

**las astillas de madera:  
su producción, manipulación  
y transporte**

**2<sup>a</sup> edición actualizada**

**con la asistencia del  
organismo noruego de desarrollo internacional**

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-37

ISBN 92-5-300207-7

Este libro es propiedad de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y no podrá ser reproducido, ni en su totalidad ni en parte, por cualquier método o procedimiento, sin una autorización por escrito del titular de los derechos de autor. Las peticiones para tal autorización especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1978

## ÍNDICE

Página

I.	PROLOGO	1
II.	RECURSOS FORESTALES	2
1	La oferta y la demanda de materias primas procedentes del bosque .....	2
2	Recursos forestales .....	4
3	Los países en desarrollo como suministradores potenciales de fibras .....	8
III.	COMERCIO INTERNACIONAL DE ASTILLAS DE MADERA	11
1	Historia del comercio de astillas de madera y algunos de sus aspectos políticos .....	11
IV.	TRANSFORMACION EN ASTILLAS	15
1	Introducción, historia y terminología .....	15
2	Transformación de todo el árbol en astillas .....	17
2.1	Mayor aprovechamiento de la materia seca .....	19
2.2	Extracción de elementos nutritivos de las plantas .....	19
3	Equipo de explotación forestal y organización para la utilización de todo el árbol .....	20
4	Requisitos de la explanada para la producción de astillas en el campo .....	22
5	Astilladoras móviles .....	23
6	Mantenimiento de las astilladoras .....	41
7	Eliminación de la corteza y mejora de la calidad de las astillas..	42
8	Algunas consideraciones económicas .....	47
V.	SISTEMAS DE TRANSPORTE	49
1	Introducción .....	49
2	Transporte externo .....	50
2.1	Transporte en camión .....	50
2.2	Transporte por ferrocarril .....	54
2.3	Transporte por tubería .....	57
2.4	Transporte transoceánico .....	58
2.4.1	Compactación y factor de almacenaje .....	58

2.4.2	Características técnicas de los cargueros especiales para astillas de madera .....	59
2.4.3	Estaciones terminales portuarias para astillas .....	62
2.4.4	Consideraciones económicas .....	65
2.4.5	Precios CIF-FOB .....	66
3	Transporte interno .....	66
3.1	Tractores .....	67
3.2	Transporte neumático de astillas de madera .....	68
3.3	Transportadores mecánicos .....	70
3.4	Apilado y recogida de astillas .....	70
3.5	Consideraciones económicas .....	72
<b>VI.</b>	<b>LAS ASTILLAS DE MADERA COMO MATERIA PRIMA PARA LAS INDUSTRIAS .....</b>	<b>73</b>
1	Materias primas de madera .....	73
1.1	Consideraciones generales .....	73
1.2	Mercados para los productos .....	73
1.3	Tipo y calidad de la madera .....	73
1.3.1	Maderas de coníferas .....	74
1.3.2	Maderas de frondosas .....	75
1.4	Cantidad y coste de la madera .....	77
2	Propiedades de las astillas para uso industrial .....	77
2.1	Requisitos sobre dimensiones .....	77
2.1.1	Proceso kraft .....	77
2.1.2	Proceso al sulfito .....	78
2.2	Estabilidad mecánica .....	79
2.3	Daño por compresión .....	79
2.4	Densidad aparente .....	80
2.5	Contenido de humedad .....	82
2.6	Pureza de las astillas y algunos comentarios breves sobre la heterogeneidad de las propiedades de la madera .....	82
2.7	Astillas procedentes de sierras y canteadoras con astilladora .....	83
2.8	Astillas de residuos .....	83
2.8.1	Astillas de aserraderos .....	84
2.8.2	Residuos forestales .....	85
2.9	Las astillas procedentes de todo el árbol como materia prima industrial .....	88
2.9.1	Astillas procedentes de masas forestales de turno corto .....	92

3	Determinación de la cantidad y calidad de las astillas de madera .....	93
3.1	Cantidad .....	93
3.1.1	Volumen .....	93
3.1.2	Peso .....	96
3.2	Calidad .....	98
4	Almacenamiento de astillas .....	100
4.1	Introducción .....	100
4.2	Temperatura .....	102
4.3	Contenido de humedad .....	104
4.4	Oxígeno, bióxido de carbono y pH .....	105
4.5	Decoloración de las astillas .....	106
4.6	Microorganismos y sucesión en una pila de astillas .....	106
4.7	Pérdida de madera y resina .....	107
4.8	Métodos y medios para reducir el deterioro de las astillas .....	109
4.8.1	Perfeccionamiento de la manipulación y el almacenamiento de las astillas .....	109
4.8.2	Tratamiento químico y otros de carácter preventivo .....	110
4.9	Experiencias de producción de pasta con astillas almacenadas .....	112
4.9.1	Proceso al sulfito .....	112
4.9.2	Proceso al sulfato .....	115
4.10	Consideraciones económicas .....	116
VII.	ALGUNOS TERMINOS UTILIZADOS EN EL COMERCIO DE ASTILLAS DE MADERA .....	119
VIII.	LISTA DE REFERENCIAS POR CAPITULOS .....	121

## I. PROLOGO

Durante los últimos diez años se ha producido un avance considerable y unos cambios radicales en la producción y transporte a larga distancia de astillas de madera, lo que ha hecho posible suministrar madera, como materia prima, a industrias de todo el mundo. No es necesario ya establecer la industria cerca de los recursos forestales, y las nuevas técnicas no sólo están ayudando a los productores a entregar los productos más rápidamente y en mejores condiciones, sino que también están contribuyendo a mejorar la ordenación forestal.

El Departamento Forestal de la FAO consideró que el conocimiento y la experiencia existentes sobre producción, manipulación y transporte de astillas de madera eran de gran interés para muchos países miembros, en especial para los de las regiones en desarrollo. A petición de la FAO, el NORAD (Organismo Noruego para el Desarrollo Internacional) aceptó generosamente el proporcionar ayuda financiera para la organización de un simposio en el que pudiera hacerse un análisis profundo de la situación de la industria de astillas de madera.

El simposio tuvo lugar en Hurdal, Noruega, en 1972. Unos meses después se publicó un informe completo (FAO/NOR/TF 83), incluyendo todos los documentos presentados en él.

Los participantes en el simposio pensaron que debería publicarse una versión reducida a fin de hacer más asequibles los resultados del mismo y asegurar una mayor difusión de la información, solicitando para ello a los Sres. Dieter Oswald y Olav Gislerud del Instituto Noruego de Investigación Forestal, el realizar esta tarea en colaboración con la Subdirección de Explotación y Transporte del Departamento Forestal de la FAO. El informe resumido se publicó en 1973.

En 1975/76 dicho informe fue corregido por Mr. Olav Gislerud. El borrador fue revisado por el Profesor Pentti Hakkila del Instituto Finlandés de Investigación Forestal. El capítulo sobre eliminación de la corteza y mejora de la calidad de las astillas fue revisado también por Mr. John Erickson, del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Los capítulos que tratan del transporte marítimo fueron revisados por R.S. Platou A/S y por la Scandinavian Bulk Traders A/S. Las cifras sobre costes que se dan en el informe corresponden a 1975/76 a menos que se advierta de otro modo o sean citadas de otros informes. La mención de las compañías y de los nombres comerciales es sólo para conveniencia del lector y no significa respaldo alguno por parte de la FAO.

El informe corregido se publica con el apoyo financiero del Departamento Noruego para el Desarrollo Internacional Económico y Social.

La Organización agradece profundamente a todos los que han contribuido a este informe, incluyendo a los autores originales.

## III. RECURSOS FORESTALES

### III. 1 La oferta y la demanda de materias primas procedentes del bosque

Los bosques son uno de los recursos más bellos y valiosos del mundo. Son numerosos sus beneficios para el ambiente y para el hombre; conservación del agua, producción de oxígeno, mejoramiento del clima, vida silvestre forestal, posibilidades de recreación y productos forestales, por mencionar sólo unos pocos. Los productos procedentes de los árboles -un recurso renovable- probablemente ganarán en importancia a medida que la producción de otros recursos, no renovables, vaya disminuyendo y se haga más costosa. Además, muchos productos de la madera tienen la ventaja de ser eficaces desde el punto de vista energético, exigiendo menos energía que los materiales competitivos para su transformación en productos terminados.

Durante la última década el consumo de madera para combustible ha aumentado en un uno por ciento anualmente; en 1973 alrededor del 46 por ciento del consumo de madera en rollo fue en madera para combustible y para carbón vegetal (FAO 1975a). En la mayoría de los países industrializados el consumo de madera para combustible ha disminuido, representando en 1973 sólo el tres por ciento de las extracciones de madera en rollo en algunos países, incluyendo Japón y América del Norte. En los países en desarrollo la madera es, con frecuencia, el único combustible disponible económicamente, utilizándose en estos países para combustible alrededor del 80 por ciento de las extracciones de madera en rollo. Una proyección realizada por Stone y Saeman (1976) indica que el consumo de madera para combustible crecerá desde su nivel actual de 1 150 millones de m<sup>3</sup> a 1 300 millones de m<sup>3</sup> en el año 2000. La necesidad de calor y energía es básica y en cada caso debe considerarse cuidadosamente el papel de la madera como combustible. Con los actuales costes de los combustibles fósiles, especialmente las industrias forestales encuentran económico el recuperar energía a partir de los residuos industriales y a veces de los residuos forestales. En el futuro puede llegar a ser posible incluso producir madera en turnos cortos para combustible de fábricas de energía (plantaciones para energía). La madera para combustible se ha suministrado hasta ahora principalmente a partir de recursos locales y el comercio mundial de madera para combustible y carbón vegetal ha sido de escala limitada.

La vivienda y necesidades afines utilizan la mayor parte de los productos de paneles a base de madera, productos que más o menos pueden sustituirse entre sí. El consumo mundial de madera aserrada se espera que aumente de 443 millones de m<sup>3</sup> en 1973 hasta 600 millones de m<sup>3</sup> para el año 2000. La utilización de paneles a base de madera (madera contrachapada, tableros de partículas y tableros de fibra) se espera que aumente durante el mismo período desde 96 millones de m<sup>3</sup> hasta 200 millones de m<sup>3</sup>. (Stone y Saeman, 1976). Keays (1975) predice un crecimiento bastante más rápido de la demanda de tableros de partículas y tableros de fibra, alcanzando la cifra de 400 millones de m<sup>3</sup> para el año 2000.

Desde 1950 hasta 1974 la producción mundial de papel y carbón ha aumentado más de tres veces, desde 40 hasta casi 150 millones de toneladas. Keays (1975) y Stone y Saeman (1976) estiman que la demanda alcanzará la magnitud de 400 millones de toneladas para el año 2000. La necesidad creciente de productos de papel parece obvia, teniendo en cuenta el aumento de la población y el gran número de productos basados en la pasta de madera que el hombre necesita para aprender, para comunicarse, para su confort y disfrute. Entre los factores más críticos aún que la necesidad potencial de productos para papel, puede encontrarse el de cuántos consumidores pueden permitirse el comprar tales productos y el del gran capital necesario y otros inconvenientes que limitan la inversión en la producción de pasta. La FAO (1975b) predice una escasez de papel de unos 6 millones de toneladas en 1978 y de 9 millones de toneladas en 1979.

Durante la segunda guerra mundial y después de ella, los árboles fueron la materia prima para una industria química y bioquímica bastante bien desarrollada (véase Glesinger 1949). Debido principalmente al precio, los productos petroquímicos ganaron la competencia. Tanto los residuos industriales como los forestales han vuelto recientemente a recibir una mayor atención para su conversión en productos químicos y alimentos.

Las tendencias y previsiones actuales indican, en forma conservadora, que para el año 2000 la demanda total de productos forestales exigirá alrededor de 4 000 millones de  $m^3$  en comparación con la actual demanda de 2 500 millones de  $m^3$ .

El conocimiento sobre los recursos forestales mundiales es incompleto, siendo los análisis más recientes y completos los realizados por Persson (1974, 1975). El crecimiento anual de madera comercial en la actualidad se estima por la FAO en 3 000 millones de  $m^3$ . La cantidad de madera que puede extraerse bajo el principio del rendimiento sostenido tiene lógicamente un límite máximo, si bien este límite se puede ampliar dependiendo considerablemente de la política y la ordenación forestal.

Hay muchos caminos para llegar a cubrir la demanda prevista de productos forestales en el próximo siglo, incluyendo:

Expansión de la superficie forestal, aunque puede que esto no sea posible;

Utilización de los bosques de coníferas actualmente no utilizados (U.R.S.S. y América del Norte);

Utilización de los bosques de frondosas actualmente no utilizados (América del Sur, América del Norte, U.R.S.S., Asia, África);

Aumento de la superficie de plantaciones (bosques de crecimiento rápido);

Mejora de los sistemas selvícolas que lleven a una mayor producción forestal;

Disminución de pérdidas innecesarias de madera debidas a los incendios, insectos y microorganismos;

Aprovechamiento y utilización de una parte mayor de la biomasa de los bosques;

Mejor utilización de la biomasa mediante transformación industrial (rendimiento técnico superior) y, en cierto grado, mediante productos más duraderos;

Utilización de otros recursos de fibras distintos de los árboles;

Aumento del reciclado de productos forestales.

El interés en la utilización de papel usado ha aumentado durante años recientes. El reciclado del papel ha sido especialmente importante para los países altamente industrializados con elevada densidad de población y escasez de recursos de fibras forestales. La proporción entre el papel de desecho reciclado y el consumo aparente en los países del Mercado Común Europeo representó el 28 por ciento en 1973, totalizando 8,5 millones de toneladas. Japón y Holanda lograron una proporción ligeramente superior al 40 por ciento de reciclado.

Es probable una combinación de varios de los métodos antes mencionados para aumentar la producción. Para lograr los sistemas mejores se necesitan considerables estudios integrados, biológicos, técnicos y económicos, así como discusiones y decisiones de carácter político.

Los estudios canadienses (Keys, 1975, Keays y Hatton 1975) indican una escasez posible de fibra de madera de 200 millones de  $m^3$  para el año 2000. Esto puede evitarse con facilidad utilizando una mayor parte de la biomasa forestal. A partir de 1964 Harold Young (Young 1974) ha abogado por el concepto de todo el árbol.

Las principales regiones con déficit de madera son Europa y Japón. Las regiones que cuentan con un excedente considerable de madera, actual y futuro, incluyen principalmente a América del Norte, pero también a la U.R.S.S. y partes de América del Sur. Los países

Escandinavos han sido durante muchos siglos la reserva natural de madera de Europa Occidental, pero hoy la capacidad industrial ha alcanzado ya el rendimiento sostenido actual de los bosques y la futura expansión del volumen de productos forestales será lenta.

Algunas de las principales corrientes comerciales de productos forestales entre regiones son las siguientes:

Madera aserrada de coníferas y productos de pasta y papel, procedentes de América del Norte, para el Mercado Común Europeo;

Madera aserrada de coníferas y productos de pasta y papel procedentes de Escandinavia, y madera aserrada procedente de la U.R.S.S., para el Mercado Común Europeo.

Trozas y astillas de coníferas procedentes de la Costa Occidental de América del Norte, destinadas a Japón;

Trozas y astillas tropicales y subtropicales, principalmente del Sudeste de Asia, destinadas a Japón;

Trozas, madera aserrada, chapas, y madera contrachapada, de especies tropicales, procedentes de Asia y África Occidental, destinadas a Europa, y procedentes de Asia y América del Sur, destinadas a América del Norte.

En 1973 los productos forestales representaron un valor total de exportación de casi 22 000 millones de dólares frente a 6 000 millones en 1962. Con fines de comparación, el total de las exportaciones mundiales en 1973 fue de 560 000 millones.

Una característica del comercio forestal que conviene señalar es el crecimiento especialmente rápido de las exportaciones procedentes de los países en desarrollo, que llegaron a ser en 1973 seis veces las de 1962. Sin embargo, las exportaciones totales de los países en desarrollo y de los países de economía centralizada son reducidas en comparación con las de los países desarrollados, que en 1973 representaron alrededor del 74 por ciento del total de las exportaciones mundiales de productos forestales.

## II. 2 Recursos forestales

Los recursos para las industrias de transformación de la madera pueden clasificarse del modo siguiente:

Bosques fríos de coníferas (bosques boreales)

Bosques templados

Bosques subtropicales

Bosques tropicales

Bosques artificiales

Los bosques fríos de coníferas se encuentran principalmente en la zona norte templado-fría, en una amplia faja al sur de la tundra (Fig. 1). La U.R.S.S. y América del Norte poseen en conjunto más del 80 por ciento del total de la superficie mundial de estos bosques. Están compuestos de un pequeño número de especies, en el que dominan las coníferas - pícea, pino, abeto y alerce - que crecen en su mayoría en terrenos que se hielan en invierno. Los árboles son de un tamaño bastante uniforme, con una madera relativamente homogénea y de fibra larga. Es normal un turno de 70 a 100 años. Económicamente, los bosques de coníferas son hoy, sin comparación, los más importantes. Sin embargo, las condiciones geográficas y climáticas hacen difícil el acceso a muchos de ellos y, debido a su escaso volumen por hectárea, a veces no es posible explotarlos comercialmente.

