*. Academia.edu. https://www.academia.edu/download/79307855/Tecnologas_para_la_preservacin_de_la_mad20220121-8496-1vimgj0.pdf
11. Hill, C. A. S. (2006). *Wood modification: Chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons.
12. ICOMOS. (2011). *Principios para la conservación de estructuras de madera históricas*. Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. <https://www.icomos.org>
13. INTA. (2008). *Preservación de la madera: aspectos técnicos y ambientales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
14. IRAM 9513. (2011). Tratamiento preservante de la madera. Preservantes. Requisitos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
15. Lebow, S. T. (2010). *Wood preservation*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgr/fpl_gr190.pdf
16. Morrell, J. J., & Barnes, H. M. (2015). *Wood Protection*. In *Primary Wood Processing: Principles and Practice* (2nd ed.). Springer.
17. Morrell, J. J., & Schultz, T. P. (2009). *Wood Deterioration and Preservation: Advances in Our Changing World*. American Chemical Society.

Capítulo V

Industrias de paneles a base de madera

Autora: Paula Vanesa Jiménez

Tableros derivados de la madera

Entre las industrias mecánicas de la madera se destaca la industria de tableros derivados de madera o también llamados paneles a base de madera. Estos son materiales en los que predomina la longitud y la anchura frente al espesor, y en el que el elemento constitutivo principal es la madera. Estos productos tienen variadas propiedades y aplicaciones.

Los tableros derivados de madera tienen un origen muy antiguo, pues surgieron como solución para cubrir amplias superficies planas en puertas, muebles y otros elementos. En la antigüedad, la única opción disponible era unir tablas de canto, y el resultado final dependía en gran medida de la precisión de las herramientas utilizadas.

No fue hasta el siglo XX cuando comenzaron a desarrollarse los primeros tableros contrachapados, seguidos por los aglomerados o de partículas y, posteriormente, una amplia variedad de tableros elaborados con madera en distintos formatos. Su aparición fue posible gracias a la mejora en la precisión de las herramientas de corte, así como al desarrollo de adhesivos industriales más avanzados y técnicas más eficientes de encolado y prensado (AITIM, 2008).

La industria de tableros es una de las de las industrias de mayor importancia en términos de tecnología, empleo directo e indirecto, innovación, facturación y crecimiento. La expansión se debe a que los tableros son un sustituto natural de la madera sólida, con ventajas tecnológicas que resultan de la posibilidad de obtener un producto con propiedades físicas y mecánicas programables y de mayor superficie útil, que con madera maciza es difícil y caro de lograr. Además, los tableros tienen la importancia adicional de elaborarse a partir de materia prima más económica (por ejemplo, residuos forestales y agroindustriales).

Los tableros derivados de la madera o paneles a base de madera, se utilizan tanto en carpintería y mueble como en aplicaciones estructurales, pero también tienen un importante campo de aplicación en funciones temporales (encofrados, cerramientos provisionales, stands, arquitectura efímera) y auxiliares (envase, embalajes, cajas).

Materias primas

En general, las principales materias primas utilizadas en la fabricación de los tableros son madera, adhesivos y recubrimientos.

La madera se presenta en diversos formatos: chapas (tableros contrachapados y laminados), listones y tablas (tableros de madera maciza); partículas (tableros de partículas); virutas (tableros de virutas); fibras (tableros de fibras) o tiras de madera (tableros especiales). En todos los casos supone una optimización y aprovechamiento de la materia prima, de forma especial en formatos pequeños como partículas, fibras, virutas o tiras y con especies de crecimiento rápido (AITIM, 2008).

En cuanto al adhesivo a utilizar, este depende del tipo del tablero y de su aplicación. Los adhesivos sintéticos termoendurecedores más utilizados son urea formaldeído (UF) para interiores, melamina-urea-formaldeído (MUF) o fenol formaldeído (PF) para exteriores. En los últimos años se introdujeron los de isocianato (MDI, PMDI).

Para mejorar las prestaciones de los adhesivos se pueden agregar aditivos como, cera o parafina (para aumentar la repelencia a la humedad); retardantes del fuego (los denominados de capa impiden durante escasos minutos, que llegue oxígeno a la madera y los ignífugos totales, con productos tales como sulfato y fosfato amónico, ácido bórico, cloruro de cinc.); insecticidas (para mejorar la resistencia a los insectos xilófagos); fungicidas (para mejorar la resistencia a los hongos xilófagos); endurecedores (para mejorar las prestaciones del adhesivo) y cargas inertes (para favorecer la distribución del adhesivo).

Para no dejar las caras del tablero en crudo, normalmente se mejoran, ennoblecen o decoran sus caras con un recubrimiento (pintura, laca, barniz, papel impregnado, plásticos, resinas, metal, chapa decorativa, chapa de madera).

Clasificación de los tableros

En este capítulo se clasificarán los tableros derivados de la madera tomando como criterio el formato de la madera.

-*Tableros de madera maciza*: a base de tablas, tablillas o listones unidas entre sí por encolado por cara y testa, a tope, por unión dentada o machihembrado (Figura V.1). Su denominación internacional es SWP (Solid Wood Panels) (AITIM, 2011a). Se utilizan en mueble (alistonados), elementos de carpintería (laminados), encofrados (tricapas) y estructurales (contralaminados) (AITIM, 2008).

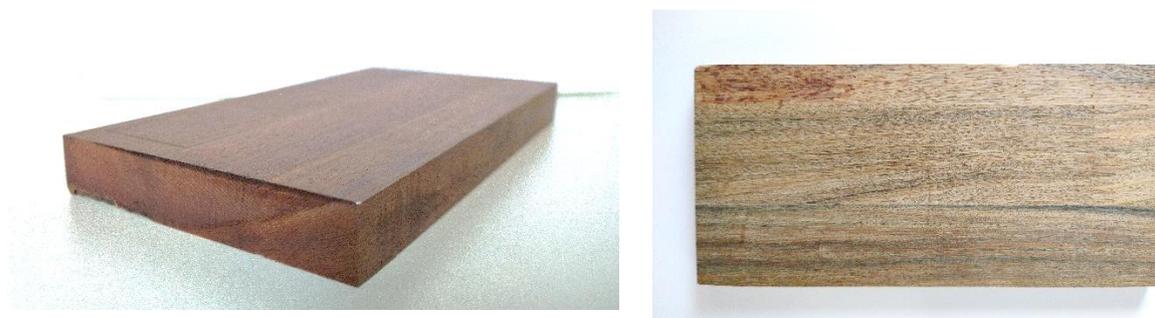


Figura V.1. Tableros alistonados de algarrobo y palo santo.

-*Tableros de chapa*: Se obtienen encolando un número impar de chapas (o capas) de madera, de apenas décimas de milímetros o milímetros de espesor, otras consecutivas perpendiculares o paralelas. En los tableros contrachapados la dirección de las fibras de las chapas consecutivas se alterna, formando un ángulo recto. En el tablero laminado (o madera microlaminada LVL (laminated veneer lumber), la dirección de las fibras de las chapas son paralelas entre sí.

El contrachapado es un material ideal para usos estructurales debido a su ligereza y elevada resistencia (Figura V.2). Decorativas: muebles, carpintería (puertas, divisorias), revestimientos (techos, paredes, boiserías, fachadas, etc.). Estructurales: cubiertas, forjados, cerramiento de muros y tabiques, alma en vigas mixtas,

encontrados, cajas de carga, embalajes. Carpintería naval y aeronáutica: fabricación de barcos, aviones, etc. (AITIM, 2008).

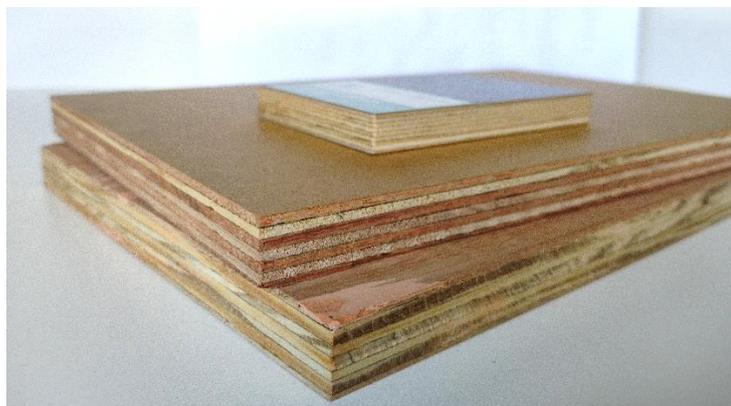


Figura V.2. Tableros contrachapados.

Los tableros LVL se utilizan en construcción y estructuras: alas de vigas de doble T y cerchas, cerramiento de forjados, zancas de escalera, muros, cubiertas, etc. Otras aplicaciones: barcos, suelos de camiones, embalajes especiales, muebles, etc. (AITIM, 2008).

-*Tablero de partículas*: elemento fabricado con partículas de madera u otros materiales lignocelulósicos, aglomerados con aglutinantes por medio de algunos de los siguientes agentes: calor, presión, humedad, catalizadores, etc. (IRAM 9721, 2000). Normalmente sus densidades varían de 600 a 680 kg/m³ (AITIM, 2008).

La norma IRAM 9722 (1999), tomando como criterio la forma y el tamaño de las partículas, clasifica a los tableros de partículas:

- a) *tableros de partículas* (o aglomerados o convencional);
- b) *tableros de virutas* (waferboard);
- c) *tableros de virutas orientadas* (OSB);
- d) *tableros de otros tipos de partículas* (por ejemplo, cáñamo, lino, bagazo y similares)

El tablero de partículas, aglomerado o convencional (Figura V.3), se utiliza en carpintería y muebles, fabricación de puertas, fabricación de muebles, mamparas, rodapiés, zócalos, encimeras, etc. En construcción, base de cubiertas, divisiones

interiores, tabiques, doblado de paredes, falsos techos, prefabricados, base de suelos, encofrados, vigas cajón o casetones.



Figura V.3. Tableros de partículas recubiertos.

Los tableros de virutas (waferboard), son una variante de los tableros de partículas, y a diferencia de los tableros OSB las virutas no se encuentran orientadas. Estos tableros son de uso estructural.

En el tablero OSB (Figura V.4), las virutas están alineadas y forman capas. La dirección longitudinal se corresponde con la dirección perpendicular a la dirección de las virutas de las capas exteriores. Es un tablero estructural, se lo utiliza en la construcción como soporte de cubiertas, entrevigados de forjados, cerramiento de fachadas, como caras de paneles sandwich y en alma de viguetas de doble T. Minoritariamente se usa en carpintería (bastidores de muebles y carpintería) y en embalaje industrial.



Figura V.4. Tableros OSB.

Otros tipos de tableros de partículas. El tablero de lino, es una variante del tablero de partículas donde el lino brinda una superficie más suave, haciéndolo más apto para determinados fines. El lino se mezcla con otros materiales lignocelulósicos, el contenido de los otros materiales lignocelulósicos debe ser igual o superior al 70%. Según sus condiciones pueden ser utilizados como relleno, en mobiliarios, pueden sufrir procesos posteriores como por ejemplo su rechapado.

AITIM (2011a) e IRAM 9722 (1999), tomando como criterio el proceso de fabricación, mencionan los *tableros de extrusión*, que se fabrican por extrusión, forzando el paso de la manta de partículas encoladas por unos moldes. Pueden ser macizos o tubulares. Se aplican en carpintería y muebles, su destino principal es convertirse en el alma de hojas de puertas, muebles (sobres, encimeras), mamparas, etc. En productos complementarios de carpintería, tacos para cerraduras, largueros, testeros, soportes de palets, etc. (AITIM, 2011b).

-*Tableros de fibras*: elemento fabricado con fibras de madera u otros materiales lignocelulósicos fibrosos, aglomerados con sus propias sustancias aglutinantes u otras adicionadas durante el proceso de fabricación (IRAM 9721, 2000).

Estos tableros se obtienen aplicando calor y/o presión a fibras de madera mediante dos procesos de fabricación diferentes: el de vía seca da lugar a tableros de fibras de densidad media, una vez obtenidas las fibras se encolan, se secan y se forma una manta que se prensa formando el tablero. El de vía húmeda da lugar a tableros de fibras duros, se forma una manta con las fibras húmedas que se prensa formando el tablero (la lignina actúa como ligante, aunque también se pueden añadir adhesivos y otros aditivos) (AITIM, 2011a).

En función de su densidad y de su proceso de fabricación se clasifican según los siguientes tipos:

- a) *Tableros de fibras duros* (Hard Board, HB). Su densidad es igual o mayor a 900 kg/m^3 .

- b) *Tableros de fibra semiduros* (Medium Board, MB). Su densidad es igual o mayor a 400 kg/m^3 e inferior a 900 kg/m^3 . Dependiendo de su densidad, se distinguen:
- semiduros de baja densidad* (Medium Board Light, MBL). Su densidad es mayor o igual a 400 kg/m^3 e inferior a 560 kg/m^3 .
 - semiduros de alta densidad* (Medium Board Heavy, MBH). Su densidad es mayor o igual a 560 kg/m^3 e inferior a 900 kg/m^3 .
- c) *Tableros de fibras de blando* (Soft Board, SB).
- d) *Tableros de fibras de densidad media* (MDF, Medium Density Fiberboard). Su densidad es mayor o igual a 450 kg/m^3 . Comercialmente se pueden encontrar los siguientes:
- HDF*. MDF con una densidad igual o superior a 800 kg/m^3 .
 - MDF Ligero*. MDF con una densidad igual o inferior a 650 kg/m^3 .
 - MDF Ultraligero*. MDF con una densidad igual o inferior a 550 kg/m^3 .
- e) *Tableros de fibras aislantes* (Soft Board, SB). Su densidad es igual o superior a 230 kg/m^3 e inferior a 400 kg/m^3 . Tienen propiedades de aislamiento térmico y acústico.

Aplicaciones de tableros de fibras duros, semiduros y aislantes (Figura V.5):

- Carpintería y muebles: fabricación de puertas, fabricación de muebles en general, fabricación de muebles de cocina y de baño, cajones.
- Variadas como fabricación de automóviles, caravanas y fabricación de aparatos de música.
- Estructurales: paredes y cubiertas.
- Los tableros de fibras perforados a veces se utilizan como absorbentes acústicos.



Figura V.5. Tableros de fibras duros, semiduros y aislantes.

Aplicaciones de los tableros de fibra media densidad (Figura V.6):

- Carpintería y mueble: fabricación de puertas, fabricación de muebles en general, fabricación de muebles de cocina y de baño (en especial para las puertas en relieve), muebles divisorios, elementos mecanizados, molduras, etc.
- Construcción: bases de cubiertas, divisiones interiores, tabiques, prefabricados, bases de suelos.



Figura V.6. Tableros MDF.

-*Tableros de madera cemento*: se obtienen aplicando presión a partículas de madera u de otra naturaleza vegetal, que han sido aglomeradas previamente con cemento (Figura V.7). Su prensado se realiza en frío. Es un material ideal tanto para uso interior como exterior, son resistentes a la humedad y al ataque del fuego. Se usan en paredes de casas prefabricadas, pisos, revestimiento de túneles, paredes divisorias, paredes como aislante acústico y térmico, puertas corta fuego, etc. No solo se utilizan en residencias, sino que también se usan en estadios y edificios públicos (AITIM, 2008; Iwakiri, 2005).



Figura V.7. Tablero de madera-cemento.

Bibliografía

1. AITIM. 2008. “Productos de madera para la arquitectura”. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. 371p.
2. AITIM. 2011a. “Tableros derivados de la madera. Generalidades”. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. 11p.
3. AITIM. 2011b. “Tableros de partículas extrusionados”. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. 4p.
4. IRAM 9722. 1999. “Tableros de partículas. Clasificación”. Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
5. IRAM 9721. 2000. “Tableros de fibras y de partículas. Definiciones generales”. Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
6. Iwakiri, S. 2005. “Painéis de madeira reconstituída”. Curitiba: Ajir Gráfica e Editora Ltda, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 247 p.

Capítulo VI

Industria de la carbonización

Autora: Myriam Ethel Ludueña

La carbonización es una de las industrias forestales más reconocida en el ámbito local y regional, debido a su tradición rural en el contexto de Santiago del Estero. Domina el primer lugar de producción en la industrialización forestal santiagueña y es la segunda provincia productora de carbón, después de Chaco, concentrando el 40,4 % del total nacional (Anuario de Estadística Forestal, 2024).

La carbonización es el proceso termoquímico donde la biomasa forestal por efectos de la temperatura se descompone en una gran variedad de sustancias volátiles y un residuo carbonoso amorfo de elevada porosidad denominado “carbón vegetal”. Este complejo proceso se produce a través de una combustión incompleta de la leña, bajo condiciones controladas de temperatura y en un espacio cerrado.

Las variables del proceso que determinan el resultado son la materia prima utilizada, la temperatura y la tecnología de carbonización.

1. **Materia prima:** La clase de madera influye directamente en los gases emitidos en la combustión, en la composición química de la ceniza y en el producto obtenido. La madera está compuesta por diferentes elementos estructurales dependiendo de la especie. A su vez, la composición química depende principalmente si proviene de la clase latifoliadas (maderas duras) o la clase coníferas (maderas blandas), fluctuando ampliamente entre un 40 % - 50 % de celulosa, un 20 % - 30 % de hemicelulosas, un 20 % - 30 % de lignina y cerca del 10 % de compuestos extraíbles (taninos, grasas y ácidos grasos, resinas, aceites esenciales, gomas ceras, mucílagos). Esta diferencia se da entre especies y entre árboles de la misma especie. Aunque la composición química puede variar en los componentes estructurales (celulosas, hemicelulosas, lignina) la mayor variabilidad química se encuentra en los extractivos. (Barnett & Jeronimidis, 2003).

Nota: Según el Anuario de Estadística Forestal (2024), en Santiago del Estero se mencionan las siguientes especies nativas para la elaboración del carbón vegetal: *Neltuma alba* (Spreng.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (“**algarrobo blanco**”),

Neltuma nigra (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (“**algarrobo negro**”), y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. (“**quebracho blanco**”), con una producción de 1351 tn para algarrobos, 4667 tn para quebracho blanco y 282.092 tn para varias nativas, entre las que se pueden mencionar a *Vachellia aroma* (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger (“**tusca**”), *Senegalia praecox* (Griseb.) Seigler & Ebinger (“**garabato**”), *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins (“**brea**”), *Larrea divaricata* Cav. (“**jarilla**”), en menor cantidad *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. (“**quebracho colorado**”), *Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart (“**chañar**”), *Sarcomphalus mistol* (Griseb.) Hauenschild (“**mistol**”) (Vélez, 2008). A pesar de que se cuenta con una amplia variedad de especies disponibles, según De Bedia et al. (2016) las especies más empleadas para producción de carbón de uso doméstico son el quebracho blanco y el mistol, mientras que el quebracho colorado es preferido para hacer carbón para usos industriales. Dependiendo de la disponibilidad de materia prima y de la zona de procedencia, también se pueden encontrar carbones provenientes de otras especies, como *Neltuma ruscifolia* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (“**vinal**”) o *Libidibia paraguariensis* (D. Parodi) G.P. Lewis (“**guayacán**”), entre otras.

2. **Temperatura:** En la carbonización se puede observar fases bien diferenciadas, partiendo desde la temperatura ambiente hasta la temperatura final de reacción y el apagado. La *primera etapa* es el período de **secado** de la materia prima o biomasa donde las temperaturas suben desde la temperatura ambiente hasta los 100 °C, allí se elimina el agua contenido en la madera y las sustancias extractivas de bajo peso molecular, junto a los gases no condensables (CO₂, CO y Cm Hn). Es una fase endotérmica. En esta *primera etapa* se produce la **precarbonización** en el rango de temperatura que oscila entre los 100 °C y los 280 °C, continúa la eliminación de vapor de agua y gases no condensables y comienza a eliminarse ácido acético. Sigue la fase endotérmica. A partir de los 280 °C hasta los 350 °C comienza la *segunda etapa* con la **autocarbonización** transformándose en una fase exotérmica, donde no sólo hay desprendimiento de ácido acético si no de metanol y alquitranes livianos. Finalmente, desde los 350 °C hasta los 500 °C se produce la

tercera etapa de **carbonización** propiamente dicha, donde hay desprendimiento de alquitranes pesados y fraccionamiento, continuando la fase exotérmica. En esta etapa se produce la fijación del carbono

3. **Tecnología de carbonización:** Las tecnologías usadas para la elaboración del carbón vegetal son industrial, semi-industrial y artesanal, determinando el tiempo del ciclo.

Nota: En Argentina, Santiago del Estero especialmente, es muy empleado un tipo de horno de ladrillos denominado “horno media naranja argentino”, el cual determina un proceso de carbonización semi-industrial. El tiempo del proceso completo de carbonización depende del tamaño del horno y la experticia de la persona que conduce ese proceso. Como ejemplo se puede decir que se necesita de 13 a 14 días para completar el ciclo, produciendo 9 a 10 tn de carbón vegetal en un horno media naranja de 7 m de diámetro.

Existe una clasificación de sistemas de carbonización realizada por la FAO (1983) diferenciando la fuente de calor según sea externa o interna al sistema, tal como se muestra en la siguiente figura VI.1:

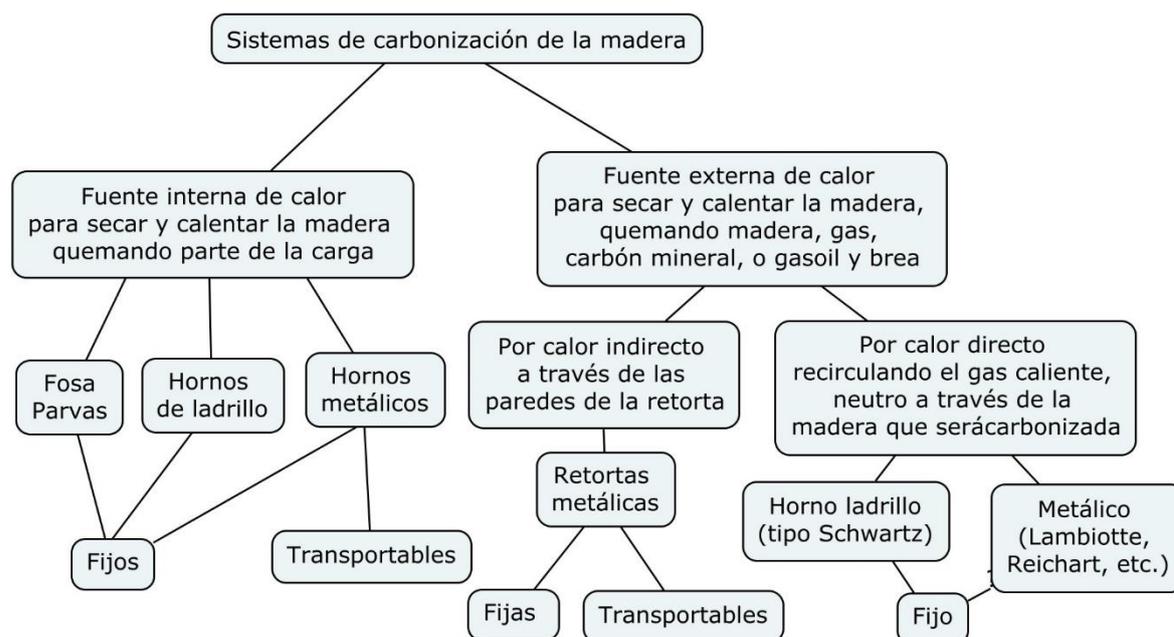


Figura VI.1. Sistemas de carbonización de la madera según la fuente de calor. Fuente: FAO (1983).

Tecnología para el proceso de carbonización

Según la tecnología utilizada en el proceso de carbonización de la madera, ya sea teniendo en cuenta la procedencia del calor para el proceso de una fuente externa o de una fuente interna carbonizar, como lo muestra la tabla VI.1.

Tabla VI.1. Clasificación de la tecnología, el tipo de horno y la procedencia del calor en la producción de carbón vegetal. Fuente: FAO (1983).

Tecnología	Tipo de horno	Procedencia del calor
Artesanal	Parva tradicional	Externa
	Parva sueca con chimenea	De la propia madera
	Fosa de tierra	De la propia madera
	Horno Casamance	Externa
Semi-industrial	Horno de colmena brasileño	De la propia madera
	Horno media naranja argentino	De la propia madera
	Horno media colina	De la propia madera
	Horno Missouri	De la propia madera
	Horno Schwartz	Externa
	Horno metálico español	Externa
	Horno metálico TPI	De la propia madera
	Horno carbofrance	De la propia madera
	Horno batallón	Externa
	Horno magnien	Externa
Industrial	Horno Lambiotte	De la propia madera
	Horno Pillard	De la propia madera
	Aldred process plant	De la propia madera
	Horno Coppe	De la propia madera
	Horno Lurgi	De la propia madera

Como se mencionó anteriormente, en Argentina el método más utilizado para la producción del carbón vegetal es el horno media naranja argentino. Esta tecnología es sustentable si los bosques de donde se obtiene la leña se aprovechan a un ritmo que no

supere su capacidad de crecimiento. Se estima que una hectárea de bosque nativo produciría a perpetuidad el carbón necesario para el uso de una familia compuesta por 8 personas. Desde una perspectiva de género, la producción de carbón vegetal se asocia generalmente al hombre, sin embargo en algunas zonas argentinas las mujeres tienen un papel predominante (Fig. VI.2), siendo su actividad principal la carbonización de leña, además de las labores del hogar (Ludueña et al., 2019).



Figura VI.2. Mujeres carboneras de Santiago del Estero, detrás “horno media naranja argentino”. Foto: Santiago del Estero, 2019, Ludueña.

Otra alternativa tecnológica de producción de carbón que mejora la calidad del producto y disminuye los costos de transporte de la leña es el Horno Metálico Transportable (HMT). El mismo consiste en dos secciones cilíndricas que se encastran y una tapa cónica, con ocho conductos de entrada/salida de aire dispuestos radialmente en la base, tal cual se muestra en la Figura VI.3 (Ludueña et al., 2021).



Figura VI.3. Horno metálico transportable distribuido en zonas rurales de Argentina por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Foto: Chaco, 2021. Rolando Tévez.

Higiene industrial en la carbonización

Según FAO (1983), la carbonización produce sustancias que pueden ser dañinas y deben tomarse precauciones para reducir el peligro. El gas producido por la carbonización tiene un elevado contenido de monóxido de carbono, que es venenoso cuando se lo respira. Por lo tanto, cuando se trabaja en la vecindad del horno durante su funcionamiento o cuando se abre el horno para su descarga, debe tenerse cuidado de asegurar una correcta ventilación para permitir que se disperse el monóxido de carbono, que también se produce durante la descarga por ignición espontánea del carbón vegetal caliente.

Los alquitranes y el humo producidos por la carbonización, si bien no son directamente venenosos pueden tener efectos perjudiciales a largo plazo sobre el sistema respiratorio. Las zonas con viviendas deberían, en lo posible, estar ubicadas donde los vientos predominantes alejen de ellas el humo de la fabricación de carbón, y las baterías de hornos no deberán ser emplazadas muy cerca de las áreas habitadas.

Los alquitranes de la madera y el ácido piroleñoso pueden irritar la piel y debe tenerse cuidado de evitar su contacto prolongado con la piel proporcionando elementos de protección personal (EPP).

Los alquitranes y los licores piroleñosos contaminan en forma grave los cursos de agua y afectar los depósitos de agua potable para el hombre y los animales; también los peces pueden ser afectados negativamente. Los efluentes líquidos y el agua, de descarga de las operaciones carboneras de media y gran escala deberán ser retenidas en grandes piletas de sedimentación, haciendo que se evaporen para que esta agua no pase al sistema local de drenaje y contaminen los arroyos.