Los bosques templados, situados principalmente en una latitud media del hemisferio norte, contienen bastantes más especies y están constituidos por un gran número de subtipos que van desde los de coníferas mezcladas hasta los de frondosas puras (Fig. 2). Muchos de estos bosques están situados en las zonas más densamente pobladas del mundo y han estado sometidos en gran proporción a las actividades humanas. Ha estado muy extendido el desmonte para la agricultura, las cortas intensas de madera para combustible o el pastoreo del ganado, han dado como resultado en muchas zonas un monte de matorral de baja calidad. Además de coníferas, estos bosques proporcionan la mayor parte de las maderas mundiales de haya, abedul, roble, y muchas otras especies bien conocidas.



Fig. 1. Bosque frío de coníferas en Noruega.



Fig. 2. Bosque templado de frondosas en Europa Central.

Los bosques subtropicales se encuentran en los márgenes tropicales de los bosques templados. Las áreas con tales bosques incluyen, por ejemplo, la parte sudoriental de los Estados Unidos, ciertas partes de América del Sur, Nueva Zelandia y la parte sudoriental de Australia.

Los bosques tropicales se encuentran por todas las regiones tropicales. Dondequiera que la lluvia es abundante, el número de especies frondosas es normalmente muy elevado, pero la mayoría de los árboles no ha tenido hasta ahora importancia comercial (Fig. 3). Su heterogeneidad ocasiona problemas en la transformación para fines industriales. La agricultura migratoria, el desmonte para agricultura permanente y la explotación maderera están ocasionando la disminución de los bosques húmedos, a una velocidad creciente.

En regiones con una estación seca más prolongada, se encuentran toda clase de subtipos, variantes de los bosques tropicales, que van desde el bosque húmedo hasta los de tipo sabana.

Bosques artificiales. La superficie mundial de bosques artificiales es probablemente de unos 100 millones de hectáreas, de una superficie total de tierras forestales de unos 4 000 millones de hectáreas. Las plantaciones en América del Norte y Europa se hacen normalmente en sustitución de bosques explotados de la misma especie, mientras que las plantaciones intensivas de los trópicos y de los subtrópicos normalmente difieren por completo de los bosques originales. La superficie cubierta por plantaciones de crecimiento rápido, excluyendo China, Japón, Europa y América del Norte, es quizás de sólo 8 millones de hectáreas (Persson 1974) y, por tanto, muy pequeña en comparación con la superficie disponible de bosques naturales.



Fig. 3.

Bosque tropical húmedo  
en América Latina.



Fig. 4.

Plantación de eucalipto  
en Chipre.

Una parte de estas plantaciones de crecimiento rápido es de bosques protectores y, si se explotan, deben serlo bajo regulaciones especiales. Como fuentes de madera industrial, estas plantaciones tienen una importancia considerable y creciente para algunos países, pero desde un punto de vista mundial la producción todavía no es muy importante. La fabricación de pasta a partir de plantaciones intensivas es sólo un 2 por ciento aproximadamente de la producción total mundial, que es de más de 100 millones de toneladas por año. De acuerdo con las previsiones más optimistas de la FAO, la superficie total de plantaciones intensivas en África, América Central y América del Sur, Asia (exceptuados China y Japón) y la zona del Pacífico, puede llegar a unos 17 millones de hectáreas para 1980. Incluso con este aumento, se estima que para finales de 1980 solamente de un 3 a un 5 por ciento del consumo total de pasta y papel procedería de la madera de plantaciones de crecimiento rápido, cuando se espera que el consumo ascienda a 200 millones de toneladas.

A continuación se mencionan algunas de las plantaciones intensivas con mejores resultados:

Sudeste de los Estados Unidos - Grandes plantaciones de pino combinadas con un programa intensivo de mejora de árboles forestales.

Cuba - Plantaciones de eucaliptos y otras especies de frondosas y coníferas.

Argentina, Brasil, Chile, Uruguay - Alrededor de 3 millones de hectáreas principalmente de eucaliptos, álamos y pinos.

Argelia, Marruecos - Alrededor de medio millón de hectáreas de eucaliptos y pinos.

Kenya, Malawi, Tanzania, Uganda - Alrededor de 250 000 hectáreas, principalmente de pinos y cipreses.

Madagascar - Alrededor de 250 000 hectáreas de eucaliptos y pinos.

Sudáfrica - Más de un millón de hectáreas de eucaliptos, sauces y pinos.

Europa - Alamos de crecimiento rápido en Italia; eucaliptos y pinos en España y Portugal; grandes áreas de picea, pino y abeto en Gran Bretaña.

Indonesia, Tailandia, Birmania y Filipinas - Teca, acacia y pinos.

Nueva Zelanda y Australia - Más de un millón de hectáreas de pinos y eucaliptos de buena calidad.

La concentración de volúmenes, el tamaño uniforme de los árboles, las propiedades homogéneas de la madera, todo contribuye a un ahorro considerable en los costos de aprovechamiento, transporte y elaboración. Los rendimientos de estas formas intensivas de plantación pueden ser sorprendentemente elevados.

Cifras de crecimiento entre 20 y 30  $m^3$  por hectárea y año no son raras en el Lejano Oriente, África y América Latina. Este es, aproximadamente, cinco veces el promedio de las plantaciones de Escandinavia.

Respecto a la regeneración, la diferencia entre la silvicultura de las regiones frías de coníferas y la plantación forestal de eucaliptos, por ejemplo, parece estribar sobre todo en la intensidad necesaria del cultivo y en el elemento tiempo. Una plantación de eucaliptos necesita una gran cantidad de capital, para partidas tales como el movimiento de tierras, plantación, carreteras para camiones, máquinas y capacitación de la mano de obra.

Los cortos períodos de rotación de las plantaciones de eucaliptos significan que todos los pasos de la silvicultura deben tener un objetivo definido para el momento de la corta final. En zonas frías de coníferas, con rotaciones entre 70 y 100 años, el resultado

es muy dudosó. Las predicciones respecto al futuro de las masas serán conjeturas más o menos razonables. ¿Qué clase de materia prima se solicitará de estos bosques en el momento de la corta? ¿Qué técnicas se aplicarán? Por ello, las nuevas masas se establecen de modo que permitan alternativas en la determinación del objetivo final de la producción.

En plantaciones de crecimiento rápido, como el eucalipto, con turnos entre 10 y 15 años, la situación es diferente. Estos turnos coinciden bastante bien con los tiempos de planificación y amortización que hoy día se utilizan en las modernas industrias de la madera. En el momento de decidir sobre la plantación, técnicas de espaciamiento y otras materias, es posible tener en cuenta la corta futura y de este modo basar en fundamentos económicos las técnicas elegidas para establecer el nuevo bosque.

Una vez más debe decirse aquí que los bosques no pueden considerarse sólo en términos de metros cúbicos de madera. Son necesarios para el control del agua, desempeñan un papel importante en la protección de los sistemas de riego, en los que frecuentemente se basa la agricultura, evitan la erosión del suelo, sirven de sostén para la vida silvestre y su importancia como factor recreativo crece constantemente. Por ello, la política forestal debe estar relacionada con otras políticas y el sector forestal debe contemplarse como uno de los elementos en el uso eficaz de la tierra.

## II. 3 Los países en desarrollo como suministradores potenciales de fibras

Más de la mitad de la riqueza mundial de bosques corresponde a bosques tropicales de diversos tipos. Sólo una tercera parte de éstos -los bosques húmedos- contienen probablemente, por lo menos, tanto volumen de madera como todos los incluidos en la zona templada del hemisferio norte, con una superficie mucho mayor. Sin embargo, los aprovechamientos anuales totales realizados en ellos representan menos del 10 por ciento de las cortas de los bosques nórdicos. Es evidente que el mundo tiene un gran capital inactivo de madera en los bosques tropicales. Sin embargo, éstos presentan algunos problemas cuando se llega a su utilización industrial:

Contienen un gran número de especies con características muy variadas;

No sólo difieren ampliamente las especies, sino también el carácter de los bosques de las zonas tropicales, que varían en densidad desde los bosques húmedos casi impenetrables hasta los bosques claros y de baja producción de las sabanas;

Las condiciones de explotación son con frecuencia difíciles debido al sotobosque, a las inundaciones estacionales, a los suelos inestables, y a las pendientes desfavorables;

Falta una red de transporte y otras instalaciones de infraestructura;

Los bosques tropicales se dan con frecuencia en zonas del mundo donde el nivel de vida es de lo más pobre.

A estos inconvenientes es necesario añadir las dificultades que se observan en la mayoría de los países en desarrollo:

Aunque las industrias sean de tamaño mínimo, el mercado interno no suele ser suficiente para sostenerlas, siendo necesaria la exportación;

La ambición nacional de autoabastecerse suele ser fuerte, lo que a veces limita las posibilidades de cooperación regional o los negocios conjuntos con países desarrollados, basados en el beneficio mutuo;

Existe un bajo nivel de eficacia en todo el sector industrial, falta de personal especializado en todos los niveles y de medios educativos y de capacitación;

El mercado no está organizado y es inadecuado el conocimiento sobre las cantidades y calidades que exige el mercado.

A fin de conseguir que los países en desarrollo participen más en el comercio mundial de la madera y sus productos, los sistemas de producción y transporte deberían ser más diversificados y menos convencionales. La producción primaria y las operaciones de explotación de la madera, que absorben una elevada proporción de mano de obra, los transportes de madera elaborada, el aserrío, la elaboración de astillas y a veces incluso la producción de pastas, podrían situarse en los países en desarrollo, mientras que las relaciones subsiguientes, en materia de producción y mercadeo, podrían situarse más cerca de los mercados ya desarrollados.

La exportación de astillas parece ofrecer en muchos sitios, especialmente en los países en desarrollo, una solución para financiar las operaciones necesarias de una buena ordenación forestal. Puede ofrecer una salida para especies y árboles que deben extraerse, desde el punto de vista de la ordenación, y que no tienen ningún valor ni utilidad, excepto cuando se exportan en forma de astillas. No sería realista esperar grandes beneficios, a menos que las especies fueran tan uniformes o valiosas como, por ejemplo, las que se exportan actualmente desde el Noroeste del Pacífico a Australia y Nueva Zelanda, pero al menos los ingresos procedentes de la exportación de astillas deberían sostener o al menos subvencionar fuertemente las operaciones forestales que se precisan. Habiendo aprendido las técnicas y la economía de los aprovechamientos forestales, el país de que se trate podría sopesar entonces las ventajas económicas de continuar la exportación de astillas, frente al establecimiento de su propia industria forestal y la exportación de productos más elaborados. El importador de astillas puede estar también interesado o verse estimulado para participar en el establecimiento de tal industria.

Tiene cierto interés recordar la historia del comercio internacional de madera sólida para pasta. A medida que se amplió la producción de pasta y papel en algunos de los países industrializados más avanzados, al establecer impuestos sobre los recursos nacionales de maderas, creció con firmeza el comercio de madera para pasta. Posteriormente, a medida que se desarrolló la industria en los países con excedentes de madera, las exportaciones decrecieron y la nueva expansión de la industria de papel en los países con déficit de madera vino a depender de las importaciones crecientes de pasta. De este modo, el comercio internacional de madera sólida para pasta se estacionó y posteriormente declinó. Sería lógico prever una evolución similar del comercio a larga distancia de las astillas de madera.

Existe sin duda un interés creciente por la exportación de astillas de madera, especialmente en algunos de los países en desarrollo con abundantes recursos madereros. Las razones pueden resumirse en la forma siguiente:

Permitirá revalorizar los bosques que están en la actualidad improductivos, porque no se explotan o no pueden explotarse;

Proporcionará una salida para aquella madera que no vale para otros fines;

Los ingresos resultantes, obtenidos por las autoridades forestales, ayudarán a la ordenación productiva del bosque;

Ayudará al desmonte programado de tierras para el desarrollo de la agricultura y las plantaciones;

Ayudará al desarrollo socioeconómico, al proporcionar oportunidades de empleo, medios de capacitación y mejoras de la infraestructura, aumentando también las ganancias forestales en moneda extranjera;

Proporcionará una salida para los residuos procedentes de otras industrias forestales;

Una instalación importante de astillas de madera podría ser una primera etapa, excepcionalmente favorable, para el establecimiento de una industria de pasta y papel.

Todos estos argumentos tienen una gran validez en general, pero el enfoque de cualquier país hacia un proyecto específico debe ser necesariamente ponderado, atendiendo a distintas consideraciones y teniendo presentes los interrogantes que existen sobre el desarrollo futuro de este comercio.

### III. COMERCIO INTERNACIONAL DE ASTILLAS DE MADERA

#### III. 1 Historia del comercio de astillas de madera y algunos de sus aspectos políticos

El primer embarque transoceánico de astillas de madera se hizo a principios de 1964, de Oregón a Japón. En 1967 Japón importó 1,4 millones de  $m^3$  sólidos de astillas de madera, casi en su totalidad de los Estados Unidos. En 1971 la cantidad aumentó hasta unos 6 millones de  $m^3$  procedentes en su mayor parte de los Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda y Sudeste de Asia (Fig. 5). En 1975 la importación de astillas de madera se estimó en 15 millones de  $m^3$  y para 1980 se espera que aumente hasta 30 millones de  $m^3$  (Warner 1975).

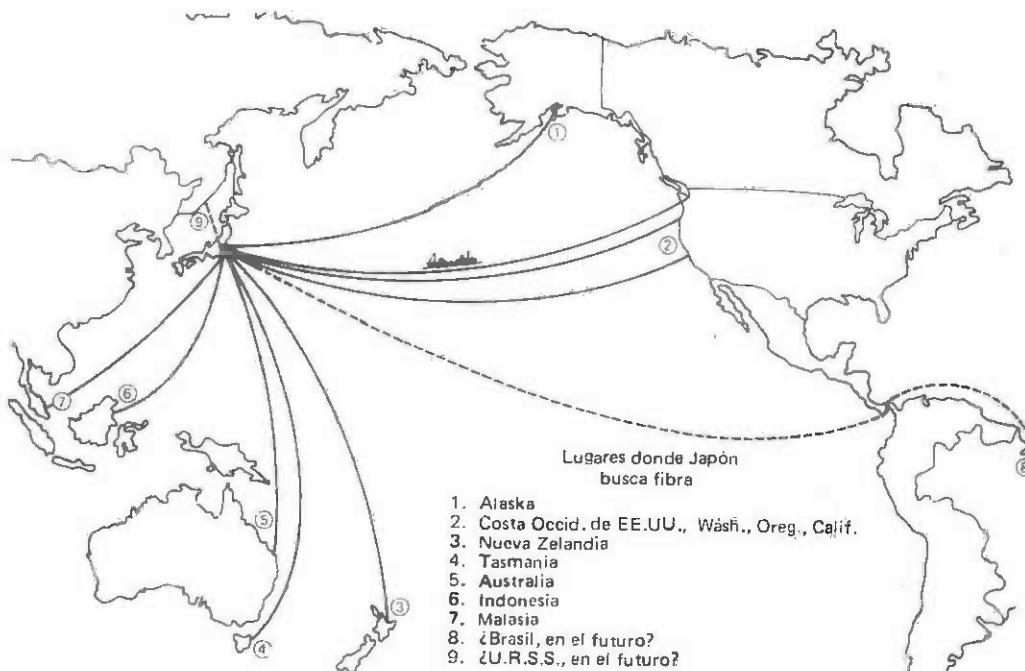


Fig. 5. Lugares donde Japón busca fibra (World Wood 1972).

La Fig. 6 presenta la cantidad y el valor medio de las astillas exportadas desde la Costa Occidental de los Estados Unidos a Japón (Ruderman 1976). La mayor parte de las astillas es de coníferas. En 1974 se exportaron algunas astillas de aliso procedentes de todo el árbol, pero esto cesó, al menos temporalmente, en 1975. El 1 de enero de 1976 se registraban los siguientes precios para las astillas (FOB, en barco):

Abeto	51 - 54 dólares por Unidad Bone Dry
Tsuga	55 - 58 dólares por Unidad Bone Dry
Frondosas	51 - 54 dólares por Unidad Bone Dry

Algunas de las exigencias en cuanto a la calidad de las astillas eran:

Fracción de astilla:	Contenido máximo, tanto por ciento:
1 1/8 pulgada	4
7/8 "	18
3/8 "	18
Tierra	4
Corteza	0,5
Pudrición parda	0,15

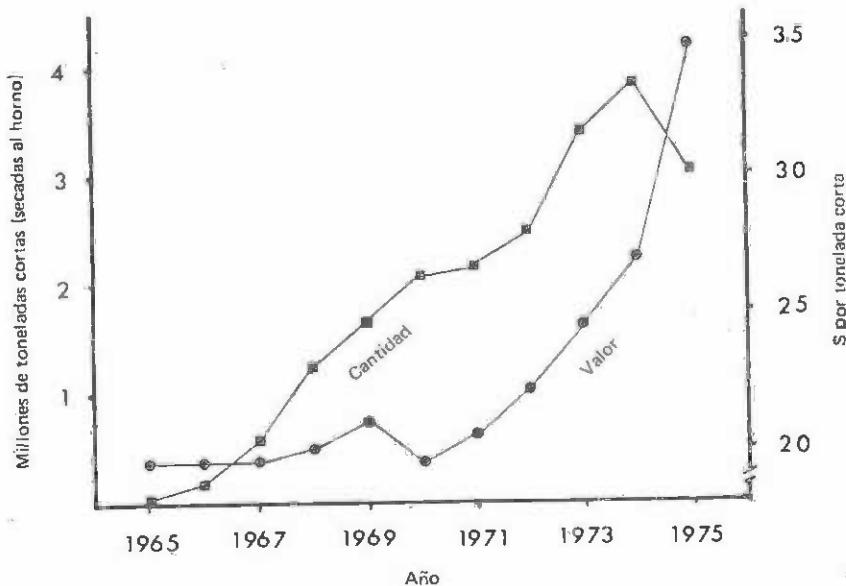


Fig. 6. Cantidad y valor medio de astillas exportadas desde los puertos marítimos de la Costa Oeste de los Estados Unidos.