Nota

Algunas ventajas del carbón vegetal comparado con madera para combustible (FAO, 2014)

- Alta densidad de energía por unidad de masa o volumen
- Mejora el transporte y almacenamiento
- Baja humedad que la madera combustible
- Bajo el humo y la contaminación del aire
- El carbón vegetal se puede utilizar en la metalurgia, enmienda del suelo y en la industria química como un adsorbente
- El carbón vegetal es altamente resistente a la descomposición biológica
- El carbón vegetal requiere poca o ninguna preparación para su uso real

Bibliografía

1. Ludueña, M. E., Carreras, R., Jiménez, V., Carranza, M. E., Gulotta, M. R. 2021. *Parque Chaqueño Argentino: aplicaciones dendroenergéticas*. Caso N° XIII. Páginas 267 – 296. En *Sistemas de biomasa y bioenergía: casos ejemplares en Iberoamérica. Hacia una sustentabilidad bioenergética territorial*. Manrique, SM, Ojeda ML, Sánchez Hervás, Curbelo Alonso A, Garrido S. Editores. CYTED Ediciones. Una publicación de la Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural (ReBiBiR-T). ISBN: 978-84-15413-40-0. Madrid, España. 444 Páginas.

Capítulo VII

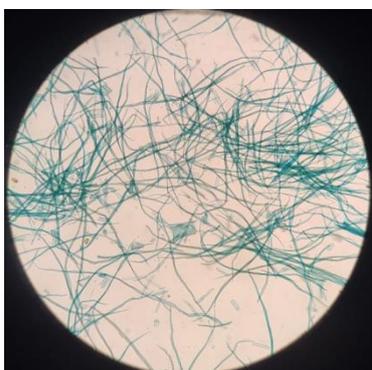
Industria de celulosa, papel y cartón

Un poco de historia y materia prima

Actualmente, tanto el papel como la pasta celulósica para fabricar papel pueden obtenerse a partir del reciclado mismo del papel o de elementos estructurales de la madera y otras plantas fibrosas. Debido a la creciente demanda mundial, a partir del siglo XIX comenzó a emplearse las fibras provenientes de la desintegración de la madera por ser un elemento que se encuentra en abundancia en la naturaleza, reemplazando lo que se venía utilizando hasta ese momento que eran trapos, lino, algodón, etc. La transformación de la materia prima desde que se encuentra en la naturaleza como madera hasta el tamaño mínimo que es la fibra para hacer papel, puede efectuarse de dos formas. Separar las fibras mecánicamente se denomina **pulpado mecánico**, y disolver químicamente el material que las mantiene unidas (lignina) hasta un punto en que se separan sin tratamiento mecánico se denomina **pulpado químico** (Area, 2021). La materia prima proveniente de los recursos forestales debe poseer condiciones operativas pues la calidad del papel dependerá de la longitud, diámetro, flexibilidad, resistencia, etc. de las fibras utilizadas, entre otros parámetros (Fig. VI.1). Se clasifican en:



Fibras largas: asociadas a las coníferas, que han sido históricamente las maderas más usadas en la industria de pulpa y papel, debido a bosques naturales puros, lo cual facilita su extracción. Producen una hoja de papel fuerte, pues la longitud permite entrelazarse mejor entre ellas. Foto: *Araucaria angustifolia* (Laboratorio de Anatomía de la Madera. LAM INSIMA FCF UNSE)



Fibras cortas: las latifoliadas tienen tejidos más heterogéneos y sus fibras son más cortas y menos uniformes. Es necesaria su presencia para ciertos tipos de papeles ya que éstas llenan los espacios intersticiales logrando una trama más "cerrada". Foto: *Eucalyptus sp.* (Laboratorio de Anatomía de la Madera. LAM INSIMA FCF UNSE)

Figura VII.1. Imagen de microscopio con fibras forestales cortas y largas. Fuente: LAM (2025).

La industria de pulpa, papel y cartón integra actividades de transformación que van desde plantaciones forestales, producción de pulpa y la elaboración de los diferentes tipos de papel y cartón. La “pulpa celulósica” (en lenguaje vulgar “celulosa” o “pasta”) es la materia prima fibrosa con la que se produce el papel (producto intermedio), el “papel” es el producto final, que se fabrica con una o varias pulpas y otros compuestos (aditivos), entrelazando las fibras y formando un material compacto. El papel puede estar formado por “fibra virgen” (nunca utilizada anteriormente) o “fibras secundarias” (de papel recuperado). Las fábricas que producen pulpa y papel se denominan “fábricas integradas”. Por el contrario, algunas fábricas producen exclusivamente “pulpa de mercado”. Esto significa que la pulpa no se fabrica para uso propio sino para vender en el mercado. Esta pulpa se produce en lugares diferentes a los que la utilizarán para fabricar papel. Se seca para reducir los gastos de flete (Area, 2021). En lugares donde el recurso maderero es escaso existen otras fibras que se utilizan para la fabricación de pulpa celulósica para papel, como por ejemplo el lino, cáñamo, bambú bagazo, pajas, etc. En la Figura VII.2 se muestra el esquema de las diferentes materias primas que se usan en la industria del papel.

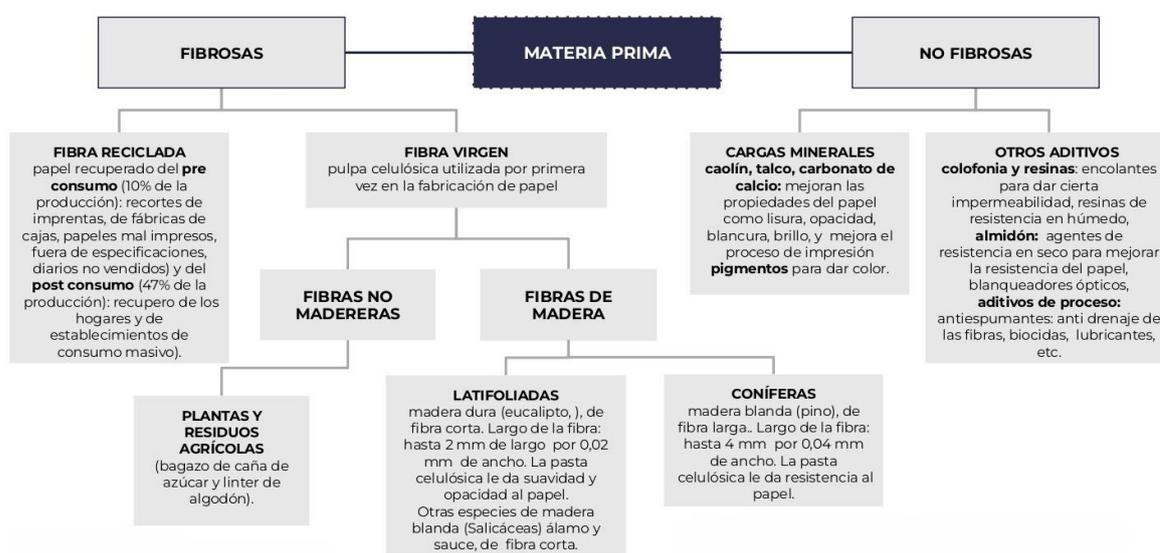


Figura VII.2. Clasificación de la materia prima fibrosa y no fibrosa utilizada en la fabricación del papel. Fuente: DNERyCV, 2024.

Clasificación de los diferentes tipos de procesos de pulpados celulósicos

El proceso de **pulpado mecánico** se basa en presionar los troncos contra una gran piedra que gira a alta velocidad en presencia de abundante agua. Actualmente ha sido desplazado por el pulpado mecánico en molino de discos de barras radiales a partir de astillas. Los procesos de pulpados mecánicos son procesos de **altos rendimientos**. Estos procesos tienen un menor costo global, mayor aprovechamiento de los recursos fibrosos y menor carga contaminante frente a los pulpados químicos. Las pulpas celulósicas brindan mejor formación de hoja, mayor opacidad y otras propiedades. Como desventajas son sus menores resistencias, alto requerimiento de energía específica y limitada capacidad de alcanzar blancura debido a que contienen prácticamente toda la lignina presente en la madera.

El proceso de **pulpado químico** se basa en la reducción de la madera a tamaño de astillas las que se cuecen con productos químicos en solución acuosa a temperaturas y presiones elevadas. Se extraen progresivamente la lignina, hemicelulosas, y cadenas cortas de celulosa produciendo un rendimiento bajo de pulpa celulósica. El material puede ser llevado sin mucho esfuerzo a blancuras elevadas. Los dos métodos principales de obtención de pulpa celulósica son: *el proceso kraft* (alcalino) y *el proceso al sulfito* (ácido). El proceso kraft ha llegado a ocupar una posición dominante (80 %) debido a sus ventajas en la recuperación de productos químicos y la resistencia de la pulpa. En la Figura VII.3 se resumen los procesos de pulpados celulósicos teniendo en cuenta la materia prima, la energía aplicada y el rendimiento en pulpa sin blanquear.

Tabla VII.1. Clasificación de los procesos de pulpados celulósicos.

Proceso	Materia prima	Energía aplicada	Rendimiento pulpa
Mecánico	Latifoliadas	Desfibrado mecánico intenso. Tratamiento térmico con vapor, desfibrado mecánico energético	90- 96 %
Semimecánico	Latifoliadas, fibras no madereras	Impregnación con reactivos y desfibrado mecánico energético	80 – 90 %
Semiquímico	Latifoliadas, fibras no madereras	Acción química suave tratamiento térmico intenso	60 – 80 %

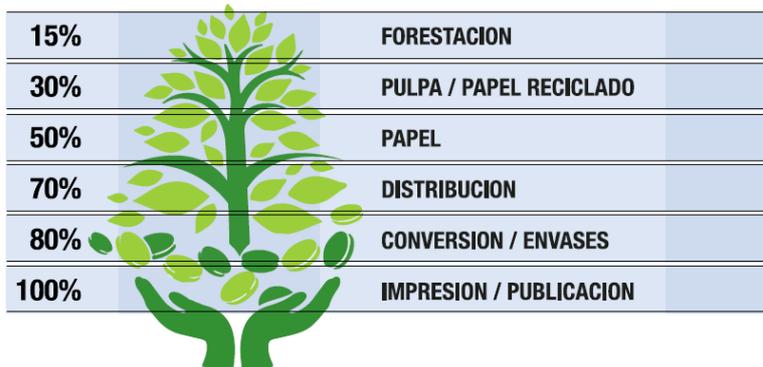
		y desfibrado mecánico suave	
Químico	Latifoliadas, coníferas, fibras no madereras	Acción química intensa y tratamientos térmicos intensos	40 – 60 %

La fabricación de pulpa, papel y cartón se presenta actualmente como uno de los sectores industriales más importantes en el mundo. Es difícil comparar el tamaño de esta actividad con otras, en razón de los diversos productos resultantes de su transformación y de su participación como insumo en una vasta gama de artículos industriales.

El papel presenta grandes ventajas:

- se utiliza una materia prima renovable (árboles y otras plantas),
- la fabricación de pulpa se realiza con forestaciones, que reducen el dióxido de carbono contenido de la atmósfera y también el efecto invernadero,
- puede ser reciclado varias veces (5 a 7) reduciendo la basura urbana, ya que el papel usado retorna a la fabricación,
- es un producto natural y biodegradable.

El papel es un material habitual para muchas personas y es un medio fundamental para los negocios y la administración. La demanda mundial de papel, cartón y cartulina exhibe un sostenido crecimiento, debido al desarrollo de las nuevas formas de envases y presentación de productos (“packaging”) y las mayores demandas sociales de bienestar (incremento en el consumo de papeles sanitarios y de uso doméstico). También contribuyen al aumento de la demanda, las exigencias de conservación del ambiente; poniéndose de manifiesto la condición biodegradable del papel y la celulosa, frente a otros materiales. La concepción ambiental generó nuevos desafíos. En la Figura VII.4, se ve a los sectores de publicación e impresión representados por la base (ganancia acumulada del 100 %), le sigue el sector de conversión y embalaje (80 %), el de los intermediarios (distribuidores y depósitos, 70 %), el de fabricación de papel (50 %), de pulpa (30 %) y finalmente los productores forestales, que son en este esquema los que menos ganan (15%).

VALOR AGREGADO EN LA INDUSTRIA DE LOS PRODUCTOS DE PAPEL

Papermaking Science and Technology, Book 1: Economics of the pulp and paper industry, Chap. 1: Main characteristics of the global forest industry, pp.10-19, Finish papers Eng. Ass. Ed.–Tappi, Fapet Oy, Helsinki, 1998.

Figura VII.3. Pirámide representativa del orden de las ganancias de la industria de los productos de papel.

Fuente: Area et al., 2014.

En Argentina el 90 % del proceso de fabricación de pulpa celulósica se realiza con un digestor mediante el procedimiento kraft (proceso de pulpado químico) y el resto por procedimiento semiquímico o mecánico. El proceso kraft presenta un rendimiento menor al proceso mecánico pero logra una mayor deslignificación, o sea una mayor separación de las fibras celulósicas de la lignina. La lignina representa entre el 25 y 30 % de la fibra.

El papel se forma depositando una suspensión diluida de pasta sobre una malla fina que permite drenar el agua a través de ella, reteniendo las fibras que quedan entramadas. Una vez que se separa de la malla, esta capa de fibras es secada y prensada, convirtiéndose en una hoja con las propiedades y resistencia asociadas que conocemos como papel (Area, 2021).

Bibliografía

1. Area, M. C. 2021. Tecnologías de la industria de pulpa y papel. Texto didáctico "Materias primas". PROCYP.
2. Area, M.C., Reboratti, C, Teves, R., Caro, A., Holman, B., Segovia, D., Villalva, O., Vidal, A., Peirano, C., Mestres, L. M., Carbajal, J., Rojas, R. F., Wendler, A. J., López, J., Jobbágy, E., Rusch, V., Vila, A., Ré, A. T., Olmo, L., Schlichter, T., Braier, G., Galeano, M. 2014. Educar para un desarrollo forestoindustrial sustentable. Editorial. 140 p.
3. Dirección Nacional de Estudios Regionales y de Cadenas de Valor (DNERYCV). 2024. Con base en PROCYP, UNAM.