El comercio de astillas de desechos de madera del árbol del caucho, procedentes de aserraderos e industrias de tableros contrachapados desde el Oeste de Malasia a Japón es un caso interesante, ya que la sustitución de la Hevea por las nuevas variedades de mayor rendimiento se facilita mediante esta salida para la madera procedente de las plantaciones más antiguas (Nordin e Ismail 1970).

Tasmania se ha convertido en uno de los más importantes recursos del mundo en cuanto a astillas de madera, especialmente de eucaliptos. Una nueva fábrica de astillas sobre el río Tamar, en el norte de Tasmania, perteneciente a la Associated Pulp and Paper Mills Ltd., enviará unas 900 000 toneladas anuales a Japón. Se espera que esta industria no dure mucho más de 10 años, sustituyéndose en aquel momento por el establecimiento de una industria de pasta para atender las necesidades locales y producir pasta de eucalipto para la exportación. La inversión de capital en esta moderna industria de astillas y en el puerto, incluyendo todo el equipo de manipulación, asciende según se informa a unos 14 millones de dólares australianos (Fig. 7).

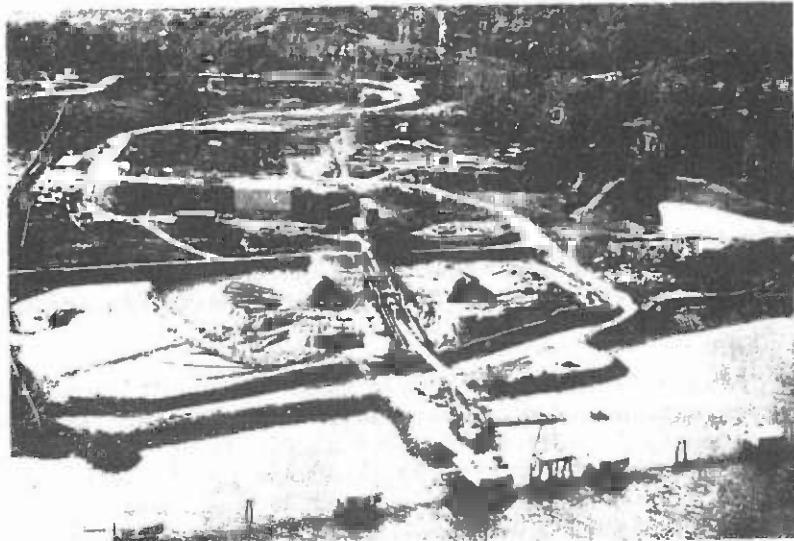


Fig. 7. Industria de astillas de Tamar y puerto para el envío transoceánico de astillas de madera (Anon. 1972).

Siguiendo un acuerdo de 1970 sobre importación de madera para pasta, los japoneses y los rusos han negociado un contrato para el suministro de astillas de madera. Conforme a los términos de este acuerdo, se importarán 3,65 millones de  $m^3$  de astillas durante el período de seis años 1972-77. Los precios, aunque no han sido revelados, se afirma que están basados en niveles internacionales, de modo que el precio de las astillas de coníferas estará basado en el promedio de las astillas norteamericanas y el de las frondosas en el de las astillas australianas.

El primer proyecto mundial para la exportación de astillas tropicales mezcladas, fue inaugurado oficialmente en junio de 1974. Seguidamente se da cierta información sobre este proyecto, que pertenece a Jant Pty. Ltd. en Madang, Papua Nueva Guinea; Lembke (1974) ha proporcionado más detalles sobre el mismo. El principal accionista es Honshu Paper Co. Ltd., y el Gobierno de Papua Nueva Guinea tiene una opción para adquirir hasta el 20 por ciento de las acciones.

Las áreas forestales incluidas en el permiso maderero abarcan 83 000 hectáreas. Las principales especies son kwila, celtis, terminalia, spondias, pometia y alrededor de otras 200 especies mezcladas de bosque húmedo. Sólo alrededor del 20 por ciento del volumen de madera es de trozas para chapas y para aserrar, lo que lleva a pensar respecto a un proyecto de astillas de madera. La industria forestal integrada que se propuso para establecer en Madang incluía una fábrica de astillas, un aserradero y una planta de chapas -esta última no construida aún- con un consumo anual de casi 0,4 millones de  $m^3$ . Se espera que el bosque húmedo existente sostenga este volumen de corta duración durante unos 20 años.

Se llevó a cabo un estudio muy intensivo sobre el uso de la tierra y otro estudio sobre el impacto ambiental, destinando tierras para las áreas de las cuencas hidrográficas; una zona adecuada del bosque existente para cada poblado, que proporcione madera para combustible, madera para aserrar, etc; tierra para proyectos agrícolas pequeños y en gran escala; reservas de la vegetación existente; y por último, zonas para explotación maderera y programas de repoblación forestal. Al plantar la principal especie de madera para pasta, la kamarere (*Eucalyptus deglupta*), se ha demostrado que da mejor resultado hacer cortas rasas y plantar, que hacer una corta, quemar y volver a plantar.

Los bosques situados en las estribaciones de las montañas se ordenarán sobre la base de un aprovechamiento maderero selectivo para la obtención de trozas para aserrar y para chapas y la repoblación forestal se hará sobre la base de una plantación de enriquecimiento en líneas utilizando frondosas de rápido crecimiento y algunas frondosas exóticas. Todo el proyecto, incluyendo las actividades forestales y las industriales, emplearon unas 700 personas en 1975 y su número se espera que llegue a unos 1 200 para 1977.

La industria de astillas es flexible y sencilla en cuanto a su diseño (véase la Fig. 59). Las trozas procedentes del bosque se miden, se apilan en montones, y se descortezan y se transforman en astillas con el equipo Nicholson. Las trozas para aserrar se seleccionan en la fábrica de astillas y se venden a un aserradero próximo. Las astillas se tamizan y se descargan sobre la pila de astillas mediante un transportador de cinta. El transporte de las astillas desde la pila se hace también mediante un transportador de cinta que llega a una torre de carga con un transportador telescópico giratorio. El buque carguero es el Madang, con una capacidad de carga de unos 55 000 m<sup>3</sup> de volumen aparente, haciendo un viaje de ida y vuelta a Japón cada 25 días.

El costo de inversión total del proyecto en 1975 era de unos 12 millones de dólares, de los cuales la mitad aproximadamente se había invertido en la construcción de carreteras, equipos de explotación maderera y viviendas, y la otra mitad en la fábrica de astillas, en el apilado y en el embarcadero.

La Honshu Paper Co. Ltd. podía utilizar en 1974 hasta el 30 por ciento de astillas de maderas frondosas tropicales mezcladas, en su materia prima mezclada. El coste en la industria de las astillas de frondosas locales era en 1975 alrededor de 90 dólares por tonelada métrica "bone dry". El valor de las astillas de frondosas tropicales mezcladas era inferior, debido al menor rendimiento, a la inferior calidad de la pasta y a ciertos problemas en el proceso de producción de la pasta y el papel. De los datos proporcionados por la compañía se puede suponer que el valor de las astillas de frondosas mezcladas puede variar del 85 por ciento hasta un 60 por ciento del de las astillas de frondosas locales de Japón. La reducción del valor ocasionada por la reducción en la capacidad de transformación y por los problemas de fabricación es difícil de estimar. Sin embargo, las astillas de eucaliptos importadas de Australia, tienen un valor sólo ligeramente inferior al de las astillas de frondosas mezcladas locales.

En 1975 se realizaron unos envíos a modo de ensayo de 8 cargueros de astillas de pino procedentes de Carolina del Norte a Europa, principalmente a fábricas de pasta de Suecia, haciendo tales envíos a través de una compañía noruega que interviene en el comercio de materias primas forestales. Recientemente se han acordado unos contratos de comercio de astillas a largo plazo como iniciación de la exportación de astillas procedentes del Sudeste de los Estados Unidos a Suecia. Dos cargueros, cada uno de 41 000 toneladas de peso muerto, serán construidos para entregarlos en 1977. Las astillas de pino del Sur dominarán el comercio, ya que las astillas de frondosas son difíciles de comercializar en Europa. El precio CIF es de unos 80 dólares por tonelada métrica "bone dry" para las entregas realizadas en 1975/76. El volumen de este comercio no se espera que alcance el volumen del comercio de astillas existente entre la Costa Occidental de los Estados Unidos y el Japón. El valor CIF de los contratos para 5 años acordados en 1976 es de unos 150 millones de dólares.

Por razones tanto políticas como económicas, los precios FOB de las astillas, como norma general, no son bajos en modo alguno. De hecho, el costo de algunas astillas entregadas a los consumidores es igual a los precios más altos que está pagando la industria de pasta y papel por la materia prima maderera. Sin embargo, si las astillas importadas se utilizan para "poner un tope" a los precios de la madera nacional, o si se subvenciona o protege la producción de pasta y papel, puede ser justificable económicamente el importar astillas caras, al menos durante períodos cortos.

El valor en venta de las astillas varía naturalmente con la especie. Las astillas de coníferas consiguen precios más elevados que las de frondosas, pero el margen se está reduciendo. En los envíos a granel, un volumen dado de astillas de frondosas, normalmente densas, contiene bastante más madera que el mismo volumen de astillas de coníferas que son menos densas. Además, para algunos productos, el rendimiento en la fabricación con frondosas es más elevado que con coníferas. Su valor viene determinado no sólo por la cantidad de madera y la uniformidad de la mezcla de astillas, sino también por la calidad de éstas (en cuanto a tamaño, forma y limpieza). Normalmente los contratos relativos a astillas de madera son para largos períodos, con reajuste de precio anual o periódico.

Los problemas generales del comercio de astillas de madera incluyen el costo del transporte a larga distancia y las dificultades técnicas para mantener la calidad de las astillas.

#### IV. TRANSFORMACION EN ASTILLAS

##### IV. 1 Introducción, Historia y Terminología

Las industrias que producen tableros de partículas, tableros de fibra, pastas mecánicas refinadas, pastas semiquímicas o pastas químicas han recibido tradicionalmente la mayor parte de su materia prima en forma de trozas, y más recientemente también la parte de las trozas no utilizadas por los aserraderos y por las industrias de chapas. Solamente se ha utilizado la parte comercial del tronco, aunque este concepto ha variado considerablemente con los años, generalmente hacia la aceptación de una mayor parte del tronco. Las frondosas se han convertido en forma progresiva en una materia prima aceptada. En muchos países ha llegado a ser económico el trasladar el descortezamiento desde el bosque a las industrias; sin embargo, únicamente las industrias de tableros han utilizado generalmente la corteza como parte de la materia prima. La transformación de la madera de tronco en astillas ha sido normalmente una operación industrial. Como este tipo de producción en la misma industria es bien conocido, lo que sigue trata sobre todo de la producción de astillas más cerca del bosque, y de la utilización de una parte mayor del árbol.

A principios de los años 70 varios factores condujeron a un desarrollo rápido de la utilización de astillas de todo el árbol - particularmente en América del Norte - como materia prima industrial:

Un rápido crecimiento de la demanda de astillas y las escaseces locales de recursos de fibra, debidas en parte a la escasez de mano de obra;

Las preocupaciones ambientales respecto al despilfarro de recursos naturales y las preocupaciones sobre los despojos de corta y los métodos para tratarlos tales como la quema;

La búsqueda de una materia prima entregada en la industria al menor costo posible;

La aparición de equipos para la manipulación del árbol completo y su transformación en astillas.

Para finales de 1975 se habían vendido en América del Norte casi 500 astilladoras móviles para el astillado de todo el árbol, de las cuales 300 eran para el astillado en el campo y las otras eran para utilización fija en los terminales o para utilización urbana. Sin embargo, con el empeoramiento de la situación del mercado desde el fin de 1974 a 1976, la mayoría de las industrias contaron con un suministro conveniente de astillas de elevada calidad y, como las astillas del árbol completo y las de los residuos forestales crearon ciertos problemas de producción en muchas industrias, disminuyó la utilización de tales astillas. No obstante, importantes actividades de investigación están en marcha para resolver los problemas y determinar la viabilidad de utilizar una mayor parte de la biomasa forestal.

En Escandinavia existe una escasez general de materia prima de troncos en relación con la capacidad de consumo de la industria forestal y además hay superficies crecientes de bosque que están llegando a la edad en que se necesita realizar la primera clara. En países con costos elevados se necesitan sistemas distintos de los tradicionales para la realización de claras, que utilizan mucha mano de obra. Por estas razones comenzaron alrededor de 1970 los proyectos de investigación para la utilización integral del árbol. Al contrario que en América del Norte, parece que se han desarrollado y se están desarrollando relativamente muchas investigaciones y muchos ensayos en Escandinavia, pero las operaciones con todo el árbol a escala práctica, se han desarrollado hasta ahora sólo en proporción muy limitada. No obstante, se predice que la próxima expansión de las industrias forestales aumentará considerablemente la utilización de astillas de todo el árbol, por lo menos en Finlandia.

Se necesita saber más sobre la biomasa forestal, sus técnicas de aprovechamiento y transformación, sus usos potenciales, y los efectos sobre toda la ecología. El potencial para utilizar una mayor parte de la biomasa forestal parece ser grande pero un gran número de variables casi desconocidas o desconocidas del todo, decidirá la evolución futura.

La terminología, por ejemplo al describir la biomasa, los componentes del árbol, los métodos de aprovechamiento y la materia prima resultante no es todavía consistente. "La utilización integral del árbol, la utilización del árbol completo, la utilización total del árbol, la completa utilización del árbol" son algunos de los términos utilizados; la palabra "forest" (bosque) puede utilizarse en vez de "tree" (árbol). Sería útil una nomenclatura más normalizada.

Un concepto aplicado por Young (1975) es el del bosque completo, haciendo resaltar que todos los árboles y las especies arbustivas leñosas - desde las puntas de las raíces a las puntas de las hojas - deben investigarse en su totalidad con vistas a utilizar todo. Los factores económicos determinarían entonces, para una localidad dada, los productos específicos que deberían hacerse o la utilización específica de cada componente. Dentro del concepto del bosque completo, la práctica del aprovechamiento puede variar considerablemente desde no aprovechar nada hasta un posible aprovechamiento y utilización futuros de todos los componentes.

El concepto común y casi opuesto es el de considerar, más o menos, al árbol - dependiendo de la localización y del tiempo - como una materia prima útil y al resto considerarlo como un residuo forestal o como un residuo industrial.

Las principales tendencias prácticas para aprovechar una mayor biomasa forestal han sido:

Aprovechamiento del tocón y de la madera de las raíces;

Aprovechamiento de los residuos (despojos de corta) abandonados después de una explotación maderera convencional;

Transformación en astillas de una proporción mayor o menor de la parte de los árboles situada por encima del terreno.

Los experimentos sobre aprovechamiento de los tocones y su práctica en Escandinavia se basan principalmente en el Stumparvester Pallari, pero también se están ensayando otros equipos. En los Estados Unidos el Rome Puller-buncher es una de las máquinas que se están desarrollando para aprovechar tocones y raíces; con este equipo específico en el sur se sacan los pinos con su raíz principal.

En muchas localidades los residuos forestales que se dejan después de la explotación maderera (árboles remanentes, trozas de desecho, puntas y ramas) se consideran como un inmenso problema de distribución. Se realizan diferentes tratamientos de los despojos, siendo una alternativa su transformación en astillas utilizables para energía o para productos forestales. Se han realizado y se están realizando importantes trabajos de investigación y estudios de viabilidad, por ejemplo en los Estados Unidos y Escandinavia (D.A. EE.UU. 1972, Grantham 1974, Grantham y otros, 1974, Harrison 1975, D.A. EE.UU. 1975). Aunque existen varios métodos y posibilidades para la utilización de residuos, solamente una evaluación local puede determinar su viabilidad.

Un método ensayado corrientemente, en el esfuerzo por conseguir más madera del bosque y reducir los costos, ha sido la transformación en astillas de todas las partes del árbol situadas por encima del terreno. Este método se denomina con frecuencia como utilización de todo el árbol o transformación en astillas de todo el árbol.

#### IV. 2 Transformación de todo el árbol en astillas

Dependiendo de las condiciones y del equipo, la transformación integral del árbol en astillas puede hacerse directamente junto al tocón, en la vía de saca, en el cargadero junto a una carretera forestal o en el terminal o patio de madera de la industria. La transformación en astillas en la misma masa forestal, mediante máquinas de tipo cosechadora (harvester), se está desarrollando para el aprovechamiento de árboles de pequeño tamaño en Finlandia, en Francia, y probablemente en América del Norte. La transformación en astillas de los árboles completos en los terminales o en el patio de la industria, se ha intentado en varios lugares, pero el transporte externo es un gran inconveniente; por ejemplo, el transporte en camión de árboles de coníferas procedentes de claras se estima que es casi dos veces más caro que el transporte de astillas, incluso en distancias tan cortas como de 30 a 40 km. Por el momento, y con el equipo actual, la elaboración de astillas en explanada junto a una carretera forestal para camiones es el método más común y parece que en muchos casos es la mejor alternativa.

Un buen sistema para la elaboración de astillas en el campo debe cumplir los siguientes requisitos:

Astilladoras portátiles y seguras;

Equipo adecuado de manipulación y transporte;

Producción de astillas de una calidad aceptable para la industria;

Beneficios económicos que se comparan favorablemente con otros sistemas "del árbol en pie a la industria".

La elaboración de astillas en el campo puede hacerse partiendo de madera para pasta, del tronco o de todo el árbol. Ello puede incluir también la elaboración de astillas a partir de los residuos que quedan después de la explotación, tales como arbustos, matorral y partes no utilizadas del árbol, como por ejemplo los desechos, las puntas y las ramas.

La finalidad de hacer astillas puede ser:

Disponer de los despojos como una alternativa, en vez de quemarlos;

Producir astillas para fines tales como abrigo vegetal, mejoramiento del suelo o combustible;

Producir astillas como materia prima para las industrias forestales.

En la parte que sigue, la discusión del astillado en el campo se limitará sobre todo al astillado de todo el árbol para producir materia prima para las industrias forestales.

El astillado total del árbol es el más común en las masas frondosas. Las trozas para chapas y las trozas para aserrar pueden aprovecharse por separado o, lo que es más frecuente, clasificarse en el cargadero. En América del Norte, en la actualidad, sólo se aceptan ocasionalmente las astillas de coníferas de todo el árbol y en algunas operaciones de claras de coníferas la mayor parte de las ramas se eliminan antes de realizar el astillado en el campo. Las operaciones de explotación maderera en masas mezcladas pueden incluir dos líneas de producción diferentes, una para frondosas y otra para coníferas, lo que es un factor de complicación.

El astillado de todo el árbol puede formar parte de unas cortas rasas, de unas cortas selectivas o de operaciones de claras. Especialmente en masas con escaso volumen por hectárea, con árboles de pequeña dimensión o de forma y calidad deficiente, el astillado de todo el árbol ha sido el único método de explotación maderera viable económicamente.

Algunas de las principales ventajas o desventajas del astillado de todo el árbol son:

Ventajas

El método aumenta la cantidad de madera que se obtiene de cada hectárea de bosque porque utiliza puntas, ramas y árboles que anteriormente no eran útiles comercialmente. Existe un potencial para destinar las astillas limpias a procesos industriales que exigen astillas de alta calidad y las astillas de inferior calidad a los procesos menos exigentes, para forraje y para procesos de recuperación química o para combustible;

Pueden transformar algunos bosques que no son utilizables actualmente en otros comercialmente útiles;

El sistema permite un alto grado de mecanización y un uso reducido de trabajo manual;

Es un sistema elegante "del tocón a la industria" que permite un flujo rápido de madera;

Puede hacer más fácil y más barato el cultivo forestal ya que los problemas de los residuos de explotación se reducen o se evitan;

El sitio es más agradable para el público cuando se limpia de los desechos de explotación.

Desventajas

Se extraen del suelo materia orgánica y elementos nutritivos. Las hojas, la corteza y las ramas son las componentes del bosque que tienen un contenido más elevado de elementos nutritivos. La extracción de estos componentes puede ocasionar la reducción de la producción futura, hacer necesaria la fertilización y posiblemente aumentar el peligro de erosión del suelo;

La industria, en la mayoría de los casos, obtiene una materia prima deseable debido al contenido de hojas, corteza y otras impurezas. La extracción de éstos, con tamices convencionales, es difícil y origina la necesidad de un equipo adicional para la limpieza de las astillas;

Si las astillas no se limpian antes de su transformación es probable que se aumente la contaminación del agua debida a la industria, particularmente en algunos procesos húmedos, a menos que se tomen grandes precauciones;

Un sistema altamente mecanizado para la conversión de todo el árbol en astillas es costoso;

Los pequeños contratistas y posiblemente los propietarios forestales pueden quedar excluidos del trabajo de explotación maderera y se necesitan menos obreros;

El sistema exige una planificación y coordinación cuidadosa para operar eficazmente, por ejemplo entre el astillado y el transporte de las astillas;

El método puede tener influencias adversas sobre el ecosistema forestal, incluyendo el clima, la vida silvestre, las aves, los insectos y los microorganismos.

A continuación se discuten brevemente dos de estos factores:

#### IV. 2.1 Mayor aprovechamiento de la materia seca

La mayor cantidad de materia seca forestal aprovechada en una superficie dada de terreno mediante los métodos de astillado total del árbol, en comparación con el aprovechamiento convencional, varía ampliamente debido a las diferencias en cuanto a especie, edad, tipo de masa, y sistema convencional de aprovechamiento. En el caso de las coníferas es normal un aumento del 10 al 40 por ciento; en masas de frondosas el aumento puede ser considerablemente mayor. Para obtener datos precisos y seguros para cada caso y localidad específicos, se han realizado ya diversos estudios y análisis sobre la biomasa de árboles individuales y de bosques, por ejemplo Young y Carpenter (1967), Keays (1971a-e), Hakkila (1969, 1971), Ribe (1973), Gislerud (1974), Young (1976).

La cantidad y proporción de los distintos componentes del árbol o de la masa, por ejemplo, madera, corteza y follaje, se reflejarán naturalmente en las astillas de todo el árbol, aunque el contenido de follaje y de corteza puede reducirse algo durante las operaciones de transporte y astillado. Por otra parte, el contenido de contaminantes y de material abrasivo aumentará con frecuencia durante la manipulación.

#### IV. 2.2 Extracción de elementos nutritivos de las plantas

La luz solar, el agua y los elementos nutritivos son factores esenciales para el crecimiento de los árboles. Dentro del ciclo global de nutrientes que a menudo requiere eras geológicas para completarse, existen ciclos secundarios de nutrientes muy importantes para el desarrollo, Fig. 8 (Jorgensen y otros 1975). Un aporte adicional de nutrientes puede proceder de la fertilización, y otras pérdidas de elementos nutritivos, del aprovechamiento, de los incendios forestales, etc.

En general la concentración de los nutrientes de las plantas disminuye, respectivamente, en los siguientes componentes del árbol: hojas (acículas), corteza de ramas, corteza de troncos, madera de ramas y madera de troncos. Cuando se excluyen las raíces delgadas, la concentración de nutrientes de los tocónes y raíces no se diferencia mucho de la del tronco.

En consecuencia, se extraen bastantes más nutrientes del bosque mediante la utilización del árbol completo que con la extracción exclusiva del tronco comercial. El aumento en la extracción de nitrógeno, y otros macro-nutrientes será del orden del 1,5 a 5 veces en comparación con el aprovechamiento convencional. La extracción de nutrientes mediante la utilización del árbol completo en las claras de las masas forestales es naturalmente menor que en la corta final, pero la clara tiene lugar cuando es mayor la necesidad de la masa respecto a nutrientes.

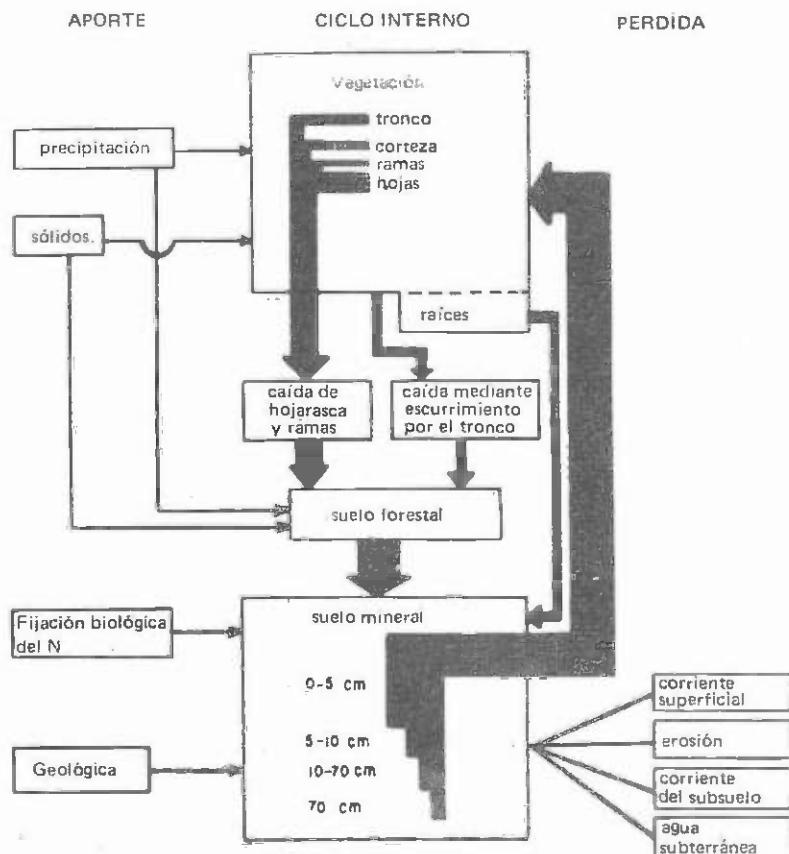


Fig. 8 El ciclo de los nutrientes.

El impacto de la utilización de todo el árbol sobre el balance de nutrientes depende de condiciones locales tales como las cantidades de nutrientes que hay en el suelo y los aportes procedentes de la precipitación, de las partículas sólidas transportadas por el aire, de la mineralización y de la meteorización. No pueden darse conclusiones sencillas y generales, pero algunos puntos de vista regionales de carácter preliminar son los siguientes:

En Escandinavia la disminución de nutrientes no se considera grave en sitios normales y buenos, pero puede ser necesaria la fertilización, especialmente con nitrógeno, para compensar las pérdidas de nutrientes. Se aconseja no utilizar el árbol completo en turberas y en suelos pobres y arenosos.

En Europa Central se ha estudiado que la utilización del árbol completo exigirá a largo plazo una fertilización compensadora, principalmente de P, K, Ca y Mg, para mantener el crecimiento.

Los estudios sobre el balance de nutrientes realizados en los Estados Unidos demuestran que la cantidad y número de veces que puede extraerse la biomasa forestal, antes de que llegue a reducirse grandemente la productividad, variará considerablemente con el sitio.

En los trópicos y subtrópicos el suelo suele poseer escasas reservas de nutrientes y con frecuencia hay poca o ninguna meteorización química que reemplace la pérdida de nutrientes debido a la explotación forestal o a la lixiviación. La mayor parte de los nutrientes se encuentra en la propia vegetación, en la hojarasca o en la materia orgánica del suelo. Por estas razones, las técnicas de aprovechamiento que llevan a la extracción de cantidades importantes de elementos nutritivos de las plantas a partir de un sistema ya pobre en reservas químicas, debe evaluarse cuidadosamente.

Cuanto más corto es el turno entre aprovechamiento que utilizan todo el árbol, más nutrientes se extraen en general. En una silvicultura intensiva de turno corto, en la que suele extraerse la mayor parte de la biomasa situada sobre el suelo, se hará probablemente necesaria la fertilización, llegando a ser práctica normal como en la agricultura.

Una utilización más intensa de la biomasa forestal significa, que debe darse mayor atención a los nutrientes del sitio y al ciclo de nutrientes, estando en marcha importantes trabajos de investigación. Sólo como excepción pueden considerarse los residuos forestales como una materia prima potencial sin gastos, debido a su contenido en elementos nutritivos para las plantas.

Información y referencias bibliográficas sobre el contenido de nutrientes de los distintos componentes de los árboles y la extracción de nutrientes mediante la utilización del árbol completo, las aportan por ejemplo, Young y Guinn (1966), Boyle y otros (1973), Gislerud y Tveite (1973), Nykvist (1974), Binns (1975), Jorgensen y otros (1975), Kreutzer (1975, 1976), Mälkönen (1975, 1976), Tamm (1975) y Boyle (1976).

#### IV. 3 Equipo de explotación forestal y organización para la utilización de todo el árbol

Una versión corriente del sistema de aprovechamiento del árbol completo puede describirse brevemente por los pasos siguientes: corta, apilado, arrastre, astillado, soplado a los vagones y contenedores, transporte a la industria, medición y descarga.

La cantidad de personal y equipo empleados en la explotación maderera basada en la utilización de todo el árbol varía en América del Norte de una operación a otra, dependiendo de factores tales como el tamaño de los árboles, el terreno, el clima, y de que se trate de cortas rasas o claras.

Una operación típica puede constar de:

Personal:

1 capataz de trabajos  
2 operarios  
2  
1 operario

Equipo:

2 cortadoras-apiladoras con cizallas hidráulicas  
2 tractores forestales de arrastre  
1 astilladora  
1 furgón taller con herramientas

El equipo adicional puede incluir una topadora, un tractor explorador de vanguardia (van spotter tractor), un automóvil para el personal, sierras de cadenas, tamiz para astillas y camiones y furgones.

Los tamaños de algunos equipos de personal son menores, otros considerablemente mayores. Por ejemplo, el funcionamiento de dos astilladoras, la clasificación de las trozas más valiosas, o incluso la operación dedicada al aprovechamiento de coníferas, en la misma operación. En algunas operaciones se trabajan dos turnos diarios para la mejor utilización de un equipo tan costoso.

En las operaciones que se realizan en América del Norte la corta se hace normalmente con cortadoras-apiladoras (feller bunchers) (por ejemplo, Caterpillar, Drott, International, John Deere, Melroe Bobcat) que colocan los árboles en pilas listos para que los recojan los tractores articulados de arrastre con pinzas. En terrenos inclinados o con barro pueden utilizarse tractores de arrastre de cadenas (ejemplo el FMC 200). También se consideran los tractores forestales autocargadores (forwarders) que transportan toda la carga o su mayor parte, produciendo normalmente menos contaminación de polvo. Los árboles se dejan caer en la explanada en que está situada la astilladora. Los árboles se pueden apilar, si es necesario, pero normalmente se introducen casi directamente en la astilladora y las astillas se soplan al vagón que espera. En algunos casos se instala un tamiz entre la astilladora y el vagón pero hasta el momento el tamizado de campo ha sido un motivo de atasco; los tamices disponibles son demasiado grandes o tienen muy poca capacidad. Además, el valor como combustible de los elementos finos cubre suficientemente el coste de transporte a la industria. Los camiones y vagones son de tipos normales; algunas operaciones utilizan un tractor de vanguardia para trasladar los vagones desde la explanada hasta la carretera principal en donde se encargan de ellos los camiones normales para grandes carreteras. Los camiones y los vagones de astillas pueden estar incluidos en la operación o estar a cargo de contratistas.

La capacidad de producción de una operación de astillado integral del árbol es muy elevada. La producción real total alcanzada varía considerablemente entre unas y otras operaciones. Muchas operaciones registran tiempos no productivos bastante elevados, con un promedio de alrededor del 50 por ciento del tiempo total, mientras que otras presentan unas cifras muy buenas respecto a tiempo productivo. Las principales razones para el tiempo de parada son las de mal tiempo meteorológico, cambio de sitio, no disponer de vagones, colocación de los vagones en su lugar, cambio de las cuchillas de la astilladora, reparaciones y mantenimiento. El cambio de las cuchillas puede necesitarse alrededor de dos veces al día, pero en condiciones difíciles con frecuencia bastante mayor, llevando de 10 a 20 minutos el cambio completo de cuchillas. Es difícil la producción de astillas en el campo en condiciones de invierno duro.

La producción media de astillas entregadas a fábricas por una operación con un equipo de 7 a 9 hombres suele estar entre 100 y 300 toneladas diarias en verde, o alrededor de la mitad de tal peso expresado en toneladas secadas en estufa.

El personal dedicado a las tareas de astillado integral del árbol necesita una especialización considerable en el funcionamiento y mantenimiento del equipo. En muchas operaciones los operarios del equipo rotan en sus puestos a fin de estar familiarizados con todo el equipo. Una planificación cuidadosa y la coordinación de las operaciones de astillado integral del árbol es incluso más decisiva que en los otros métodos de explotación forestal, para obtener un resultado satisfactorio.