Capítulo VIII

Industrias de remanufactura, construcción y carpintería

Autor: Maximiliano Umlandt

Las industrias de remanufactura, construcción y carpintería consisten en un conjunto de procesos que dependiendo de cuál de las industrias se trata se pueden obtener bienes intermedios y/o bienes finales. A modo de ejemplo una viga multilaminada (fig. VIII.1a) es un producto intermedio que se obtiene de un proceso de remanufactura, y que por sus características se la ocupa en estructuras donde las vigas de madera maciza no pueden ser usadas por sus limitaciones dimensionales (principalmente en su longitud), como por ejemplo un puente de madera (fig. VIII.1b), un espacio de uso múltiple con cerramiento (techo) de madera (fig. VIII.1c) o en una vivienda de madera (fig. VIII.1d), a su vez, estos tres últimos ejemplos corresponden a productos que se obtienen en los procesos de construcción con madera (y derivados de la madera).



Figura VIII.1. Representación de una viga multilaminada (a), un puente de madera (b), un cerramiento (techo) de madera, (c) y (d) una vivienda de madera. Fuente: Maderera Topic (2025) (a), Arguello (2023) (b), Wood SRL (2025) (c) y Nico Saieh (2017) (d).

Finalmente los procesos de carpintería aportan el mayor valor agregado a la madera, pues sus productos son en su mayoría bienes finales, listos para ser adquiridos por el consumidor final. En este rubro tenemos los mobiliarios como mesas, sillas, alacenas, bajo mesadas, armarios, escritorios, sillones, exhibidores, roperos y otros (fig. VIII.2). Las puertas y ventanas también son productos de carpintería, se las mencionan normalmente como aberturas (fig. VIII.2).



Figura VIII.2. Imágenes de juegos de mesas y una abertura (puerta). Fuente: Diambra (2025) y OpenAI (2025).

Industrias de Remanufactura

La remanufactura de la madera es el proceso de transformación de productos provenientes del proceso de aserrado (transformación primaria) en productos de mayor valor agregado mediante mecanizado, ensamblado, impregnación, entre otros tratamientos (transformación secundaria).

El objetivo de este proceso es mejorar la calidad y precisión dimensional de la madera, permitiendo su uso en aplicaciones más especializadas como muebles, pisos, molduras, tableros alistonados, componentes para la construcción y otros productos terminados.

En términos industriales, que un proceso de fabricación incluya remanufactura implica que optimiza el aprovechamiento de la materia prima, reduce desperdicios y permite generar productos con estándares específicos.

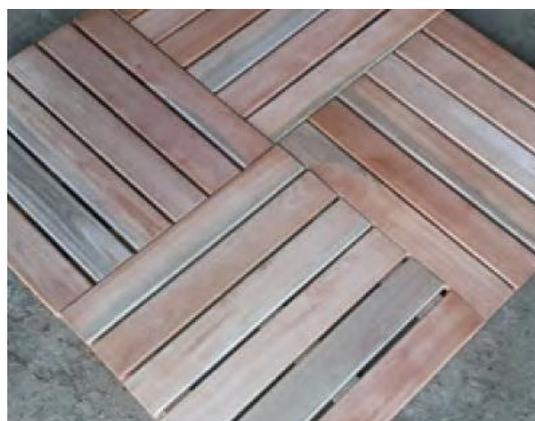
Es una actividad clave en la cadena de valor forestal, ya que aporta mayor rentabilidad y diversificación a la industria maderera.

En la tabla VIII.1 se presenta una clasificación general de la remanufactura, por un lado según el tipo de producto que se genera y por el otro según el nivel de procesamiento.

Tabla VIII.1. Clasificación de la remanufactura. Fuente: Umlandt *et al.* (2022).

Clasificación		Descripción
Según el tipo de producto final	Molduras y perfiles	Incluyen zócalos, marcos, bastidores y otros perfiles utilizados en carpintería y construcción.
	Tableros alistonados y laminados	Se producen uniendo piezas de madera maciza para fabricar superficies homogéneas utilizadas en muebles y revestimientos.
	Piezas para mobiliario	Incluyen componentes mecanizados para la industria del mueble, como patas, travesaños y estructuras.
	Componentes estructurales	Vigas laminadas, madera laminada cruzada (CLT) y madera laminada enchapada (LVL), utilizados en construcción.
Según el nivel de procesamiento	Primaria	Procesos básicos: cepillado, secado y clasificación de madera.
	Secundaria	Mayor valor agregado: mecanizados más precisos, ensamblado y tratamientos químicos o térmicos.
	Avanzada	Procesos con tecnología de control numérico computarizado (CNC): acabados de alta precisión y productos listos para su instalación o uso final.

En la figura VIII.3 se muestran imágenes de distintos productos obtenidos de procesos de remanufactura publicados en el catálogo de la Asociación Civil Plan Estratégico Foresto Industrial de Corrientes (APEFIC).



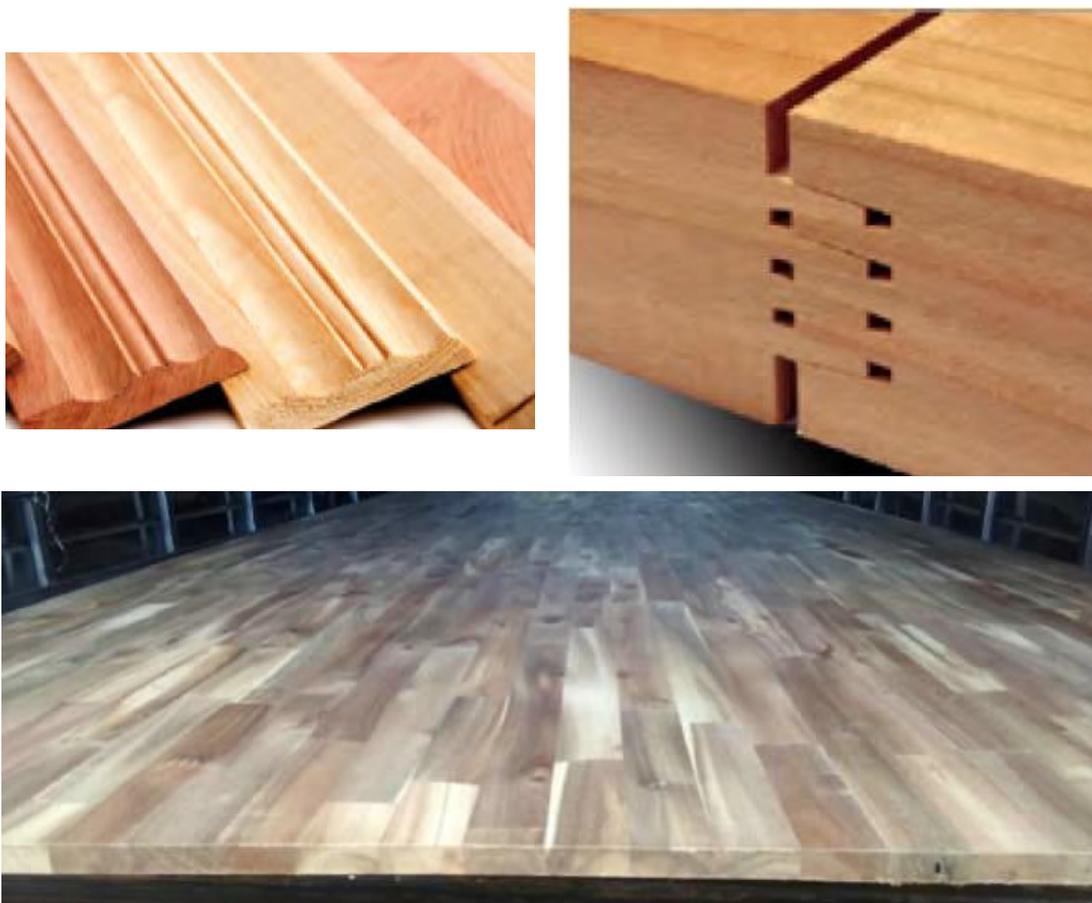


Figura VIII.3. Imágenes de machimbre, deck, molduras, unión Finger Joint y tablero alistonado.
Fuente: APEFIC (2019) y Cooperación Verde (2020).

Etapas principales del proceso de remanufactura

El proceso de remanufactura en la industria maderera puede variar dentro de una amplia combinación de operaciones manuales y automatizadas conforme la recuperación de materiales y de los productos a obtener, no obstante, se pueden identificar las etapas y operaciones principales que intervienen en estos procesos como se indica en el diagrama de flujo de la figura VIII.4.

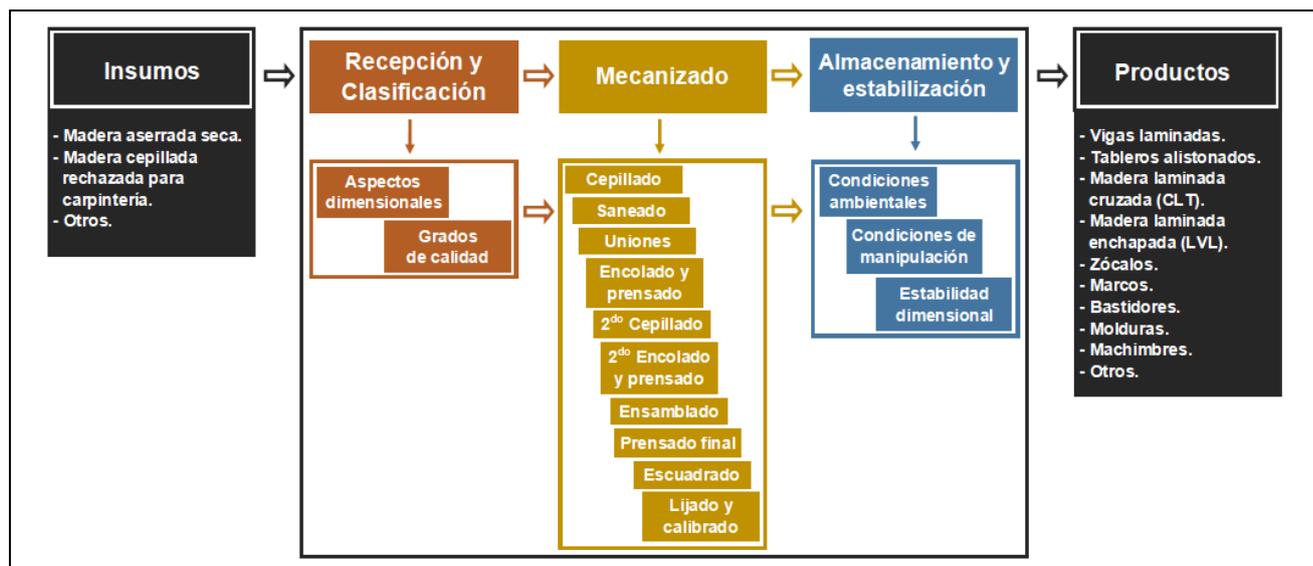


Figura VIII.4. Diagrama de flujo de un proceso general de remanufactura. Fuente: Umlandt *et al.* (2022).

A continuación se describen las operaciones de cada una de las etapas indicadas en el diagrama de flujo anterior:

1 - Recepción y Clasificación.

Se recibe la madera aserrada seca y se clasifican según sus escuadrías (espesor y ancho de la pieza de madera), longitudes, presencia de defectos, viabilidad de reacondicionamiento y otros. La clasificación también es para asignarles a las piezas distintos grados de calidad y separarlas de acuerdo a los productos a obtener y los estándares a cumplir.

2 - Mecanizado.

En esta etapa las piezas de madera son procesadas en diversas máquinas y equipos para redimensionarlas, eliminar irregularidades y mejorar su condición funcional según los productos a obtener.

- Cepillado: proceso mediante la cual se regularizan los parámetros dimensionales de las piezas de madera. Las máquinas que realizan este proceso son cepilladoras de cuatro caras, que cepillan los cuatro planos de la pieza de madera (dos caras y los dos cantos) en la misma operación, o también las moldureras de cuatro o más cabezales en los cuales se colocan las herramientas de cepillado y de fresado si correspondiera alguna moldura (fig. VIII.5).



Figura VIII.5. Moldurera de 4 operaciones. Fuente: Taurus (2025).

- Saneado: se marcan en la superficie de las piezas de madera los defectos para que sean eliminados por medio del trozado de la pieza de madera. El trozado se lleva con una sierra circular (fig. VIII.6).



Figura VIII.6. Moldurera de 4 operaciones. Fuente: Taurus (2025).

- Unión para piezas cortas: a las piezas cortas obtenidas en el saneado se las procesa para que tengan uniones que permitan en otras etapas producir piezas de grandes longitudes. La unión más utilizada es la finger joint (unión dentada) que consiste en un mecanizado sobre las cabezas de las piezas cortas de madera (fig. VIII.7). El dentado aumenta la superficie específica de contacto permitiendo unir por sus extremos las piezas cortas (generando piezas de mayor longitud).

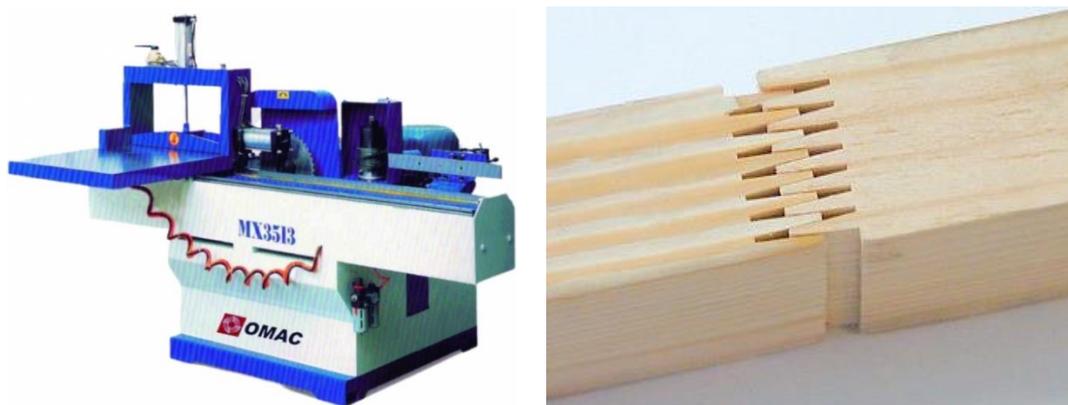


Figura VIII.7. Máquina para generar unión tipo finger joint.y ejemplo del ensamble. Fuente: Taurus (2025) y Maderera Andina (2022).