En Escandinavia, se están desarrollando equipos más pequeños y más sencillos para las operaciones relativas a las primeras claras y para el aprovechamiento de árboles de pequeña dimensión. Los métodos y equipos incluyen:

Corta y astillado combinados, en el bosque mediante máquinas de tipo cosechadora y transporte de las astillas a la industria;

Corta con motosierras o con cortadoras-apiladoras (feller-bunchers), astillando junto el tocón o en la vía de saca, y transporte de las astillas a la industria;

Corta, transporte mediante tractores forestales de arrastre o tractores forestales autocargadores (forwarders) hasta la explanada, astillado con astilladoras pequeñas propulsadas por tractor o mayores, astilladoras móviles, y transporte de las astillas hasta la industria;

Explotación maderera y transporte de los árboles completos desde el bosque hasta el patio de la industria donde tiene lugar el astillado.

#### IV. 4 Requisitos de la explanada para la producción de astillas en el campo

En el sistema norteamericano el éxito de una operación de astillado en el campo depende por completo de la explanada o del terminal de campo, para el astillado. Las explanadas deben seleccionarse y prepararse por anticipado. Esta explanada debe ser preferentemente una superficie grande, relativamente plana, pero bien drenada. Puede ser necesaria su preparación con bulldozer así como el relleno con grava, particularmente para facilitar la colocación de los vagones en el conducto de descarga de la astilladora y para sacar los vagones en el conducto de descarga de la astilladora y para sacar los vagones llenos de astillas.

Los requisitos del sitio para la explanada son los siguientes:

La explanada debe proporcionar espacio adecuado para el giro sin problemas de la unidad camión-remolque;

La astilladora debe colocarse con el frente hacia la entrada del tractor de arrastre en la explanada con un espacio de 15 a 25 m de largo, por detrás de la astilladora, para estacionar los vagones de astillas, preferentemente dos vagones colocados en ángulo entre sí, de tal modo que cuando un vagón está lleno el conducto de salida de la astilladora pueda colocarse para llenar el vagón vacío;

Espacio adecuado para que el tractor de arrastre pueda girar y salir desde la zona en que dejan caer los troncos por los dos lados adyacentes a la astilladora, y espacio suficiente para el necesario balanceo de los árboles más largos para colocarse en el muelle de alimentación de la astilladora;

Espacio de estacionamiento para un número conveniente de vagones vacíos y llenos de astillas y espacio de estacionamiento en las proximidades para el vagón taller;

Si han de almacenarse árboles completos, tronzarse las trozas y clasificarse y ha de manipularse el material con un cargador frontal, se necesita un espacio bastante mayor para la explanada.

En la Fig. 9 se presenta un ejemplo de la disposición de una explanada.

Sin embargo, en la mayoría de los sistemas del Norte de Europa los requisitos para los emplazamientos de las explanadas no son tan estrictos, debido a que los equipos son más ligeros y los programas de explotación maderera, más flexibles.

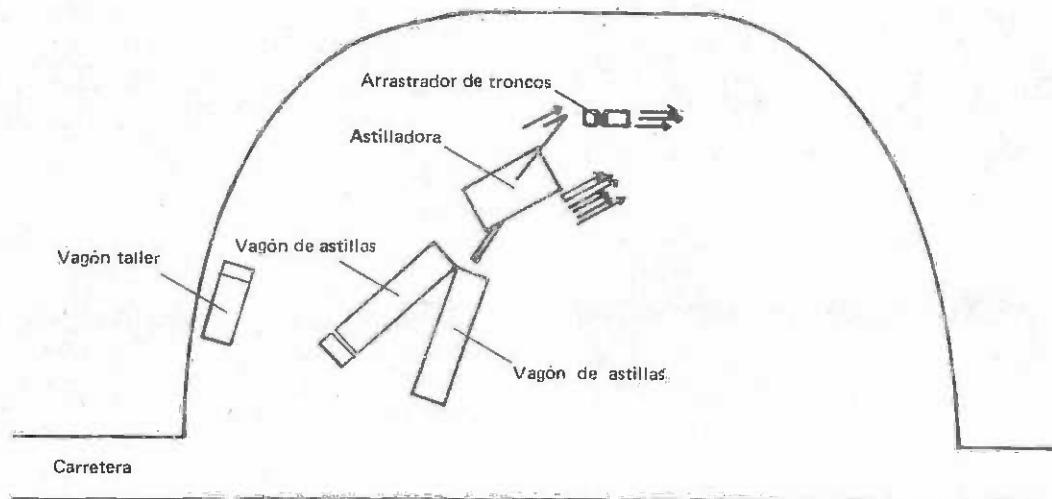


Fig. 9. Disposición de una explanada para al astillado en el campo.

#### IV. 5 Astilladoras móviles

Hay varios principios que se utilizan generalmente para la producción de astillas (Fig. 10). Una astilladora debe ser de diseño robusto para soportar su duro trabajo. Su mantenimiento debe ser sencillo, debe producir astillas de buena calidad, debe tener una elevada capacidad de producción en relación con su tamaño y una necesidad reducida de energía por unidad producida. En la práctica una astilladora es un equilibrio entre los diferentes requisitos, tratando de obtener la mejor economía total.

El astillado de madera para pasta en la industria, se hace normalmente con astilladoras de discos, pesadas y robustas, con 3 a 15 cuchillas, aunque se utilizan también en cierta proporción las astilladoras de tambor.

Muchos aserraderos utilizan actualmente sierras con astilladoras que producen astillas de la misma calidad que las de madera para pasta, aunque producen superficies con cantos suaves. El astillado de los productos secundarios de aserraderos, tales como los costeros, se hace normalmente mediante astilladora de discos, frecuentemente con alimentación horizontal y rodillos propulsores. También se utilizan diferentes tipos de desmenuzadores (molinos de martillos) con cortadoras romas o de canto redondeado, principalmente para maderas rajadas. La principal ventaja de los desmenuzadores es el reducido coste de mantenimiento, mientras que una desventaja es la calidad inferior de las astillas. En la Fig. 11 se presenta un ejemplo de astillas de madera rajada producidas con una astilladora de disco y con un desmenuzador.

En 1959 (FAO 1959), en 1962 (FAO/ECE/LOG/98 1962) y en 1965 (FAO/ECE/LOG/161 1965) se publicaron estudios sobre el astillado con sistemas portátiles y semiportátiles. Para dar una idea de la amplia variedad de las astilladoras móviles actualmente disponibles, se presentan, en el Cuadro 1 y en las Fig. 12-37, datos de algunas astilladoras. Las cifras sobre capacidad dadas para las distintas astilladoras son muy inseguras, ya que dependen de la especie de madera, de su dureza, del tamaño del árbol o la troza, de su rectitud, etc. En la práctica la alimentación de la astilladora es el factor más limitante. Los precios se dan sólo como una indicación.

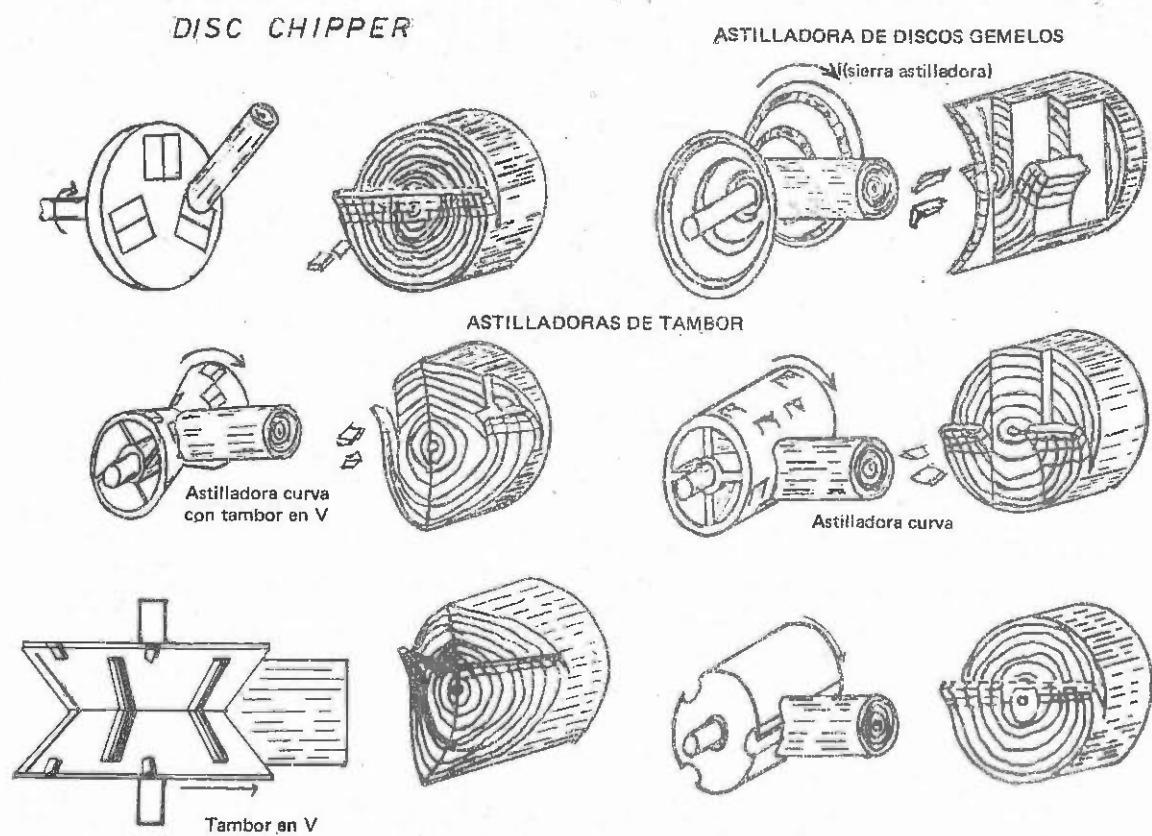


Fig. 10. Tipos de astilladoras comerciales y sección típica de la cara de corte producida por cada tipo.

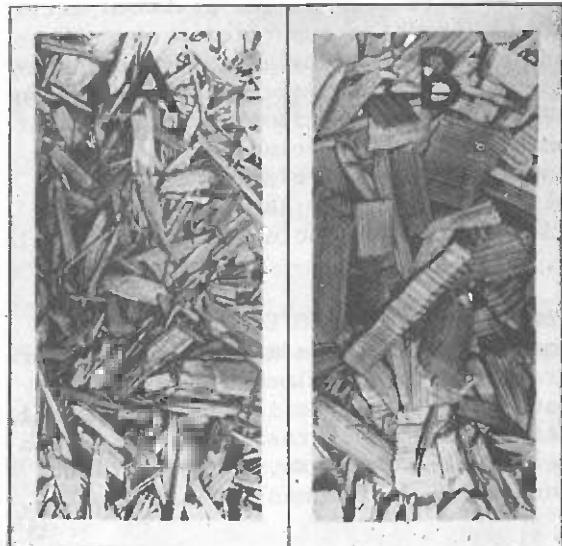
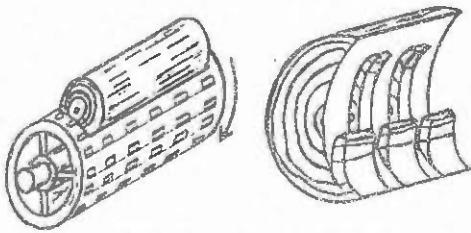


Fig. 11. Astillas producidas con desmenuzador (A) y con disco (B).

Cuadro 1. Características de algunas astilladoras móviles.

Astilladora	Fabricante	Diám.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
Karhula 312 CS	A. Ahlström Oy Engineering Works Div. SF-48601 Karhula Finlandia	25	disco 3 cuchillas	2,6	75-115	15-40	21 400	Astillado de madera en rollo y de árboles comple- tos, sin máquina básica.
AST (ASP)	Alavuden Tehdas Oy SF-63400 Alavus Finlandia	13	disco 3 cuchillas	0,2	30-75		1 200	Astillado de árboles y ma- deras de tamaño pequeño, sin máquina básica, 100 vendidas.
Astilladora múltiple de árboles ALGOL I	Oy ALGOL Ab Eterälanta 8 SF-00131 Helsinki 13 Finlandia	30	tambor 16 cuchillas	18	300		100 000	Astillado de árboles com- pletos y de despojos de corta.
Astilladora múltiple de árboles ALGOL II	"	30	tambor 20 cuchillas	21	350		125 000	Astillado de árboles com- pletos y de despojos de corta
Astilladora Whisper	Asplundh Manufacturing Division, 50 East Hamilton Street, Chalfont, Pennsylvania 18914 EE.UU.	15	tambor 4 hojas	1,6-1,9	50-110	10-15	5 955- 7 120	Para árboles pequeños y matorral, 4 modelos, 11 000 vendidas
Bruks 720	Bruks Mekaniska AB P.O. Box 46 S-820 10 Arbrå, Suecia	20	disco 4 cuchillas	0,5	40			Principalmente para la producción de astillas para combustible, sin máquina básica, 367 vendidas.
Bruks 850	"	25	disco 1-2 cuchillas	1,5	40-75	15-40	7 500- 13 000	Astillado de madera para pasta y residuos de ase- rraderos, equipada con transportador alimentador y rodillos adicionales de compresión para el asti- llado del árbol completo, sin máquina básica, 76 vendidos.

Astilladora	Fabricante	Diám.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
Bruks 1300 MT	Brucks Mekaniska AB P.O. Box 46 S-820 10 Arbrå, Suecia	25	disco 2 cuchillas	3	70-100		10 800- 15 000	Astillado de madera para pasta y residuos de aserradero, equipada con rodillos adicionales de compresión para el as- tillado del árbol com- pleto, sin máquina básica.
Bruks 1500 MT	"	28	disco 3 cuchillas	6,1+ peso del remolque	150-250	70-80 (residuos de aserradero)	desde 70 000	Astillado de madera para pasta, residuos de ase- rradero y puntas de ár- boles, hay varias versio- nes disponibles.
Bruks 1500 RT	"	33	disco 5 cuchillas	14	240-350	90 (residuos de aserradero)	100 000	Astillado de madera para pasta, residuos de ase- rradero y puntas de ár- boles, hay disponibles varios tipos de alimenta- ción de la astilladora.
Bruks 2000 RT	"	41	disco 5-7 cuchillas	18	340-600	140 (residuos de aserradero)	120 000	Astillado de madera para pasta, residuos de ase- rradero y puntas de ár- boles, hay disponibles varios tipos de alimentación de la astilladora.
Bruks 800 CT	"	35	tambor 3 cuchillas	4,9 (peso del tractor o camión)	240	40-95		Astillado de árboles com- pletos y despojos de corta.
Bruks 1200 CT	"	40	tambor 3 cuchillas	16	350	70-130	125 000	Astillado de árboles completos y despojos de corta.
Bush Harvest- master	Bush Manufacturing Co. Kockum Industries, Inc. 9220-B Parkway East Birmingham, Alabama 35206 Estados Unidos	55	disco 3 cuchillas	30	Alrededor de 500		116 000	Astillado de árboles completos.

Astilladora	Fabricante	Diám.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
ABC ~ 1000 M	AB Constructors S-285 00 Markaryd Suecia	25	disco, 2 cuchillas	1,3	50-150	15-40	7 500	Astillado de costeros, trozas y árboles comple- tos, sin máquina básica, 40 vendidas.
ABC ~ 1500 M	"	30	disco, 3 cuchillas	3,2	50-150	15-40	desde 18 400	Astillado de costeros, madera para pasta y árboles completos, sin máquina básica.
ABC ~ 1800 M	"	40	disco, 4 cuchillas	11	250		57 500	Astillado de costeros, madera para pasta y árboles completos.
ABC ~ 8/60 RD	"	35	tambor 2 cuchillas	3,8	60-150	40-60	32 000	Astillado de costeros, trozas, troncos y árbo- les completos.
ABC ~ 10/80 RG	"	45	tambor 3 cuchillas	12,2	350	180	103 500	Astillado de costeros, trozas, troncos y árbo- les completos.
ABC ~ 8/60 RC	"	35	tambor 2 cuchillas	24	365	180	195 000	Astillado de trozas, troncos y árboles comple- tos, puede trabajar en el terreno.
Fulghum Whole Tree Chipper	Fulghum Industries Inc. S.Main Street Drawer "G", Wadley Georgia 30477, Estados Unidos	56	disco, 4 cuchillas	31,5	540		130 000	Astillado de árboles completos.
Hedlunds type 460	Hedlunds Mekaniska Verkstads AB S-822 00 Alfta, Suecia	29	disco, 3-5 cuchillas		75-220			Astillado de madera para pasta.
Morbark Total Chiparvestor Model 12	Morbark Industries, Inc., Box 1000,Winn Michigan 48896, Estados Unidos	29	disco, 2 cuchillas	5,3	190	150	35 400	Astillado de árboles completos.

Astilladora	Fabricante	Diá.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
Morbark Chiparvestor Model 18	Morbark Industries, Inc., Box 1000, Winn Michigan 48896, Estados Unidos	45	disco, 3 cuchillas	12	310		72 000	Astillado de árboles completos
Morbark Total Chiparvestor Model 22		56	disco, 3 cuchillas	26	380	200-300	114 000	Astillado de árboles completos, unas 400 vendidas
Nicholson Logger Utilizer	Nicholson Manufactur- ing Co., 3670 East Marginal Way S, Seattle Washington 98134 Estados Unidos	44-69	tambor a V, 3 cuchillas	42-78	850-1 250			Descorteza y astilla trozas y troncos, 3 modelos
Nicholson Complete Tree Utilizer "22"		56	tambor a V, 3 cuchillas	32	600	250	desde 184 000	Astillado de árboles completos, disponible un modelo mayor.
Nicholson Ecolo Chipper		46-69	tambor, 4-14 segmentos, 4-28 cuchillas	27	600	desde 100	desde 118 000	Astillado de residuos, anchura máxima de entrada 69-246 cm, 5 modelos disponibles.
Precision "58" Tree Harvester	Precision Chipper Corporation, Leeds P.O. Box 360 Alabama 35094, Estados Unidos	45	disco, 3-4 cuchillas	15,8	260		61 000	Astillado de árboles completos.
Precision "75" Tree Harvester		55	disco, 3-4 cuchillas	27,2	desde 325	200-300	desde 103 250	Astillado de árboles completos.
Precision "84" Tree Harvester Twin Engine		64	disco, 3-4 cuchillas	31,3	desde 500		desde 115 250	Astillado de árboles completos, unas 30 ven- didas (todos los modelos).

Astilladora	Fabricante	Diám.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
Wood/Chuck	Safety Test and Equip. Co. P.O. Drawer 400, Shelby, N.C. 28150 Estados Unidos	25	tambor, 4 cuchillas	2,1	100-200	12-15	9 095	Utiliza árboles de pequeña dimensión y ma- torral, 200 vendidas.
Skogma-huggen	Skogsmateriel AB Box 121 99 S-102 25 Estocolmo 12 Suecia	24	disco, 3 cuchillas	0,8	60		4 500	Astillado de residuos de aserradero, madera para pasta y árboles comple- tos de pequeña dimensión, sin máquina básica.
Trelan	Strong Manufactur- ing Co., 498 8 Mile Rd., Remus Michigan 49340, Estados Unidos	43	disco, 2 cuchillas	8	185	125-150	38 700	Astillado de árboles completos, unas 30 vendidas.
Pallari Busharvester	Tervolan Konepaja SF-95385 Tervola Finlandia	15	támbor	10	300-350	15-40	130 000- 155 000	Corta y astillado de ár- boles de pequeña dimen- sión y arbustos, prototipo
TT Terrain Chipper 1000 F	Työväline Oy Sulkapolku 3 SF-00370 Helsinki 37 Finlandia	25	disco, 2 cuchillas	18,5	150		137 500	Astillado de árboles completos.
TT Terrain Chipper 1000 T	"	25	disco, 2 cuchillas	16	150		125 000	Astillado de árboles completos.
TT Landing Chipper 1500 L	"	40	disco, 3 cuchillas	22	300		125 000	Astillado de árboles com- pletos, despojos de corta y costeros.
TT Landing Chipper 1500 T	"	40	disco, 3 cuchillas	23	300		150 000	Astillado de árboles com- pletos, despojos de corta y costeros.

Astilladora	Fabricante.	Diám.máx. aproxima- do de los árboles	Tipo de astilladora	Peso en toneladas	Necesi- dades de energía	Produc- ción tm/día	Precio aproxi- mado en fábrica \$	Notas
Diadem Brush Chipper	Vandermolen Corp. 119 Dorsa Avenue Livingstone N.J. 07039, Estados Unidos	8	tambor, 2 cuchillas	0,1	8-12	650-889		Utiliza matorral, también está disponible el trac- tor agrícola del modelo con toma de fuerza.
Vecoplan type 45/20/4	Vecoplan GmbH + Co., D-5439 Bad Marienbad Postfach 1245 W. Germany	20	tambor, 2 cuchillas	12,5	240	63 000		Astillado de costeros y trozas.
Vecoplan type 75/26/7	"	26	tambor, 2 cuchillas	20	200-300	135 000		Astillado de costeros y trozas.
Veco-Mobil- Chipper type 55/20/4	"	25	tambor, 2 cuchillas		200	117 500		Astillado del árbol completo.
Wayne "16"	Wayne Manufacturing Co., 1201 E Lexington Street Pomona California 91766, Estados Unidos	15	tambor, 4 cuchillas		210			Utilización de árboles de pequeña dimensión y matorral.

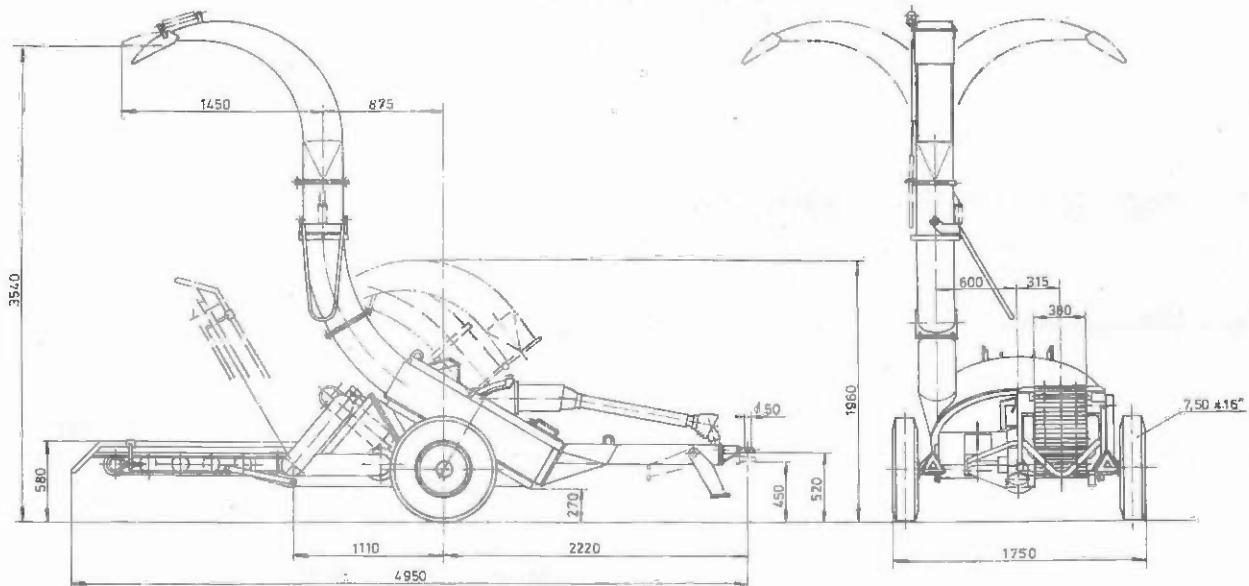


Fig. 12. Karhula 312 CS.

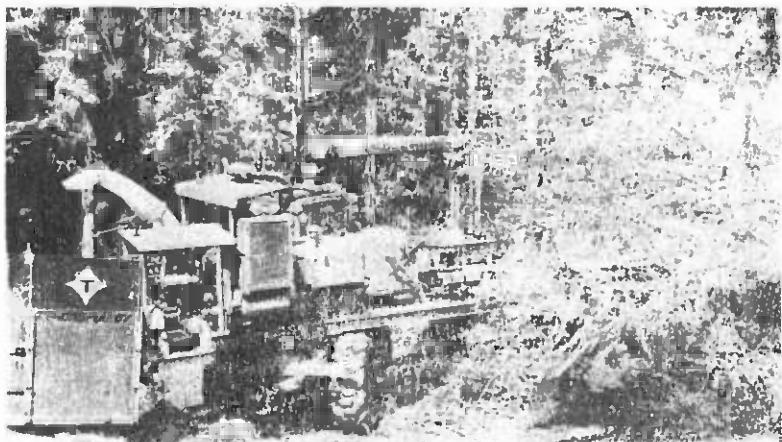


Fig. 13. (Astilladora ALGOL de árboles, de múltiple finalidad)



Fig. 14.

AST.

Fig. 15.  
Astilladora  
sopladora



Fig. 16. Bruks 850 M.

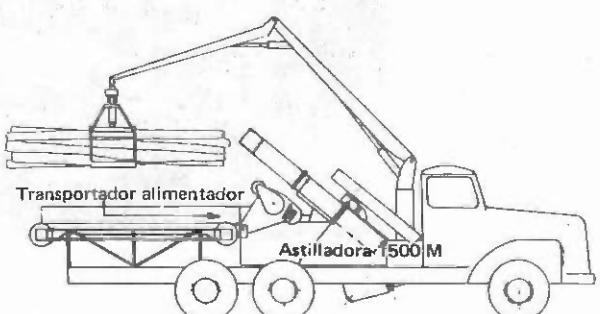


Fig. 17. Bruks 1500 M.

Fig. 18.  
Bruks 800 CT.



Fig. 19.  
Bruks 1200 CT.



Fig. 20. Cosechadora de matorral

Fig. 21.

ABC - 1000 M.

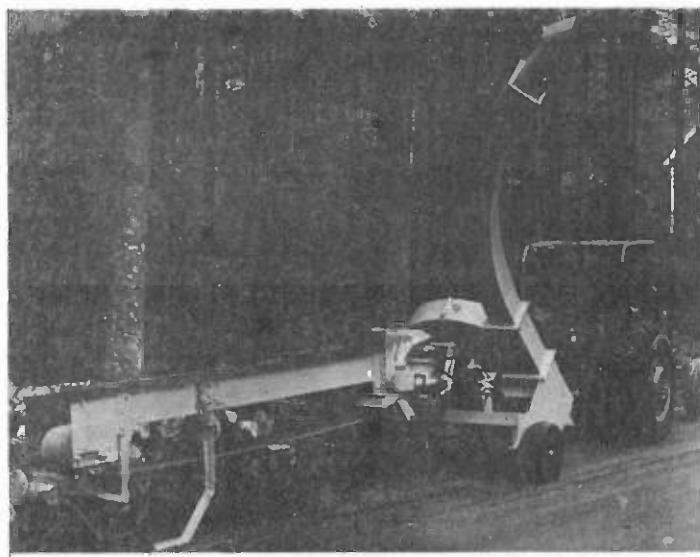
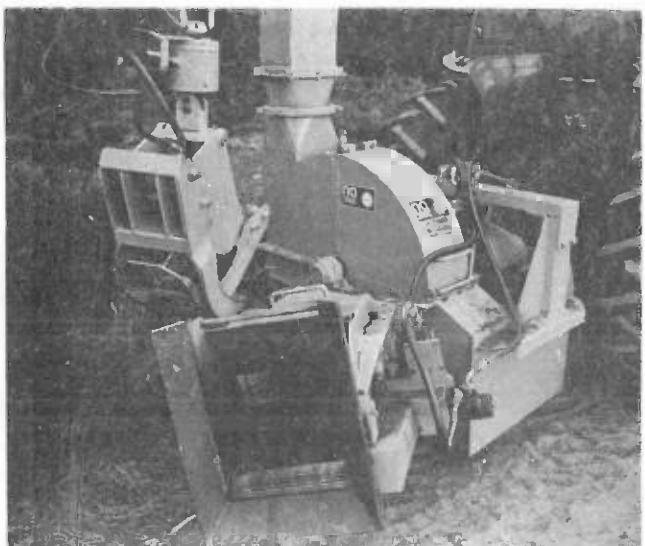


Fig. 22. ABC - 1500 M.



Fig. 23. ABC 10/80 RG.

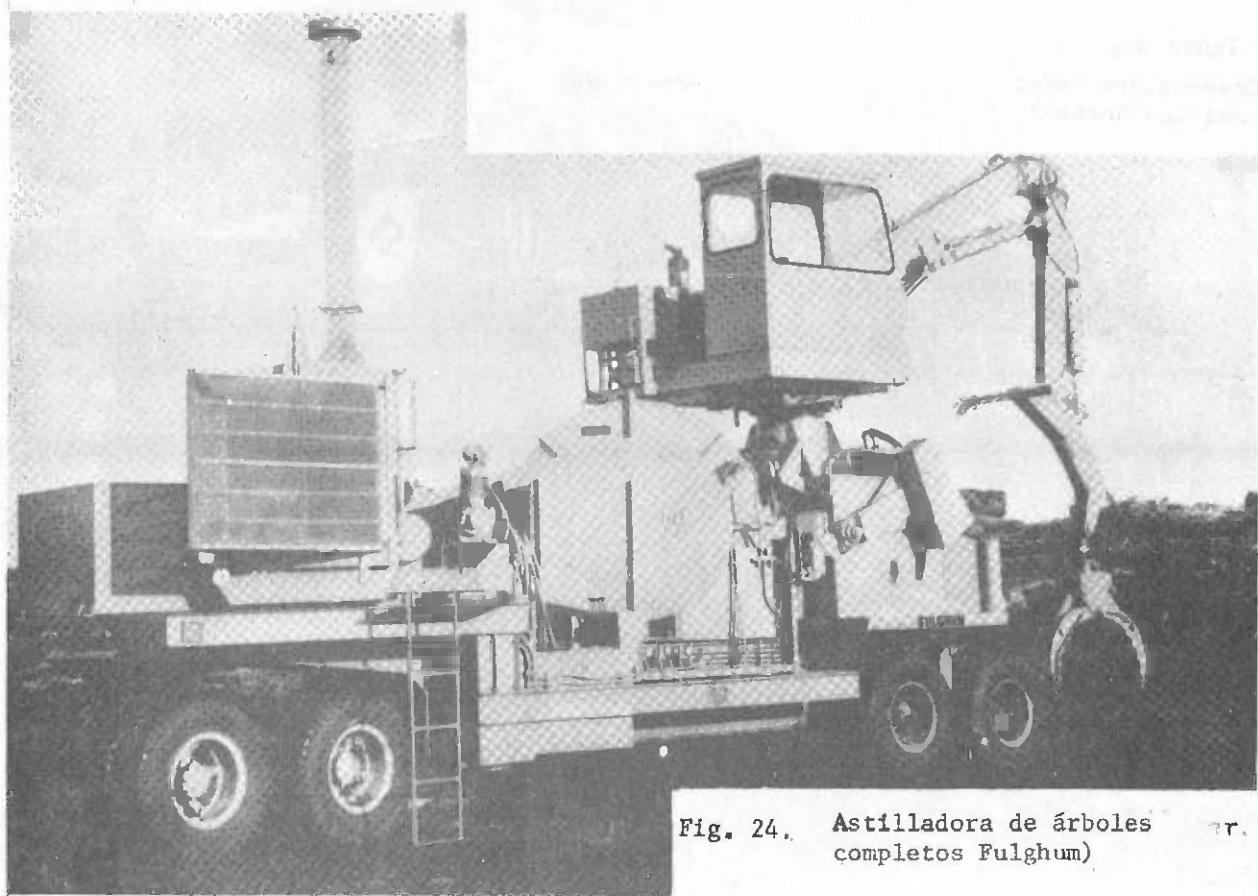


Fig. 24. Astilladora de árboles completos Fulghum)

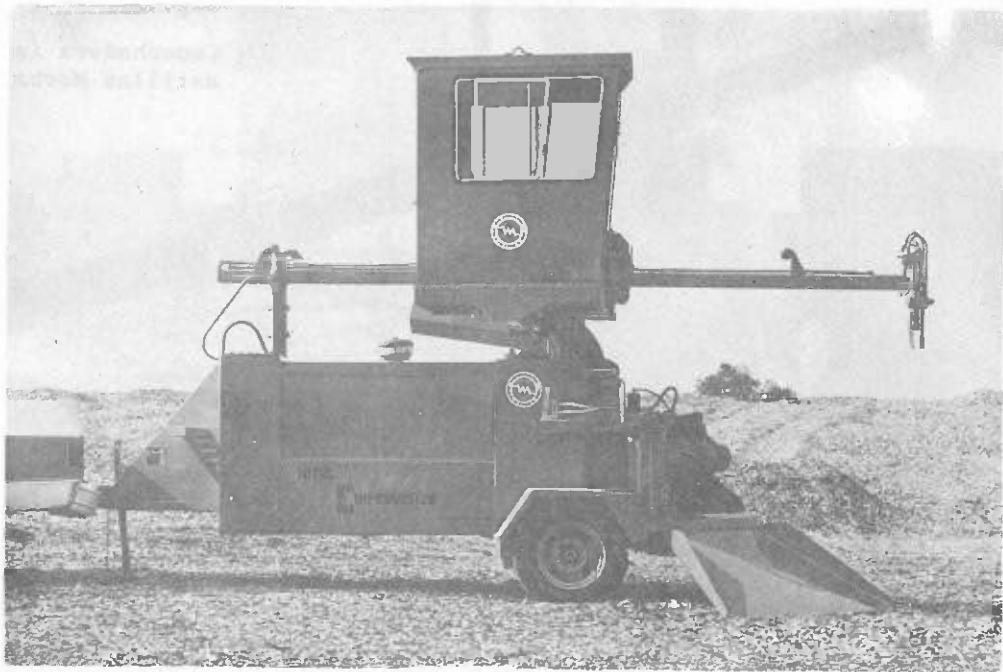


Fig. 25. Cosechadora integral de astillas Morbark, Modelo 12.