- Encolado y prensado: las piezas cortas a las cuales se les realizó la unión dentada es sus extremos (cabezas) se les aplica adhesivo sobre las superficies dentadas y se prensan. El prensado es una operación en frío y la dirección de aplicación de la presión es en sentido longitudinal de las piezas de madera. Es esta etapa es donde se obtienen los “listones”, piezas de grandes longitudes obtenidos a partir de la unión de piezas cortas.

- Segundo cepillado: en esta operación se eliminan las irregularidades generadas en el encolado y prensado anterior, por ejemplo los excesos de adhesivos en las uniones e irregularidades dimensionales en las tablas obtenidas (listones).

- Segundo encolado: los listones (tablas obtenidas por uniones de piezas cortas) son encolados nuevamente para posteriormente elaborar los tableros alistonados o vigas laminadas. En base al producto a obtener, en esta operación cada listón cepillado es encolado por sus cantos o caras. En el primer caso, encolando sus cantos se podrá unir los listones lateralmente para la formación de tableros alistonados. En el segundo caso, encolando la cara se podrán unir los listones superponiendo uno arriba de otro para la formación de las vigas laminadas.

- Ensamblado del producto: conforme las características del producto a fabricar se debe prever los aspectos dimensionales de los listones, humedad de la madera, las especificaciones técnicas del adhesivo, el tiempo de fraguado, las condiciones ambientales óptimas, los tiempos operativos requeridos para el armado y prensado,

maquinado subsiguiente para el caso de obtener productos de carpintería y el acondicionamiento.

- Prensado final: luego de ser ensamblado el producto, la consolidación y estabilidad del mismo se obtiene mediante la operación de prensado (fig. VIII.8). Dependiendo el producto es el tipo de prensa que se puede utilizar. Para vigas laminadas pueden usarse prensas hidráulicas de longitudes comerciales de 6 y 12 metros, aunque también se encuentran de hasta 24 metros, pueden ser de alimentación horizontal o vertical. Las prensas para tableros alistonados son del tipo abanico permitiendo prensar varios tableros simultáneamente, las dimensiones comerciales varían aproximadamente entre 122 cm x 244 cm y 122 cm x 300 cm; y espesores desde 15 mm hasta 60 mm.



Figura VIII.8. Prensa de vigas laminadas y prensa de tableros alistonados. Fuente: Taurus (2025), Maderera Topic (2025) y Maderas Moral (2025).

- Escuadrado: después de obtener el producto consolidado gracias a la operación de prensado, se realiza el escuadrado. Esta operación tiene como finalidad asegurar que las caras laterales del producto (los cantos) en sus extremos tengan encuentros ortogonales, o sea, vértices a 90°. Comúnmente la operación se realiza en máquinas

escuadradoras o seccionadoras (Fig. VIII.9), ambas máquinas tienen como herramientas de corte sierras circulares pero la seccionadora tiene una segunda sierra circular, considerablemente más pequeña denominada sierra incisora y su objetivo es obtener cortes limpios de mayor calidad, evitando que se astille el producto durante el inicio y final de cada corte.



Figura VIII.9. Sierra seccionadora horizontal. Fuente: Taurus (2025).

- Lijado y calibrado: son operaciones de terminación superficial sobre los productos obtenidos del escuadrado. Sus objetivos son obtener superficies uniformes y con medidas precisas. El lijado utiliza abrasivos para alisar la superficie y eliminar imperfecciones. El calibrado ajusta los espesores de la madera a medidas específicas. Estas operaciones se realizan con más de una máquina como por ejemplo lijadora de banda y lijadora calibradora (Fig. VIII.10), con dos lijadoras calibradoras en donde la primera hace el lijado y la segunda el calibrado, o con una única lijadora calibradora que tenga dos o más bandas de lijado pudiendo realizar en una máquina la operación de lijado y también la de calibrado.



Figura VIII.10. Lijadora de banda (a) y lijadora calibradora (b). Fuente: Taurus (2025) (a) y Caseros M. (2025) (b).

3 - Almacenamiento y estabilización

Esta etapa es crucial para mantener la calidad y evitar las deformaciones de los tableros alistonados y vigas laminadas.

El almacenamiento debe realizarse en un lugar seco, ventilado, que asegure resguardo de la intemperie y de luz solar directa. Los productos no deben apilarse directamente sobre el piso, es necesario disponer de separadores y estructuras que aseguren el cuidado de los productos del ambiente que los rodea y que al mismo tiempo permitan la manipulación segura de los mismos.

La estabilización hace referencia al proceso de equilibrar la humedad de los productos con el medio ambiente en el que se encuentran, por medio de la disminución su contenido de humedad hasta niveles adecuados para su uso. Para ello es preciso que el almacenamiento se realice en ambientes con condiciones apropiadas de humedad relativa (HR) y temperatura (T°).

Construcción con madera

La Construcción con Madera es un sistema constructivo basado en el uso de madera maciza o industrializada como material estructural y de terminación para edificaciones de diversa escala. Incluye viviendas, edificios comerciales, infraestructura urbana y obras de ingeniería, combinando técnicas tradicionales y avanzadas con criterios de eficiencia, sustentabilidad y alto rendimiento estructural. En la tabla VIII.2 presentan las características principales de las construcciones con madera.

Tabla VIII.2. Características principales de las construcciones con madera. Fuente: Umlandt *et al.* (2024).

Sustentabilidad	La madera es un material renovable con menor impacto ambiental en comparación con el hormigón y el acero. Su producción emite menos CO ₂ y actúa como sumidero de carbono.
Versatilidad y adaptabilidad	Se emplea en diversos sistemas constructivos, desde entramados ligeros hasta estructuras macizas con tableros CLT (Cross Laminated Timber) o LVL

	(Laminated Veneer Lumber).
Industrialización y prefabricación	Permite procesos controlados en fábrica, reduciendo tiempos de obra y mejorando la calidad final.
Alto desempeño estructural	La madera posee una excelente relación resistencia-peso, con buena capacidad para absorber cargas sísmicas y térmicas.
Eficiencia energética	Su baja conductividad térmica mejora el confort y reduce costos energéticos en calefacción y refrigeración.

Sistemas constructivos con madera

Los sistemas constructivos con madera hacen referencia a un conjunto de recursos, elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular (Celano, 2020). En la tabla VIII.3 se indica una clasificación general de los sistemas constructivos con madera.

Tabla VIII.3. Clasificación de los sistemas constructivos con madera. Fuente: Celano (2020) y Mazzitelli (2020) modificado por Umlandt *et al.* (2024).

Clasificación de los sistemas constructivos	Sistema Macizos	Redondo
		Escuadrados
	Sistema Entramado Pesado	Poste-Viga
	Sistema Entramado Ligero	Americano
		Baloom Frame
		Plataforma
	Sistema Paneles	Pequeños Paneles
		Grandes Paneles
		Módulos Tridimensionales
	Sistemas Alternativos	Ladrillos
		Placas Rígidias CLT

Los sistemas constructivos con madera más utilizados en Argentina son el sistema “Poste y Viga” (entramado pesado) y el sistema “Plataforma” (entramado ligero).

Sistema Poste y Viga

Este sistema constructivo se basa en la disposición ortogonal de elementos verticales denominados columnas (postes) y elementos horizontales denominados vigas, los cuales conforman un entramado rígido que soporta las cargas de la edificación, sin depender de muros portantes.

Es una estructura portante independiente en la que luego se realiza el cerramiento con distintos materiales (ladrillos, piedras, etc.). El uso de diagonales, colocadas en forma intuitiva es una característica que identifica a esta antigua tecnología. Las uniones entre columnas y vigas son materializadas mediante diferentes encastres de carpinterías y mediante tarugos de madera, como así también por medio de herrajes metálicos.

Los componentes principales del sistema “Poste y Viga” son (Fig. VIII.11):

- Columnas (postes): elementos verticales que transmiten las cargas de la estructura hacia la cimentación. Dependiendo las secciones y altura de la columna pueden ser de madera maciza o madera laminada (para grandes dimensiones).
- Vigas: elementos horizontales que conectan los postes y soportan los techos, entresijos o cubiertas. Dependiendo las longitudes a cubrir, las vigas pueden ser de madera maciza o de madera laminada para el caso de grandes longitudes.
- Ensamblajes: las uniones entre postes y vigas pueden ser mecánicas (metálicas) o tradicionales (ensamblajes a media madera, caja y espiga y otras).
- Arriostramientos: elementos utilizados en diagonales que se incorporan a la estructura para asegurar la estabilidad lateral frente a fuerzas de viento o sismo.
- Cerramientos: elementos no estructurales como paneles o placas utilizados para separar (o dividir) el espacio interior de la construcción del ambiente exterior. Normalmente es mampostería liviana, tableros OSB, paneles SIP, vidrio, etc.



Figura VIII.11. Imágenes del sistema poste y viga. Fuente: Apuntes Ingeniero Civil (2011) (a) y Mazzitelli (2020) (b).

Sistema Plataforma

En los “Sistemas de Entramado Ligero” la Secretaría de Agroindustria (2018) indica que la estructura de una vivienda está conformada por la fundación, el basamento (entramados horizontales), entrepiso (en el caso de viviendas con planta alta,) entramados verticales (muros portantes y de cerramiento y estructura de techo.

Estos sistemas de entramado ligero básicamente consisten bastidores hechos a partir de tirantes de madera de 2x4 pulgadas, a los cuales se les incorpora placas que le otorgan rigidez y arriostramiento al conjunto. En este sistema todos sus muros (bastidores) son portantes (Fig. VIII.12).

Cada bastidor puede incorporar la instalación eléctrica, sanitaria, aislaciones térmicas, hidrófugas e higrotérmicas, puertas y ventanas, de acuerdo con su ubicación y necesidad y finalmente ejecutar en obra los anclajes a la fundación, uniones y encuentros entre las partes.

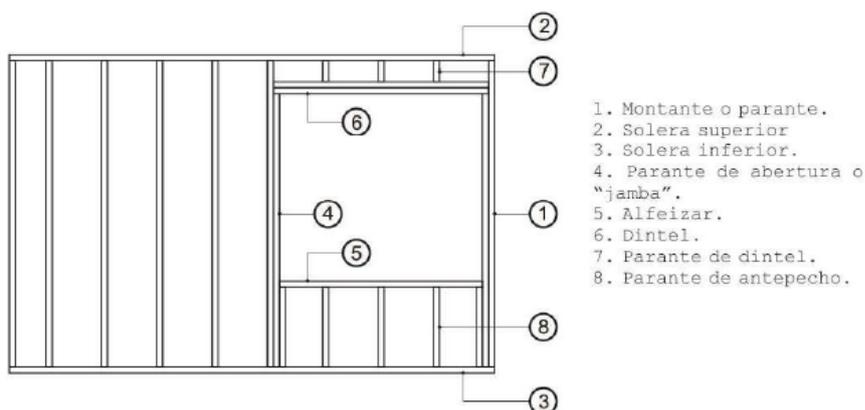


Figura VIII.12. Esquema técnico de un bastidor (muro). Fuente: Secretaría de Agroindustria (2018).

Particularmente para el "Sistema de Plataforma" la principal ventaja es que cada piso se construye de manera independiente (Fig. VIII.13). Es un sistema constructivo liviano de entramado estructural de madera que se basa en la construcción por niveles o plantas, donde cada piso funciona como una plataforma horizontal que soporta la estructura superior. Este método construye una planta a la vez, optimizando la estabilidad y el montaje.

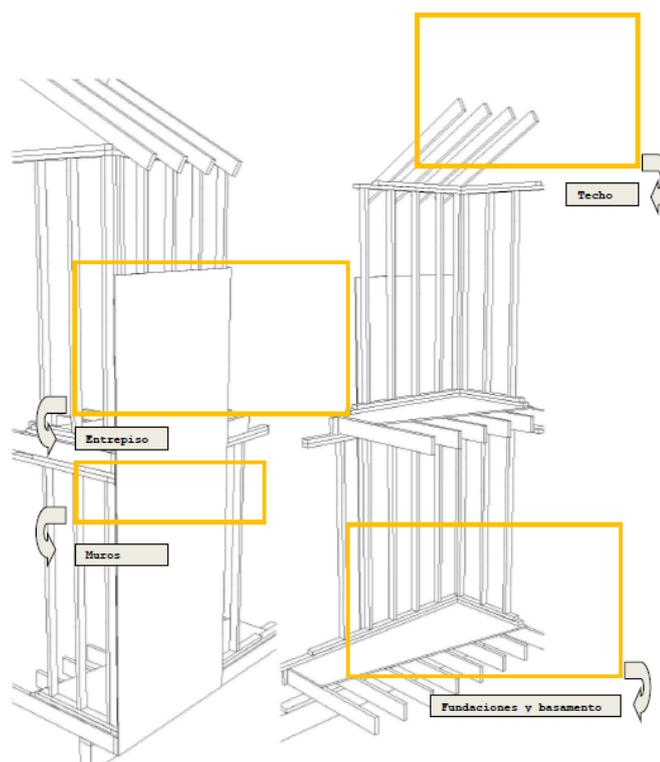


Figura VIII.13. Esquema técnico de un bastidor (muro). Fuente: Secretaría de Agroindustria (2018).

Los componentes principales del sistema “Plataforma” son (Fig.VIII.14):

- Montantes o parantes: piezas verticales de madera (2”x4”) que con otros elementos conforman los muros.
- Solera inferior: pieza horizontal inferior que forma parte de la estructura del muro. Fija y distribuye las cargas verticales hacia el piso, conectando los montantes y los travesaños, creando una base sólida y estable. Se apoya sobre la plataforma.
- Solera superior: una pieza horizontal que une los montantes por arriba y sirve de apoyo para los elementos de entrepiso o techo. Su función principal es fijar y unir todos los elementos verticales y ayuda a distribuir las cargas.
- Vigas y vigas de borde: elementos estructurales que forman el entramado del piso, entre piso o techo. Sobre ellas se apoyan los paneles estructurales.
- Paneles estructurales: normalmente OSB o terciado estructural, se los utiliza para generar los revestimientos clavados sobre las caras exteriores del entramado. Brindan rigidez estructural y actúan como diafragma.
- Aislaciones y cerramientos: son los elementos colocados entre los montantes con el objetivo de generar aislaciones térmicas, acústicas y evitar el ingreso de la humedad desde el ambiente exterior al interior de la estructura.

Los cerramientos interiores y exteriores pueden ser de placa de yeso, revestimientos de madera, siding, etc.





Figura VIII.14. Imágenes del sistema Plataforma. Fuente: Madera21 (2025) (a) y Toscana (2020) (b).

Carpintería

La “carpintería con madera” es el oficio y la técnica de trabajar la madera y sus derivados para la fabricación, ensamblaje y acabado de elementos funcionales, en algunos casos objetos simples de uso cotidiano como así también objetos complejos como los mobiliarios y aberturas, e inclusive hasta estructuras y construcciones con madera. El término “carpintería” se usa también para denominar al sector o área de una fábrica en la cual se realiza el proceso de transformación de madera maciza o industrializada (proveniente de las áreas de aserrado y/o de remanufactura) mediante procesos de corte, mecanizado, ensamblado y acabado, para la elaboración de productos finales aplicando principios de diseño, resistencia y estética.

Características principales de la carpintería

En comparación con las áreas de aserrado y de remanufactura el área de carpintería es donde más se complejiza la organización, planificación y programación del trabajo, pues no todos los productos que se realizan en la carpintería ocupan las mismas materias primas, los mismos insumos, las mismas máquinas y con las mismas herramientas de corte, etc.

En términos de “unidades productivas o unidades de negocio” las carpinterías pueden formar parte de un proceso mayor que las incluya, como un sistema integrado tipo “Aserradero-Remanufactura-Carpintería” o ser únicamente “Carpintería”. Dado que en capítulos anteriores se abordaron las características de los procesos de “aserrado” y de “remanufactura”, en esta instancia el proceso de carpintería se analizará de manera independiente del resto. En la tabla VIII.4 se indica una clasificación de las carpinterías conforme sus procesos de producción, a las materias primas utilizadas y a los productos obtenidos.

Tabla VIII.4. Clasificación de las carpinterías. Fuente: Corbalán *et al.* (2023).

Clasificación	Descripción	
En base a sus procesos de producción.	Producción unitaria o por pedido	Productos fabricados a medida o en base a diseños exclusivos.
	Producción por lotes	Cada tipo de producto es fabricado en cantidades previamente establecidas, esas cantidades de un mismo producto se denominan lotes.
	Producción en serie	Es la producción enfocada en la fabricación de productos estandarizados en grandes cantidades, característico de las carpinterías industriales.
En base a las materias primas utilizadas.	Carpintería tradicional	Unidades productivas que fabrican sus productos principalmente a partir de madera maciza: algarrobo, cedro, pino, eucalipto, peteribí, etc.
	Carpintería con placas	Unidades productivas que fabrican sus productos a partir de paneles a base de madera: MDF, aglomerado, fenólico, OSB, melamina, etc.
	Carpintería mixta	Unidades productivas que elaboran sus productos utilizando madera maciza y paneles a base de madera.
En base a los productos obtenidos.	Carpintería de obra	Puertas y ventanas (aberturas), escaleras, barandas, revestimientos, cielorrasos y otros.
	Carpintería de mobiliario	Muebles en general: placares, bibliotecas, alacenas, mesas, sillas, sillones, camas, racks, escritorios, otros.

Proceso Productivo de Carpintería

Un proceso de producción de carpintería puede variar notablemente cuando se produce un juego de mesa y sillas a cuando se produce una puerta, inclusive, el proceso y sus operaciones varía entre producir una puerta para exterior y una puerta para interior. La figura VIII.15 muestra de manera muy general las operaciones necesarias para llevar a cabo dos procesos de carpintería, uno para producción de mobiliarios de melamina y otro para mobiliarios de madera.



Figura VIII.15. Diagrama de flujo de procesos de carpintería con placa y con madera. Fuente: TABLERED Arauco (2025).

Como se observa en la figura VIII.15 el proceso de melamina requiere menos operaciones en comparación con el de madera maciza para llevar a cabo la producción de mobiliarios. En general, en las operaciones de mecanizado de las placas intervienen menos cantidad de máquinas que para el mecanizado de la madera maciza.

En la figura VIII.16 se presenta un diagrama de flujo general de procesos de carpintería con placa y con madera un poco más desarrollado, en el cual tanto la carpintería con placas como la carpintería con madera maciza el punto de partida del proceso es el “diseño del producto” a elaborar; y el punto de finalización es la “instalación o embalaje y despacho”.



Figura VIII.16. Diagrama de flujo general de procesos de carpintería con placa y con madera. Fuente: Corbalán *et al.* (2023).

A continuación se describirán las operaciones de carpintería indicadas en el diagrama de flujo de la figura VIII.16.

Diseño del producto

Etapa del proceso en la cual se identifican las necesidades del cliente a resolver por parte del mobiliario, los materiales a partir de los cuales se lo fabricará, la elaboración de bocetos, croquis, planos y despieces que permitan realizar cálculos de materiales e insumos, como así también establecer las máquinas, equipos y mano de obra a utilizar.

Recepción y almacenamiento de materia prima

Se lleva a cabo el ingreso, registro y control de placas (melamina, MDF, alistonado, OSB, fenólico, etc.) y tablonos, tablas, listones de madera. Se ordena y da ubicación a la materia prima según el plan de producción, órdenes de trabajo, otros.

En esta operación también se verifica el grado de calidad y ordena el material de acuerdo al tipo de madera, a sus dimensiones, si es madera seca o no, estado sanitario y otros.

En esta etapa del proceso también son adquiridos y gestionados todos aquellos insumos necesarios para la fabricación de los productos: herrajes, clavos, tornillos, bulones, tarugos, barnices, impregnantes, pinturas, macillas, tapacantos, colas y otros.

Oreado y acondicionamiento

Cuando la madera adquirida no está seca entonces se la ordena como una pila de secado en un lugar tal que quede expuesta a la circulación del aire libre (pero cubierta). De esta manera el aire que circula a través de la pila retira humedad de la superficie madera por evaporación. Este proceso permite de manera natural disminuir el contenido de humedad en las tablas. El tiempo de oreado depende de factores como el clima, la humedad del aire y el tipo de madera.

El objetivo del oreado es garantizar estabilidad dimensional y evitar deformaciones posteriores en las piezas de madera.

Medición y Marcado

La medición y marcado de piezas se realiza según planos o diseño y la finalidad es guiar los cortes y operaciones siguientes con precisión para que las piezas encajen correctamente. Se utilizan reglas, escuadras, cinta métrica y lápices de carpintero para medir y marcar líneas, ángulos y dimensiones con exactitud.

Mecanizado

Son las operaciones de corte para el caso de placas; y de corte y desbaste para el caso de la madera, con distintas máquinas para poder obtener piezas dimensionadas y con terminaciones tales que se puedan ensamblar posteriormente.

Corte longitudinales y transversales: sierra sinfín, sierra circular, sierra circular escuadradora, sierra ingleteadora, sierras seccionadoras optimizadoras horizontales y verticales; y otros.

Regruesado de espesores y anchura: regruesadora garlopa, regruesadora cepilladora, cepilladora cuatro caras y otros.

Fresado, ranurado, moldurado, perforado: Tupí, escopladora, barreno, moldurera, agujereadora simple y/o múltiple, torno y otros.

Enchapado (de cantos)

Es la operación que tiene como objetivo cubrir los bordes de las placas con una capa delgada de material conocido como tapacantos, para proteger y obtener un acabado estético sobre los bordes de la placa que por su ubicación en el mobiliario son visibles para los usuarios. Los tapacantos suelen tener la misma terminación que la placa en la que se los usa.

Ensamblado

En esta etapa se unen las piezas partes de forma firme y precisa para formar los mobiliarios, aberturas y estructuras. Para la unión de las piezas, según corresponda por diseño, se realiza encolado y prensado en las uniones generadas en las operaciones de mecanizado (por ejemplo: caja y espiga, milano, etc.), o por medio de la utilización de tornillos, clavos o herrajes.

Acabado Superficial

Conjunto de operaciones para la eliminación de marcas y obtención de superficies uniformes en la madera por medio de lijadoras de banda, lijadoras orbitales y lijadoras calibradoras, permitiendo posteriormente la correcta aplicación de selladores, barnices, lacas o pinturas para mayor durabilidad y mayor valor estético de los productos.

Instalación o embalaje y despacho

En la “carpintería de obra” sus productos necesariamente deben ser trasladados e instalados, por lo tanto su proceso de producción incluye la colocación y fijación de los mobiliarios o piezas de carpintería en el lugar correspondiente, asegurando su correcta funcionalidad y estética.

El embalaje consiste en otorgarle a los productos de carpintería un correcto recubrimiento por medio de cajas de cartón, film de burbujas, telgopor (tergopor),

espuma u otros materiales que eviten daños durante la manipulación y el transporte de los mobiliarios.

El despacho hace referencia a la entrega de los productos embalados al cliente, tanto que sea en las propias instalaciones de la carpintería como por medio del uso de la logística y transporte para hacer la entrega a domicilio o por medio de locales comerciales.

En la figura VIII.17 se muestran algunas de las máquinas utilizadas en los procesos de carpintería.



Figura VIII.17. Máquinas para carpintería. Caseros M. (2025).

Bibliografía

1. APEFIC. 2019. *Catálogo de Productos Madereros para la Construcción*. Programa de Desarrollo Foresto Industrial 2018/19. Asociación Civil Plan Estratégico Foresto Industrial de Corrientes. Corrientes, Argentina. Pp. 115.
2. Celano, J. 2020. *Módulo 4: Sistemas Constructivos*. Diplomatura: Uso y Construcción Eficiente con Madera. Instituto Misionero de Estudios Superiores (IMES), y Asociación de Productores, Industriales y Comerciantes Forestales de Misiones y Norte de Corrientes (APICOFOM), Misiones, Argentina. Pp. 28.
3. Corbalán, Y. E., Benitez, F. y Umlandt, M. 2023. *Serie Didáctica: Diseño y Fabricación de Mobiliarios – Carpintería 1^{era} Parte*. Departamento de Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. Pp. 190. (En Edición)

4. CORMA. 2008. *Manual La Construcción de Viviendas en Madera*. Corporación Chilena de la Madera. Concepción, Chile. Pp. 635.
5. Mazzitelli, V. C. 2020. *Madera = Vida = Madera. Material de Diseño y Construcción*. Webinar Construcciones con Madera. Centro Tecnológico de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp. 101.
6. MINED. 2016. *Manual elaboración muebles de madera*. Ministerio de Educación. Nicaragua. Pp. 170.
7. Keil, G. D., Spavento, E. M. y Raffaelli, N. 2022. *Industrialización de la madera. Transformación mecánica y química: tecnologías y puesta en valor sustentable*. Editorial de la UNLP. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Pp. 201.
8. Secretaría de Agroindustria. 2018. *Guía introductoria para la construcción de viviendas bajo el sistema de entramado de madera*. Secretaría de Agroindustria, Ministerio de Producción y Trabajo, Presidencia de la Nación. Bs As, Argentina. Pp. 28.
9. Umlandt, M., Ruiz, A., Schimpf, R., Corbalán, Y., Jiménez, V., Benitez, F. y Acosta, M. 2022. *Serie Didáctica: Introducción a los Mecanismos, Equipos y Máquinas para Trabajar la Madera*. Departamento de Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, Argentina. Pp. 122. **(En Edición)**
10. Umlandt, M., Ruiz, A., Benitez, F. y Corbalán. 2024. *Serie Didáctica: Sistemas Constructivos con Madera*. Departamento de Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, Argentina. Pp. 85. **(En Edición)**

Páginas web

1. Apuntes Ingeniero Civil. 2011. *Sistema poste- viga casas madera*. Proyectos, apuntes y normas técnicas de Ingeniería Civil, Apuntes Ingeniería Civil. Disponible el 9 de mayo de 2025 en sitio web: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/12/sistema-poste-viga-casas-madera.html>
2. Arguello J. C. 2023. *Puentes de madera: diseños espectaculares, son un imán para el turismo y enfatizan la belleza natural y sustentable*. Disponible el 5 de mayo de 2025 en sitio web: <https://economis.com.ar/puentes-de-madera-disenos-espectaculares-son-un-iman-para-el-turismo-y-enfatizan-la-belleza-natural-y-sustentable/>
3. Caseros M. 2025. *Máquinas para la industria de la madera*. Maquinarias Caseros S.A. Disponible el 15 de mayo de 2025 en sitio web: <https://mcaseiros.com/productos/>
4. Cooperación Verde. 2020. *Tableros alistados*. Catalogo Maderas Al Natural, Cooperación Verde. Disponible el 12 de mayo de 2025 en sitio web: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cooperacionverde.com/wp-content/uploads/2019/01/Flyer_maderas_visualizaci%C3%B3n-1.pdf
5. Construcción Con Madera Argentina. 2025. *Sistema de poste y viga. Tramas Abiertas*. Tipos de Sistemas, Información Técnica, Construcción Con Madera Argentina. Disponible el 9 de mayo de 2025 en sitio web: <https://construccionconmaderaargentina.org.ar/informacion-tecnica/>
6. Madera21. 2025. *Sistema de plataforma*. Los cinco sistemas constructivos en madera más utilizados. Madera21. Disponible el 11 de mayo de 2025 en sitio web: <https://www.madera21.cl/los-cinco-sistemas-constructivos-en-madera-mas-utilizados/>
7. Maderera Andina. 2022. *¿Cuánto sabemos del Finger Joint?*. Maderera Andina. Disponible el 12 de mayo de 2025 en sitio web: <https://maderera-andina.com/maderera-andina-cuanto-sabemos-del-finger-joint/>
8. Maderas Moral. 2025. *Tableros alistados*. Maderas Moral. Disponible el 12 de mayo de 2025 en sitio web: <https://maderasmoral.com/productos/tableros/tableros-alistados/>
9. Maderera Topic. 2025. *Vigas para Techos de Madera de Lengua*. Disponible el 22 de abril de 2025 en sitio web: <https://www.madereratopic.com/lander>
10. OpenAI. 2025. ChatGPT (versión de abril 2025). <https://chatgpt.com/>