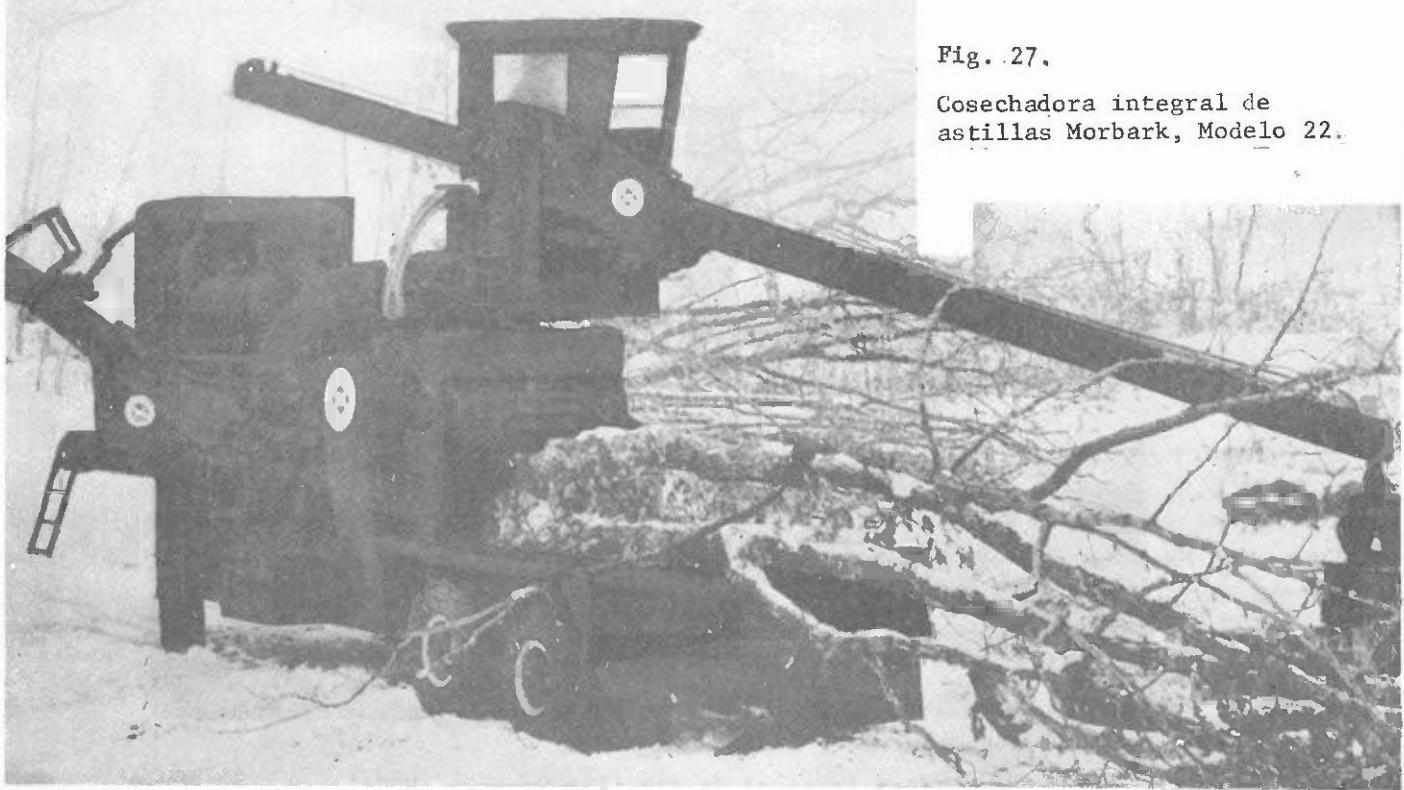
Figura 26.

Cosechadora integral de astillas Morbark, Modelo 18.



Fig. 27.

Cosechadora integral de astillas Morbark, Modelo 22.



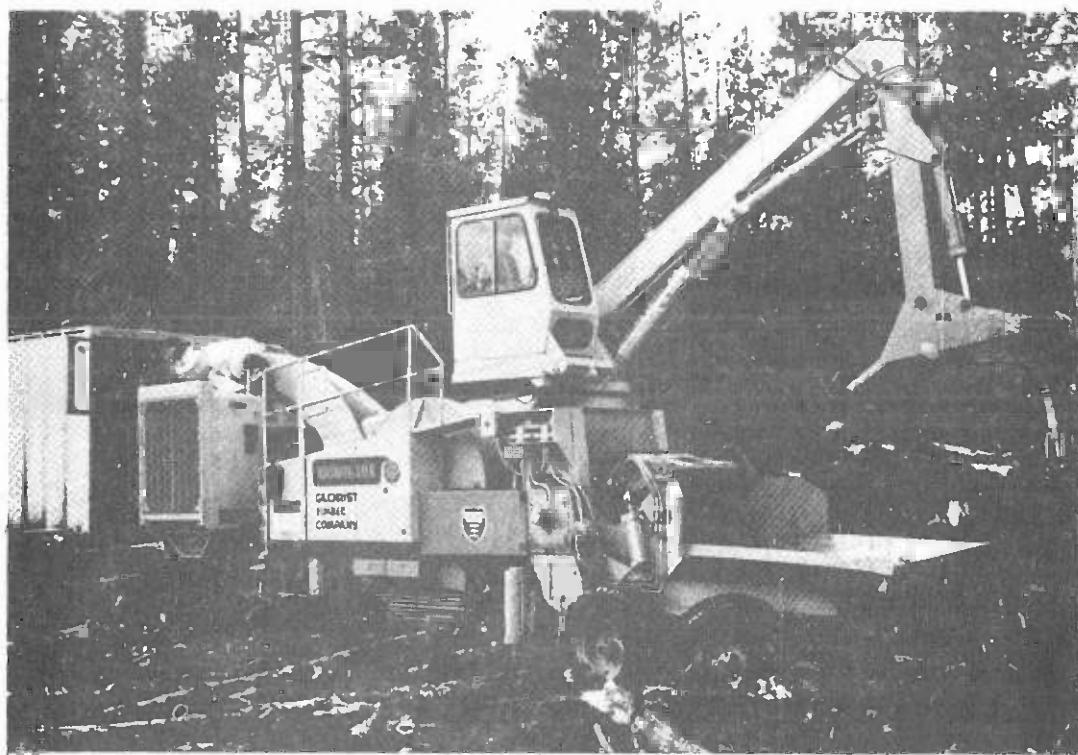


Fig. 28.

Utilizadora de  
árboles completos  
Nicholson,  
22 pulgadas.

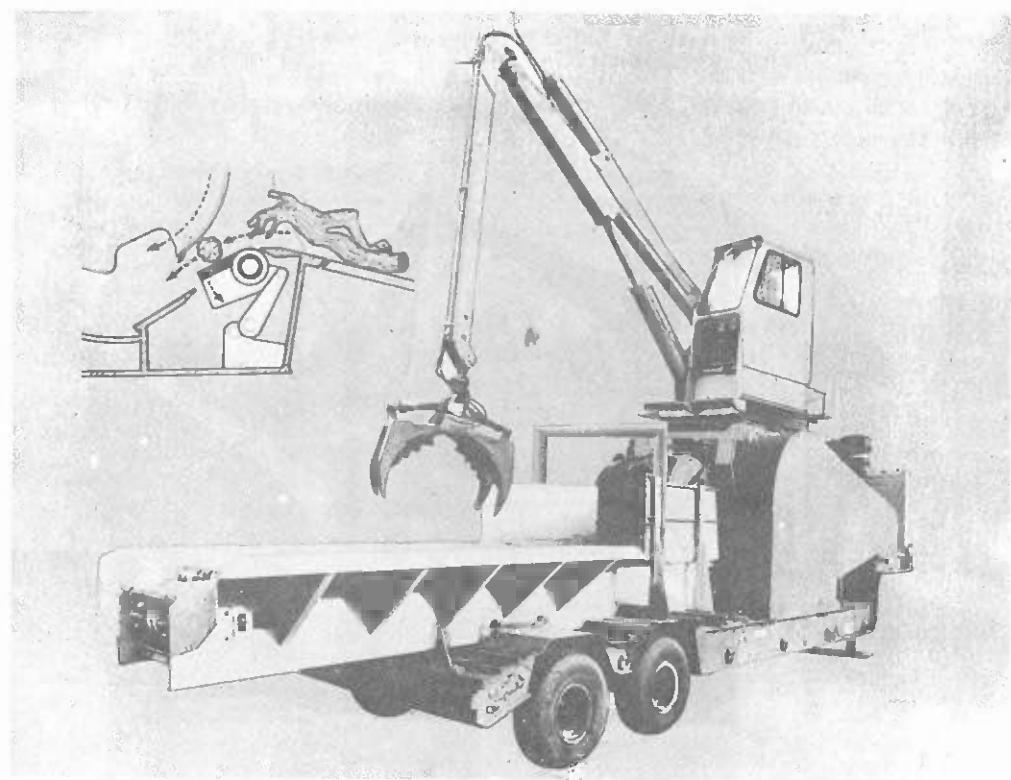


Fig. 29.

Astilladora  
Nicholson,  
Ecolo

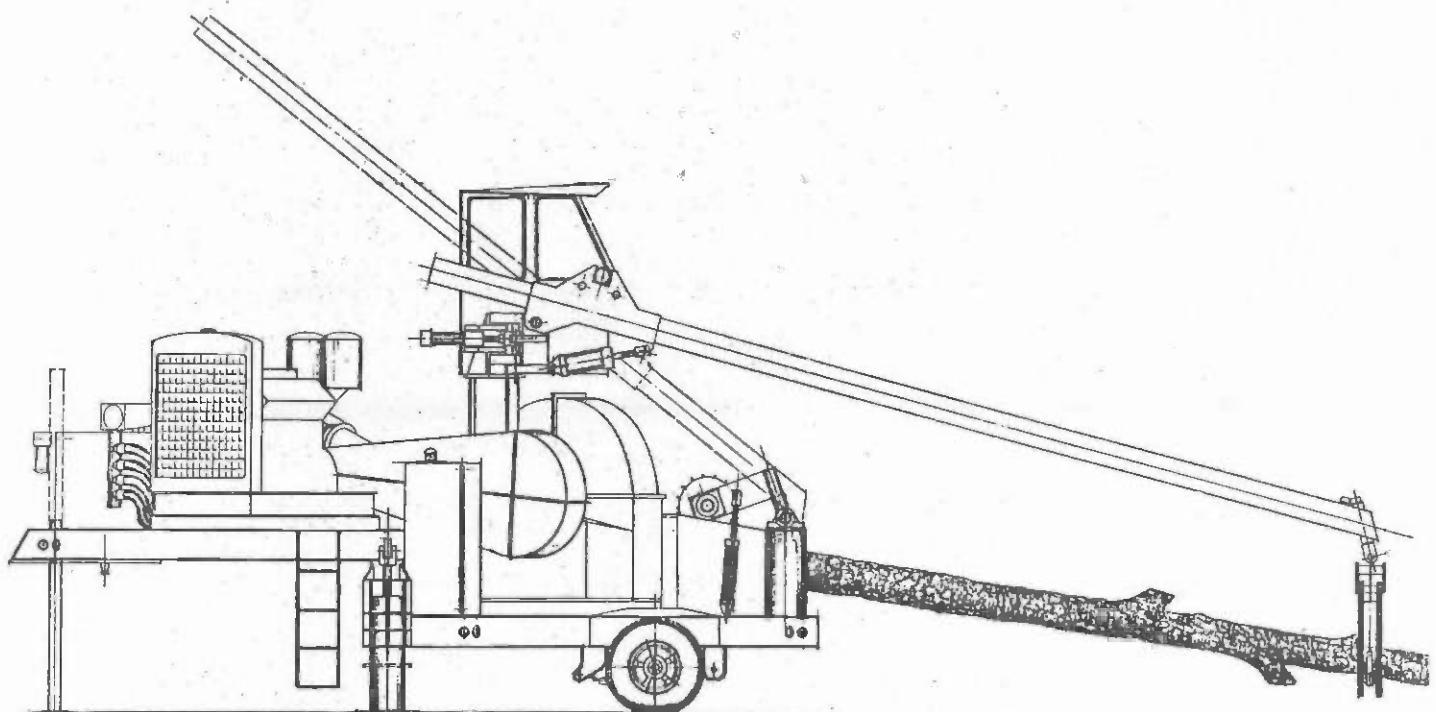


Fig. 30. Cosechadora de precisión de árboles, 58 pulgadas.

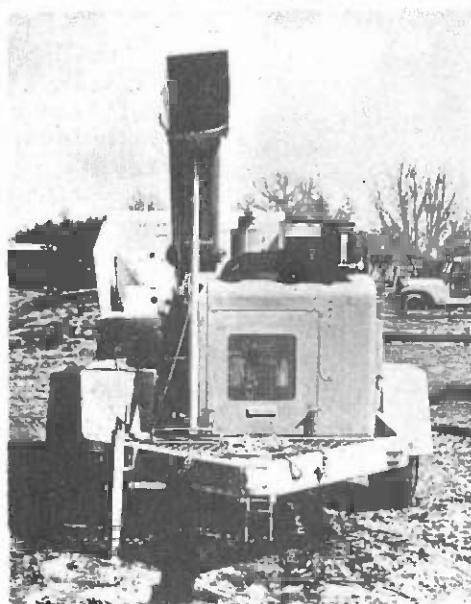


Fig. 31. Wood/Chuck.



Fig. 32. Trelian.



Fig. 33.

Cosechadora de  
monte, Pallari.



Fig. 34.

Astilladora de  
terreno TT, 1000 F

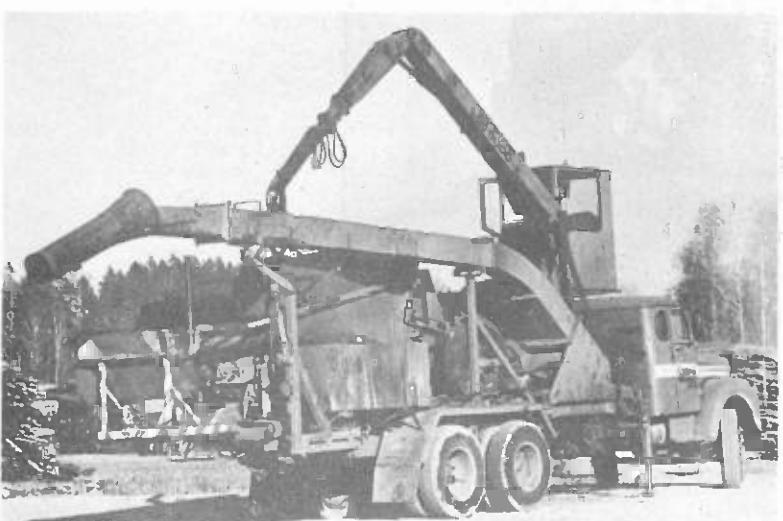


Fig. 35.

Astilladora TT para  
explanada de astillado,  
1500 L.

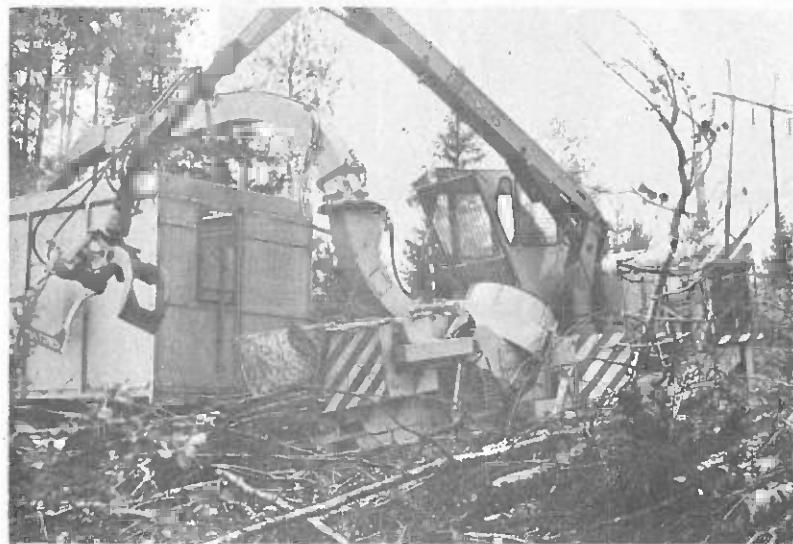


Fig. 36. Astilladora TT para explanada de astillado, 1500 T.



Fig. 37. Astilladora de matorral Diadem.