11. TABLERED Arauco. 2025. *Mueble De Madera Vs Mueble De Melamina*. Arauco México. Disponible el 18 de mayo de 2025 en sitio web: <https://tablered.mx.arauco.com/mueble-de-madera-vs-mueble-de-melamina/>
12. Taurus. 2025. *División Maquinaria Maderera*. Grupo Taurus División Maderas. Disponible el 11 de mayo de 2025 en sitio web: <https://www.taurusmadera.com.ar/>
13. Toscana. 2020. *La madera, una tendencia actual en arquitectura*. Toscana Arquitectos. Disponible el 11 de mayo de 2025 en sitio web: <https://toscanaarquitectos.com/la-madera-una-tendencia-actual-en-arquitectura/>
14. Wood SRL. 2025. *Vigas Rectas y Curvas*. Wood SRL Madera laminada. Disponible el 17 de abril de 2025 en sitio web: <https://woodsrl.com.ar/categoria-producto/vigas-rectas-y-curvas/>
15. Saieh N. 2017. *Casa Vigas*. Urzúa Soler Arquitectos. Disponible el 17 de abril de 2025 en sitio web: <https://www.urzuasoler.cl/casa-vigas>

Capítulo IX

Industria de extractivos (taninos, resinas, gomas y mucílagos)

Autora: Myriam Ethel Ludueña

Las industrias de los extractivos forestales son aquellas que se dedican a la obtención de sustancias derivadas de la madera, corteza u otras partes de árboles, por diferentes métodos y su posterior transformación para su uso en particular. Se pueden clasificar en:

1. Industria taninera
2. Industria de la resina
3. Industria de las gomas y mucílagos

Industria taninera

En la industria taninera el producto obtenido es el tanino, que es el responsable de darle a los cueros propiedades especiales convirtiéndolos en más duraderos. Es decir, el tanino es una sustancia *curtiente* (polifenólica) y astringente con la capacidad de combinarse con las proteínas para formar sustancias insolubles, que transforma la piel en un producto impermeable e imputrescible, inalterable a los agentes que tienden a descomponer en estado natural o preservar los tejidos frente al envejecimiento celular. También puede usarse en la industria del petróleo como dispersante para regular la viscosidad del barro en la perforación de pozos. En medicina se emplea como astringente, en la industria textil para fijar tintes y como colorantes. En la industria de la celulosa, papel y cartones como aditivo, se usan taninos enológicos, en la industria del azúcar se usan taninos, en la industria minera para flotación de minerales. Se usa en la alimentación animal, en tratamientos de aguas y superficies y en especialidades naturales.

Existen tres diferentes tipos de taninos curtientes: vegetales o taninos, sintéticos e inorgánicos (sales de cromo, circonio y aluminio).

Los taninos vegetales o taninos son sustancias tánicas que se desprenden de alguna especie forestal o de alguna de las partes de la especie forestal de la que proviene (corteza, frutos, duramen, hojas, etc.). Esos tipos de taninos pueden dividirse en 2 grupos: los taninos hidrolizables y los taninos condensados. En Argentina, en la

provincia de Chaco especialmente, se trabaja con la madera de la especie emblemática “quebracho colorado chaqueño” (*Schinopsis balansae* Engl.), perteneciente a la familia de las Anacardiaceae. El tanino del quebracho colorado chaqueño es del tipo condensado. El “quebracho colorado chaqueño” contiene entre 20 y 22 % de sustancias tánicas y rinde desde el 31 % al 33 % de extracto con un contenido tánico del 70 %, mientras que el “quebracho colorado santiagueño” (*Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl.) contiene entre 15 y 16 % de sustancias tánicas y el rendimiento de extracto es hasta 26 %. Por estos motivos, la industria del tanino en Argentina elige emplear como materia prima el quebracho colorado chaqueño. Alrededor de 1880, comienza la industria del tanino de “quebracho” en Argentina, con fábricas que funcionaban en las provincias de Corrientes, Chaco, Santa Fe, Santiago del Estero, Formosa y Jujuy. Posteriormente, debido a la crisis económica internacional y nacional, y a la aparición de otra especie forestal originaria de Brasil principalmente, la *Acacia mearnsii* (mimosa) disminuyó la demanda del extracto de tanino de quebracho produciéndose el cierre de muchos establecimientos industriales. Actualmente, sólo las provincias de Formosa y del Chaco tienen industrias del tanino con 2 importantes empresas.

La producción industrial argentina de taninos proveniente de los bosques nativos correspondiente al año 2017, fue de 53.834 m³ (Alfonsín, 2023).

Proceso industrial de obtención del extracto de tanino

El proceso de obtención del tanino contiene variadas operaciones: desde el acopio de la madera en la playa y la obtención del aserrín pasando por procesos mecánicos, físicos y químicos hasta la obtención del extracto tánico. Entre las operaciones específicas se pueden mencionar:

1. la preparación de la madera correspondiente a la transformación mecánica de la madera en **aserrín**, exponiendo la mayor superficie posible al agua para facilitar la liberación de taninos,
2. la **extracción** del tanino del aserrín se efectúa por difusión en difusores de cobre, aplicando el principio de contra corriente y pasando agua caliente a más de 100 °C,

3. la **evaporación**, donde se obtiene el licor semisólido de tanino entre el 45 al 55 % (luego de la extracción, la madera agotada, libre de taninos, puede encontrar dos usos diferentes: ir a centrales térmicas de biomasa para producir energía, o bien sufrir un proceso de extrusión para transformarse en pellets para estufas),
4. y la **concentración** del extracto de tanino (el tanino líquido concentrado está listo para ser usado y puede comercializarse tal cual. Sin embargo, para facilitar su transporte, almacenamiento y utilización, puede pulverizarse mediante un proceso de secado por aspersión). Ciclo del agua: el vapor de agua procedente del proceso de secado no se pierde, sino que se recupera por condensación y se reintroduce en el ciclo de producción.
5. Luego viene la etapa del embolsado donde se envasan bolsas de 50 kg de extracto de tanino, solidificándose en 48 horas aproximadamente (Schelotto, 1930; CAPEQ, 2025).

El extracto de tanino puede tomar diferentes coloraciones dependiendo de la especie vegetal de la cual procede y del método de obtención, como se muestra en la fig. IX.1.



Figura IX.1. Extracto de tanino de diferentes colores. Fuente: <https://www.unitan.net/es-index.html>

Tanino de madera y tanino de otras partes del árbol

La fabricación del extracto de la madera de quebracho colorado chaqueño se diferencia de la elaboración de extractos provenientes de corteza y frutos, en que la obtención del aserrín requiere un consumo elevado de energía mecánica debido a la dureza de la madera comparado con la molinada de la corteza y frutos por medio de máquinas sencillas sin alto consumo de energía. Otra diferencia es que el extracto de quebracho tiene una propiedad excelente debida a su alta viscosidad, que permite al extracto en caliente solidificarse por enfriamiento mientras que muchos otros extractos tánicos requieren una evaporación prolongada o secadores (Coronel, 2006).

En la elaboración del extracto de tanino y según la empresa, se producen dos tipos de extractos: el poco soluble en agua fría y soluble en agua caliente y el extracto sulfitado, soluble en agua fría. Este segundo proceso es al que se le añade sulfito de sodio y presión durante algunas horas hasta que el extracto de tanino se disuelve fácilmente en agua fría. En la figura IX.2 se puede observar parte de una industria taninera del Norte de Argentina, específicamente en la provincia de Formosa.



Figura IX.2. Industria del tanino. Empresa UNITAN de Formosa. Fuente: <https://agroperfiles.com.ar/unitan-y-tintorea-natur-lanzan-colorantes-naturales-fabricados-en-formosa/>

Ejemplo de industria del tanino en Argentina

La empresa INDUNOR (del grupo SILVATEAM: <https://www.silvateam.com/es/quienes-somos/la-empresa/indunor.html>) está radicada en la provincia del Chaco, con sus plantas en La Escondida y La Verde. La producción de tanino de quebracho (cerca de 25.000 t/año) está integrada a la producción de furfural y alcohol furfúrico (5.000 t/año). La madera agotada, por último, se emplea en una central de biomasa de 6 MW de capacidad, que permite a Indunor autoabastecerse energéticamente.

Bibliografía

1. Alfonsín, L. M. 2023. La foresto industria en Argentina. Oportunidades, desafíos y líneas de acción para una estrategia productiva sectorial. Documentos del Plan Argentina Productiva 2030, N° 38.
2. CAPEQ: Cámara Argentina de Productores de Extractos de Quebracho. 2025. En línea 26/03/2025: <https://www.tannins.org/how-to-extract-tannin/>
3. Coronel, E. 2006. Productos Forestales Argentinos. ITM. División Física y Mecánica de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales UNSE. Editorial El Liberal.
4. Schelotto, B. 1930. Informe sobre elaboración del extracto de tanino en las usinas del país. Revista de la Facultad de Agronomía, ISSN-e 1669-9513, ISSN 0041-8676, Vol. 19, N°. 2, 1930, págs. 268-298. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/136139>

Links de interés

1. La producción de taninos y su enorme aporte a la bioeconomía forestal. <https://www.youtube.com/watch?v=fK--AaAZ5WQ>
2. Fábrica de Tanino de La Escondida, Chaco. Video de fecha del: 29 septiembre de 2024: <https://www.youtube.com/shorts/ONz6eJRI6gg>

Industria de la resina

En la industria de la resinación el producto que se obtiene es la resina. Las resinas son secreciones orgánicas que producen muchas plantas, especialmente las coníferas como por ejemplo los pinos, resultantes del recubrimiento natural en defensa de insectos u organismos patógenos. La resina se encuentra en los canales resiníferos axiales y horizontales o conductos de resina del árbol que se entrecruzan periódicamente y cumple con la función biológica de reserva y cicatrización en caso de daño al tronco. Estos canales son elementos anatómicos de las maderas de las coníferas y las resinas fluyen cuando se realiza un corte a través de la corteza que alcanza las capas externas de la albura (Coronel, 2006).

Cuando sale la resina al exterior del árbol se la llama “miera u oleorresina”. Está constituida por una solución ácida de terpenos, ácidos resínicos, ácidos grasos, etc.

Algunas características es que no se disuelven en agua o sea son hidrofóbicas, al tomar contacto con el exterior se endurecen y tienen gran durabilidad en ese estado. En Argentina, una de las especies más utilizadas para esta actividad industrial es el *Pinus elliottii* Engelm. de la familia Pinaceae, que tiene un excelente crecimiento en la provincia de Misiones y en la Mesopotamia, en general.

A los polímeros naturales, como las resinas, se les ha comenzado a llamar polímeros bioactivos, porque además de impedir la adsorción del agua, limitan el crecimiento de microorganismos (Quiroz Carranza y Magaña Alejandro, 2015).

El uso de la resina de pino tiene registro documentado desde “el arca de Noé” (embarcación que aparece en el episodio bíblico del Génesis del Dios de Israel donde se debe construir un barco de madera), utilizándola para impermeabilizar el barco. En Argentina, la producción industrial llegará al siglo de existencia muy pronto, experimentando un crecimiento en los últimos 10 años.

Obtención de resina

Existen diferentes técnicas de resinación las que cuentan con pasos a seguir para la obtención:

- *Preparación de la cara del árbol:* de acuerdo al sistema seleccionado se quita parte de la corteza exterior y se limpia la zona.

- *Instalación del sistema colector de resina*: pieza metálica que sirve para recolección, o pieza plástica utilizada con el mismo fin.
- *Herida de los árboles para inducir el flujo de resina*: acorde a la técnica seleccionada de recolección se realizan las heridas de manera vertical, oblicua, etc.
- *Recolección de la resina, estimulación y herida de los árboles en intervalos adecuados*: depende de varios factores como la densidad de plantación, la técnica usada, el ejemplar involucrado, etc.

En Argentina se desarrolló una máquina con motor a explosión para mejorar el desroñado (quitar la corteza), que permite mayor producción diaria y con mejoras importantísimas en la ergonomía de la tarea. En la figura IX.3 se puede observar la obtención de resina de pino en la Mesopotamia argentina utilizando la técnica donde se efectúa el desroñe para luego realizar la pica en la corteza con la instalación de las bolsas recolectoras de resina.



Figura IX.3. Industria de la resina: obtención de la resina de *Pinus elliottii*. Foto

https://www.vetas.com/notas/fotos/3270_1717_Programa-Resina-3-1.jpg

Una vez obtenida la miera u oleoresina se pueden obtener los principales componentes por métodos de destilación directa y por arrastre con vapor. Al destilar la miera produce una parte volátil (**esencia de trementina**) y una no volátil (**colofonia**).

La **trementina** es una mezcla de aceites esenciales de los terpenos, antiguamente llamado aguarrás vegetal con las características de ser insoluble en agua, con olor suave y aromático. Es disolvente y dispersante de pinturas y se usa para preparar barnices, lacas y productos farmacéuticos. Se puede obtener trementina a partir de tocones (parte inferior del árbol apeado que queda en el suelo) y del proceso de pulpado Kraft para papel.

La **colofonia** es un sólido frágil y friable, de olor ligeramente aromático, insoluble en agua soluble en benceno y alcohol, reacciona fácilmente con sales metálicas para fabricar jabones. Usado como materia prima para la elaboración de tintas, barnices, lacas, sabores, colas, grasas, esmaltes, ceras, adhesivos, desinfectantes, explosivos, aislantes térmicos, etc. Los valores del rendimiento obtenido con cualquiera de los métodos son colofonia 70 %, esencia de trementina 17,5 %, agua 10 % e impurezas, pérdidas, etc. 2,5 % (Coronel, 2006). La producción industrial argentina de resinas proveniente de los bosques nativos correspondiente al año 2017, fue de 22.078 toneladas correspondientes a 18.263 toneladas de colofonia y 3.815 toneladas de trementina (Alfonsín, 2023). Actualmente, una empresa brasilera desarrolló y fabricó un prototipo de máquina mecánica de extracción de resina, inédita en el mundo (Fig. IX.4), cuyo registro se encuentra en trámite en el Sistema Internacional de Patentes (PCT).



Figura IX.4. Máquina desarrollada en Brasil para extracción de resina. Fuente <https://www.argentinaforestal.com/wp-content/uploads/2023/05/Brasil-Irani-Mecanizacion-1-768x411.jpg>

Links de interés

1. Resina de pino. Innovación y desarrollo de una actividad dinámica y con alta productividad en la Mesopotamia argentina. <https://www.vetas.com/noticias.cgi?i=es¬icia=3270>
2. Brasil. Iraní desarrolló un sistema inédito en el mundo para la mecanización en la extracción de resina de pinus. <https://www.argentinaforestal.com/2023/05/23/brasil-irani-desarrollo-un-sistema-inedito-en-el-mundo/>

Bibliografía

1. Alfonsín, L. M. 2023. La foresto industria en Argentina. Oportunidades, desafíos y líneas de acción para una estrategia productiva sectorial. Documentos del Plan Argentina Productiva 2030, N° 38.
2. Coronel, E. 2006. Productos Forestales Argentinos. ITM. División Física y Mecánica de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales UNSE. Editorial El Liberal.
3. Quiroz Carranza, J. A., Magaña Alejandro, M. A. 2015. Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. Madera y Bosques, Vol. 21, núm. 3: 171-183.

Industria de las gomas y mucílagos

Las gomas y mucílagos vegetales son compuestos polisacáridos que se encuentran en la madera y otras partes de las plantas, son sustancias hidrofílicas que pueden formar soluciones o geles viscosos en agua.

Las **gomas** son polisacáridos heterogéneos ramificados que contienen ácidos urónicos junto a otros polisacáridos, y son de carácter patológico. Son productos de exudación de árboles, formados como respuesta a heridas o infecciones. Son solubles en agua y forman soluciones coloidales. Las gomas se extraen principalmente de árboles mediante exudación natural o inducida con una incisión o herida en la corteza para estimular la secreción de goma, como se muestra en la Figura IX.5.



Figura IX.5. Goma de la especie *Leucaena leucocephala* producto de una herida.

La goma exudada se solidifica y se recolecta manualmente. Luego se purifica disolviéndola en agua y se filtra para eliminar impurezas como corteza y restos sólidos. Finalmente se seca y se muele en polvo para su comercialización.

Ejemplo en Santiago del Estero es la **goma brea** extraída de la especie *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins, o ejemplo en el mundo es la **goma arábica**, la más conocida y difundida globalmente, proveniente del África subsahariana y

extraída principalmente de la especie *Senegalia senegal* (L.) Britton, y otras especies como *Vachellia nilotica* (L.) P.J.H.Hurter & Mabb. y *Vachellia seyal* - (Delile) P. Hurter, de la familia de las Fabaceae, que se usa en la industria de alimentos como aditivo, industria farmacéutica, cosmética y adhesivos (Figura IX.6).



Figura IX.6. Goma arábiga extraída de la especie *Senegalia senegal* (L.) Britton. Fuente:

<https://www.foodnewlatam.com/imagenes/5839-goma-ar%C3%A1biga-industria-alimentos-aditivo.html>

Los **mucílagos** son polisacáridos heterogéneos de carácter neutro o ácido y de origen fisiológico. Suelen ser confundidos con las gomas y pectinas ya que están formados por polisacáridos celulósicos con igual número de azúcares, diferenciándose sólo en sus propiedades físicas. Son producidos en forma natural por las células vegetales sin necesidad de una lesión. Los mucílagos en agua producen coloides poco viscosos que presentan actividad óptica (Vera & Manzaba, 2019). Los mucílagos se extraen de la madera y otras partes vegetales mediante extracción acuosa. La madera o la parte de la planta rica en mucílago se muele o tritura para facilitar la extracción, se sumerge el material triturado en agua caliente para disolver los mucílagos, se separan los residuos sólidos y se concentra el mucílago. Luego se seca en polvo o se mantiene en solución según el uso.

El uso de mucílagos en formulaciones de fármacos incluye la utilización en la producción de comprimidos, como un agente emulsionante y de suspensión, como un agente bioadhesivo, así como agentes gelificantes y espesantes.

Ejemplo de Argentina es el mucílago de la especie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., de la familia de las Boraginaceae, que se usa como agente aglutinante y emulsionante. Ejemplo del mundo es la especie *Mimosa pudica* auct. non L. (o *Mimosa balansae* Micheli) de la familia de las Fabaceae que se utiliza farmacológicamente en la liberación del fármaco de los comprimidos.

Bibliografía

1. Amiri, MS, Mohammadzadeh, V., Yazdi, MET, Barani, M., Rahdar, A. y Kyzas, GZ (2021). Aplicaciones de gomas y mucílagos vegetales en farmacología y nanomedicina: Una revisión. *Molecules*, 26 (6), 1770. <https://doi.org/10.3390/molecules26061770>
2. Vera, A., y Manzaba, M. 2019. Efecto de la relación pulpa - mucílago de melón amargo (*Momordica charantia*) en la concentración final de una leche fermentada. *Revista Dom. Cien.* Vol. 6:2, abr-jun 2020, pp. 503-524. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1181>.

Capítulo X

Industria de las biorrefinerías

El concepto de industria integrada más reciente se ha dado en llamar “Biorrefinería forestal”. La biorrefinería puede definirse como el uso eficiente del potencial total de la materia prima y procesos del sector forestal por cooperación dentro y entre las cadenas de valor. Este concepto involucra el logro de una producción forestal sustentable, aprovechando la totalidad del árbol y de los residuos, para generar, además de los productos tradicionales, una gama de productos químicos de alto valor agregado a partir del mismo recurso. Bajo este concepto, el aprovechamiento de los residuos generados por la propia actividad industrial como materia prima para la obtención de productos con valor agregado es una estrategia para mejorar la rentabilidad del sector y atenuar su impacto ambiental. El uso de los materiales lignocelulósicos como materia prima para la producción de muchos de estos productos requiere de tecnologías que aún se encuentran en desarrollo (Area, 2020).

Desde una perspectiva más amplia, se puede definir a la **bioeconomía** como la transición industrial global de la utilización sostenible de los recursos renovables acuáticos y terrestres en energía, productos intermedios y productos finales, para obtener beneficios económicos, ambientales, sociales y nacionales (Golden y Handfield, 2014). En el marco de este concepto, las biorrefinerías son estructuras que integran procesos de producción de combustibles y productos químicos a partir de biomasa (bioetanol, biogás, otros combustibles, polímeros, plásticos, otros). Es un concepto análogo al de refinerías de petróleo, pero usando recursos renovables. Las biorrefinerías pueden ser de plataforma bioquímica o plataforma termoquímica (ver Figura X.1). La plataforma termoquímica consiste en el tratamiento de la biomasa con altas temperaturas (en presencia o ausencia de oxígeno). El aprovechamiento energético puede resultar más directo, pero para llegar a los productos químicos finales en general se requieren procesos de cracking catalítico. La plataforma bioquímica se basa en métodos químicos y enzimáticos. En general, las etapas son: fraccionamiento de la biomasa, purificación de la fracción sólida, uso del sólido y/o fabricación de

subproductos, separación y purificación de componentes del líquido, fabricación de subproductos (Area, 2020).

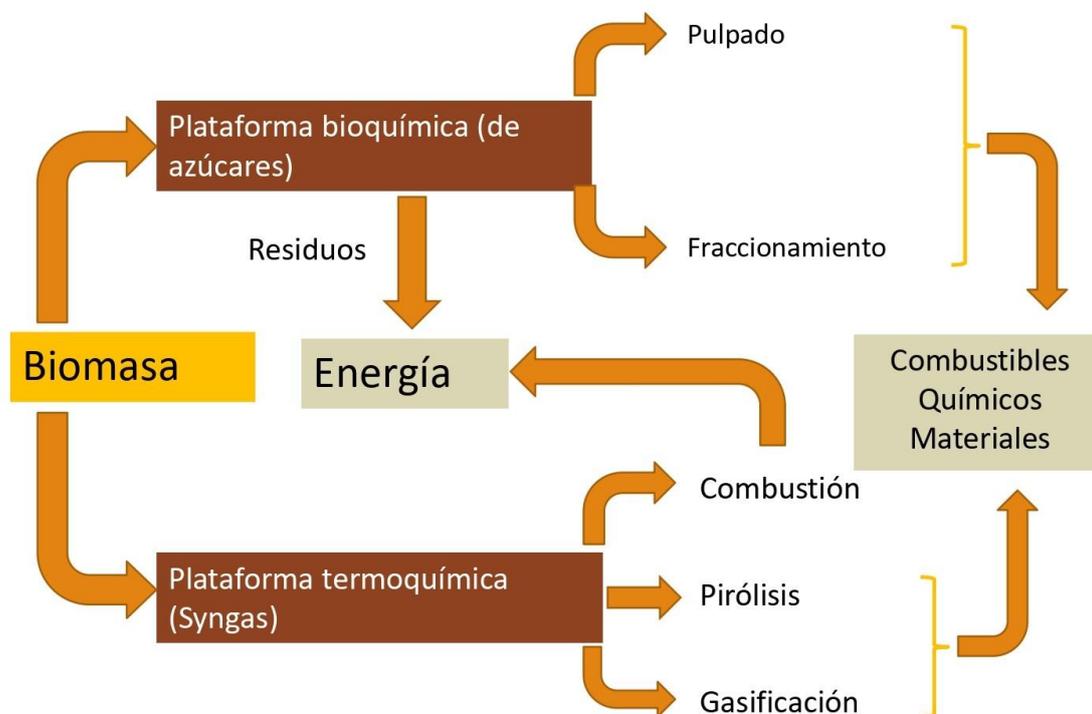


Figura X.1. Plataformas de la biorrefinerías (Area, 2020).

Las biorrefinerías permitirán implementar un nuevo concepto de desarrollo local, desarrollar polos industriales a partir de biomasa, mejorar la rentabilidad del sector foresto industrial, convertir industrias tradicionales en modernas y disminuir la contaminación ambiental.

Bibliografía

1. Golden, J. S., Handfield, R. B. 2014. Opportunities in the Emerging Bioeconomy.
2. Area, M. C. 2020. Biorrefinerías e innovación. Curso posgrado “Biorrefinerías”. Instituto de Materiales de Misiones, UNAM-CONICET. FCEQyN - UNaM.
3. Area, M. C. 2015. Revista EL PAPEL Junio - Julio 2015. Resumen de conferencia “Biorrefinerías y bioproductos a partir de materias primas lignocelulósicas”. II Jornadas Celulósico Papelera 2015 “La innovación de vanguardia: lo que vendrá en la industria celulósico-papelera”, organizadas por la Asociación Argentina de Fabricantes de Celulosa y Papel (AFCP). Buenos Aires, Argentina.

Capítulo XI

Industria de los productos forestales no madereros (PFNM)

Las comunidades asociadas a la actividad generada en bosques nativos también están muy ligadas a la producción de productos forestales no madereros (PFNM). Estos alcanzan a “todos los bienes de origen biológico distintos de la madera, la leña y el carbón vegetal y los servicios brindados por los bosques, otras áreas forestales y los árboles fuera de los bosques”. Según la FAO, en la tabla XI.1 se muestra la clasificación de productos forestales no madereros en cuanto a productos vegetales, animales y productos animales.

Tabla XI.1. Clasificación de los productos forestales no maderables. Fuente:

<https://www.fao.org/4/y1997s/y1997s0g.htm#bm16>

Productos vegetales		Animales y productos animales	
Categorías	Descripción	Categorías	Descripción
Alimentos	Productos vegetales y bebidas producto de frutas, nueces, semillas, raíces, hongos, etc.	Animales vivos	Principalmente vertebrados tales como mamíferos, aves, reptiles utilizados o comprados como mascotas.
Forrajes	Forraje para animales alimento para abejas producto de las hojas, frutos, etc.	Miel, cera de abejas	Productos proporcionados por las abejas
Medicinas	Plantas medicinales (por ej. hojas, corteza, raíces) utilizadas en la medicina tradicional y/o en las compañías farmacéuticas.	Carne silvestre	Carne proporcionada por animales vertebrados, principalmente mamíferos.
Perfumes y cosméticos	Plantas aromáticas que proporcionan aceites (volátiles) esenciales y otros productos utilizados para fines cosméticos.	Otros productos animales comestibles	Invertebrados comestibles tales como insectos (por ej. larvas) y otros productos animales "secundarios" (por ej. huevos, nidos)
Teñido y curtido	Material vegetal (corteza y hojas) que proporciona taninos y otras partes de plantas (especialmente hojas y frutos) usados como colorantes.	Cueros, pieles para trofeos	Cueros y pieles de animales utilizados para distintos propósitos
Utensilios, artesanías y materiales de construcción	Grupos heterogéneos de productos incluyendo techado, bambú, rota, hojas para envolver, fibras.	Medicinas	Animales enteros o partes animales utilizadas como órganos varios utilizados para propósitos medicinales.
Productos ornamentales	Plantas enteras (por ej. orquídeas) y partes de plantas (e.g. recipientes hechos de raíces) utilizados para propósitos ornamentales.	Colorantes	Animales enteros o partes animales tales como órganos varios utilizados como colorantes.
Exudados	Substancias tales como goma (hidrosoluble), resinas (no	Otros prod. Animales no	Por ej.: huesos utilizados como instrumentos

	hidrosolubles.) y látex (lechoso o jugo claro) extraído de las plantas por exudación.	comestibles.	
--	---	--------------	--

Bibliografía

1. Alfonsín, Leandro Mora. 2023. La foresto industria en Argentina. Oportunidades, desafíos y líneas de acción para una estrategia productiva sectorial. Documentos del Plan Argentina Productiva 2030, N° 38.
2. FAO. ESTUDIO FAO MONTES 140. Capítulo 10. Productos forestales no madereros. Roma, 2002. ISBN 92-5-304642-2. <https://www.fao.org/4/y1997s/y1997s0g.htm#bm16>