Las astilladoras móviles son generalmente más ligeras que las fijas de las fábricas de pasta pero lo normal es que la parte del astillado tenga una apariencia convenientemente robusta. El disco es también más ligero con una menor acción en el volante, disminuyendo y aumentando el número de revoluciones por minuto más rápidamente que en una astilladora fija. Cuando se están astillando árboles completos y especialmente despojos de corteza, se necesita una abertura de alimentación relativamente grande. Además, las astilladoras de más movilidad tienen una cadena de acero de alimentación y unos rodillos de compresión y alimentación. Se utilizan tanto las astilladoras de discos como distintos diseños de las de tambor, permitiendo este último tipo una mayor abertura de entrada.

Hay dos problemas principales relacionados con el astillado del árbol completo y especialmente con el astillado de los despojos de corteza. El material se introduce dentro de la astilladora en direcciones que no son uniformes en relación con la cuchilla, dando como resultado astillas de longitudes desiguales; y las piedras y la arena ocasionan frecuentemente problemas, ocasionando retrasos y un elevado coste de mantenimiento de las cuchillas.

La energía necesaria para el astillado depende de diversos factores, tales como la densidad básica de la madera, el contenido de humedad y el diseño de la astilladora y su mantenimiento. Normalmente el astillado necesita de 1,8 a 6 hp hora por m<sup>3</sup>, sólido de madera.

Papworth y Erickson (1966), McKenzie (1970), Erickson (1972a), Lapointe (1973), Ranhagen (1973, 1974), y Parker (1975) proporcionan información y referencias sobre el diseño de las astilladoras y sus necesidades de energía.

#### IV. 6 Mantenimiento de las astilladoras

Lo que viene a continuación se basa principalmente en un documento de Hartler (1972). Se refiere a astilladoras fijas de discos, pero debería ser válido también para las portátiles.

La alimentación de la astilladora con las trozas es de gran importancia para lograr una buena calidad. La troza debe entrar en la astilladora con su eje en posición correcta y a una velocidad prácticamente igual a la de su absorción por la máquina. La succión por la máquina también es importante y las astilladoras deben proyectarse de tal forma que la succión sea efectiva y constante, con la troza moviéndose a una velocidad sostenida a través de la astilladora, sin movimientos de sacudida o brincos que son aún peores.

Mucho podría decirse sobre la disposición de la boca de entrada en relación con el disco y con las cuchillas situadas en él, pero, resumiendo, tanto el ángulo de corte como el ángulo de la cuchilla deben ser lo más reducidos posibles. Un ángulo pequeño de corte significa que la superficie de corte será grande y esto limitará el tamaño de la mayor troza que puede entrar en la máquina. Es difícil lograr un pequeño ángulo de la cuchilla debido a que cuanto menor es el ángulo, más expuesto está el borde al desgaste. Cuando se cuenta con un material mejor para las cuchillas, puede lograrse una reducción en el ángulo de éstas.

El mantenimiento de la astilladora es naturalmente de la mayor importancia para lograr una calidad óptima. No debe permitirse que la placa base y las contracuchillas del disco lleguen a estar demasiado gastadas y la distancia entre la placa base y la cuchilla debe ajustarse cuidadosamente a intervalos frecuentes. Sin embargo, la mayoría de las máquinas no están proyectadas teniendo esto en cuenta y con frecuencia es difícil el cumplir incluso las exigencias nominales en este aspecto. El afilado de las cuchillas es otro factor que debe comprobarse.

Además del ángulo de corte y del ángulo de la cuchilla, la velocidad de corte es uno de los factores más importantes que determinan la calidad de las astillas. No debe permitirse que sea demasiado elevada. Sin embargo, deben equilibrarse la calidad y la producción: una velocidad elevada da una producción alta y una velocidad reducida da una calidad elevada. Las astilladoras para residuos de aserradero y astillado en el campo están

frecuentemente equipadas con un mecanismo alimentador. Si el motor está sobrecargado y baja la velocidad, puede pararse la alimentación o se parará automáticamente. Si es necesario, puede invertirse también la marcha del alimentador.

#### IV. 7 Eliminación de la corteza y mejora de la calidad de las astillas

En la Fig. 38 se muestran algunas alternativas para el descortezado de madera para pasta (Erickson 1972b).

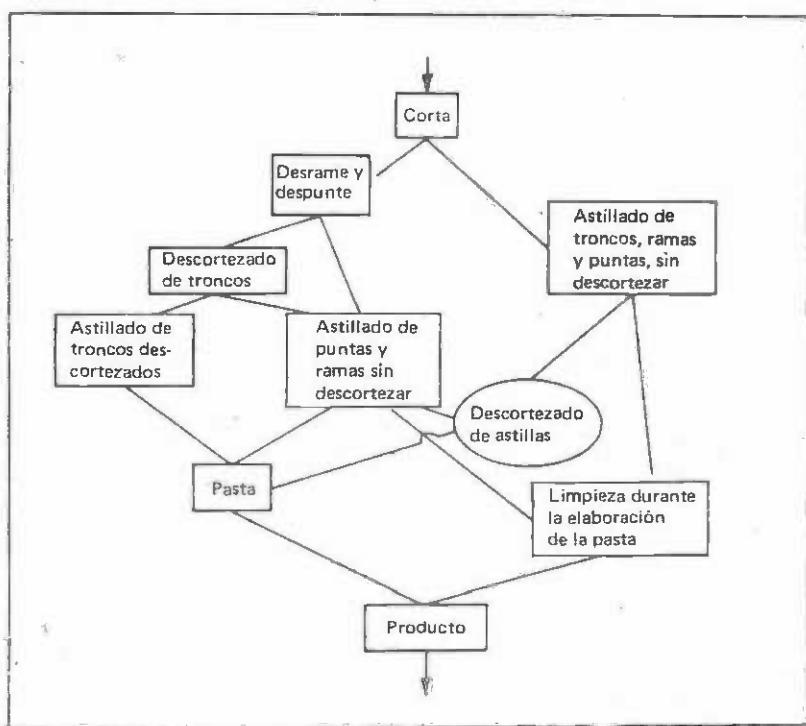


Fig. 38

Alternativas del descortezado de madera para pasta.

En la actualidad casi todo el descortezado de la madera se hace con métodos convencionales, antes del astillado. El descortezado puede hacerse a mano o mediante máquinas. En los aserraderos se utilizan normalmente descortezadoras de cizalla para cámbium y de cabezal mientras que las fábricas de pasta utilizan normalmente descortezadoras de tambor. El descortezado con tambor se lleva a cabo de acuerdo con dos principios: (1) descortezado paralelo para madera larga (3-8 m), y (2) descortezado mediante volteo para la madera corta (1-3 m). Se sostiene que el descortezado paralelo reduce la pérdida de madera porque no se hace tronzado o éste es menor, y también porque se produce una menor rotura de fibras. En el caso de trozas arqueadas y especies difíciles de descortezar, se prefiere el descortezamiento mediante volteo.

En algunas industrias de pasta el descortezado con tambor se hace sin añadir agua a fin de reducir la contaminación del agua y obtener corteza con un bajo contenido de humedad, adecuada para su utilización como combustible. Hay también disponibles descortezadoras de tambor mixtas de tipo seco-húmedo, en las que la porción principal de la corteza se extrae en la sección interior, seca, del tambor. La segunda sección del tambor es un extremo húmedo, lo que mejora la limpieza de la troza. Otro sistema para reducir la contaminación del agua es el de sustituir el agua por vapor. La técnica de descortezado de la madera en rollo es bien conocida (véase FO-FAO/ECE/LOG/162 1966, Weiner y Pollock 1972) y lo que sigue a continuación trata sobre todo de las posibilidades de eliminar la corteza después del astillado, ya que éste es un método bastante nuevo.

Las astillas procedentes de árboles completos y de despojos de corta pueden utilizarse tal como se reciben en la industria, pero normalmente están mezcladas con otras semillas limpias. Las astillas limpias son, naturalmente, una materia prima bastante mejor y en

algunos procesos, una necesidad. La mejora de la calidad de las astillas puede incluir la eliminación del follaje, de las astillas de tamaño excesivo, de los elementos finos y del material abrasivo, además de la corteza.

La finalidad de la mejora de la calidad podría ser también el separar la masa de astillas de todo el árbol en diferentes clases o componentes, cada una adecuada para diferentes usos, variando desde la pasta hasta el combustible y los productos químicos.

El grado necesario de mejora de la calidad varía con el proceso de producción industrial, con el equipo de producción y con el producto final. Si el contenido de corteza se redujera hasta el 3-5 por ciento, varias industrias de pasta kraft podrían utilizar grandes cantidades de astillas de todo el árbol.

La eliminación de la corteza después del astillado representa (1) romper la unión entre la madera y la corteza (separación) y (2) eliminar las partículas de corteza de la masa de astillas.

Investigaciones realizadas por Erickson (1972a,b) demuestran que una parte de la corteza se separa de la madera durante el astillado de los troncos descortezados. Durante el período vegetativo, el astillado del tipo de discos dio como resultado la separación de un 90 a un 100 por ciento de la corteza. Sin embargo, en el período de reposo vegetativo, la corteza estaba tan firmemente adherida a la madera (situación más pronunciada en el caso de las coníferas) que dio resultados de separación a veces tan bajos como del 30 al 50 por ciento. En consecuencia no es posible depender por completo del astillado para separar la corteza de las astillas de madera durante todo el año.

Se han ensayado muchos sistemas, como la compresión, el tamizado o la flotación en aire o líquido, para la separación de la madera y la corteza.

Varios años de investigación en el Laboratorio de Ingeniería Forestal (Forest Engineering Laboratory) (FEL), Houghton, Michigan, Estados Unidos, han dado como resultado un proceso técnicamente viable de separación-segregación de la corteza y de las astillas. La módula del proceso es una descortezadora de compresión. Las astillas se pasan entre dos rodillos de acero opuestos, cargados hidráulicamente, que mantienen un espaciamiento de paso menor que las astillas. En este proceso una parte de la corteza se adhiere a los rodillos de compresión y se raspa o se aplasta reduciéndolo a partículas pequeñas que pueden ser tamizadas. El descortezamiento por compresión por sí solo puede eliminar del 40 al 70 por ciento del contenido de corteza en una masa de astillas. El tratamiento mediante vapor de la masa de astillas durante 5 minutos antes de la compresión ablanda la corteza, y la hace pegajosa, de modo que se adhiere mejor a los rodillos de compresión de los cuales se rascan mediante cepillado o raspado. El tratamiento previo por vapor, seguido del descortezado por compresión puede eliminar del 55 al 80 por ciento de la corteza que entra. Las astillas de todo el árbol del *Populus tremuloides*, del *Acer saccharum*, y del *Pinus banksiana*, con un contenido de corteza de entrada del 9 al 21 por ciento, tuvieron un contenido residual de corteza del 3 al 7,5 por ciento después del tratamiento. La recuperación de madera varió del 80 al 97 por ciento. La mayor parte de la corteza está en la fracción de astillas menor de 10 a 15 mm. Tamizando esta fracción y separándola de la materia prima que abastece a la industria, se reduce el contenido de corteza a menos del 3 por ciento, pero aumenta la pérdida de madera y da más combustible. Sin embargo, parte de la madera contenida en esta fracción de astillas puede recuperarse mediante, por ejemplo, un tratamiento con molino de martillos y el subsiguiente tamizado. Informes recientes de Mattson (1975) y Erickson (1976) describen el sistema FEL de descortezado de astillas.

Una compañía, la Parsons y Whittemore, ha tenido funcionando desde la primavera de 1975 la primera planta piloto del mundo, a escala industrial, descortezadora de astillas en St. Anne-Nackawic Pulp y Paper Company Limited, New Brunswick, Canadá, basada en el método desarrollado por FEL. Las astillas de todo el árbol se tamizan para eliminar los elementos finos, mediante lo cual el contenido original de corteza del 11 al 15 por ciento se reduce en un 20 a un 30 por ciento. Las astillas reciben un tratamiento previo con vapor de agua

durante 3 a 7 minutos y a continuación se colocan en forma dosificada sobre un sistema transportador de tres pisos que alimenta a los rodillos de compresión con una sola capa de astillas distribuida de uno al otro extremo de la anchura completa del transportador. En general, el contenido de corteza de las especies frondosas arce, álamo temblón, haya y abedul parece reducirse hasta alrededor del 3 por ciento con una pérdida aceptable de madera cuando el proceso de mejoramiento de las astillas incluye las etapas siguientes (Fig. 39):

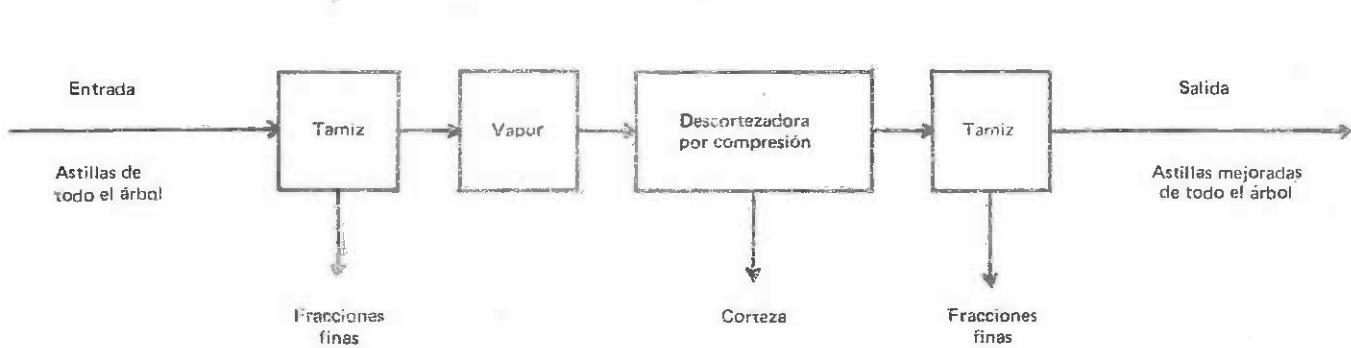


Fig. 39. Sistema de mejora de la calidad de las astillas en St. Anne-Nackawic.

La capacidad de la unidad de descortezamiento por compresión es alrededor de 10 t por hora de astillas secadas en estufa. El descortezamiento por compresión reduce la densidad del empacado de las astillas, pero también el tiempo de cocido, dando como resultado una probable ganancia neta en la capacidad del digestor.

Partiendo de la experiencia obtenida hasta finales de 1975, el proceso parece ser bastante prometedor, pero la unidad de compresión necesita nuevas mejoras antes de poder estar disponible comercialmente. En general, la extracción de corteza después del astillado no puede ser tan eficaz como los métodos normales de descortezamiento de la madera en rollo, pero es, sin embargo, muy interesante.

En el Forest Engineering Research Institute de Canadá, Quebec (PPRIC 1975, FERIC 1975) (Instituto de Investigación de Ingeniería Forestal de Canadá) se está siguiendo un enfoque distinto que incluye la utilización de agua para separar y segregar la corteza y el follaje.

Acerca de otros métodos y equipos para la mejora de la calidad de las astillas, puede mencionarse brevemente lo que sigue:

- Tamices vibratorios planos, normalmente inclinados. Tales tamices tienen una eficacia relativamente escasa;
- Tamices giratorios (oscilantes, flotantes, rotatorios) que tienen un movimiento circular o elíptico. Tales tamices dan un mejor resultado de tamizado que los vibratorios (Fig. 40);
- Tamices de tambor perforado o de barra rotatoria (Fig. 41). Estos tamices rotatorios son sencillos mecánicamente y se limpian más o menos por sí mismos. La capacidad y eficacia del tamizado suele ser relativamente pequeña en relación con el tamaño del tamiz;
- Tamices de disco rotatorio (Fig. 42) que transportan las astillas sobre discos rotatorios y el material de escasa dimensión cae a través de los espacios que existen entre los discos que se solapan. Los discos pueden estar espaciados en forma diferente

a lo largo del tamiz y separar de esta manera la masa de astillas en fracciones diferentes. Son ventajas de este tipo de tamizado su elevada capacidad en relación con el tamaño del tamiz, su simplicidad, su autolimpieza y sus costos reducidos;

- Técnicas de clasificación por aire (Fig. 43);
- Lavado de las astillas.

No puede esperarse que una sola máquina pueda realizar el mejoramiento completo de la calidad de las astillas; sin embargo, combinando métodos bien conocidos de tamizado o de lavado, con los métodos recientemente desarrollados de descortezeamiento de astillas, puede hacerse una gran parte de la tarea. Probablemente es económico gastar más dinero en la mejora de la calidad de las astillas y reducir los costos derivados de los problemas de producción industrial. El tamaño y el coste del equipo parecen obligar a que la mayoría de las fases de la mejora de la calidad de las astillas se realice en los terminales de astillas o en la industria.

Christensen (1976), Hartler (1975), Arola y otros (1976), Erickson (1976) y Snow (1976) han presentado análisis recientes de los métodos y equipos de mejora de la calidad de las astillas.

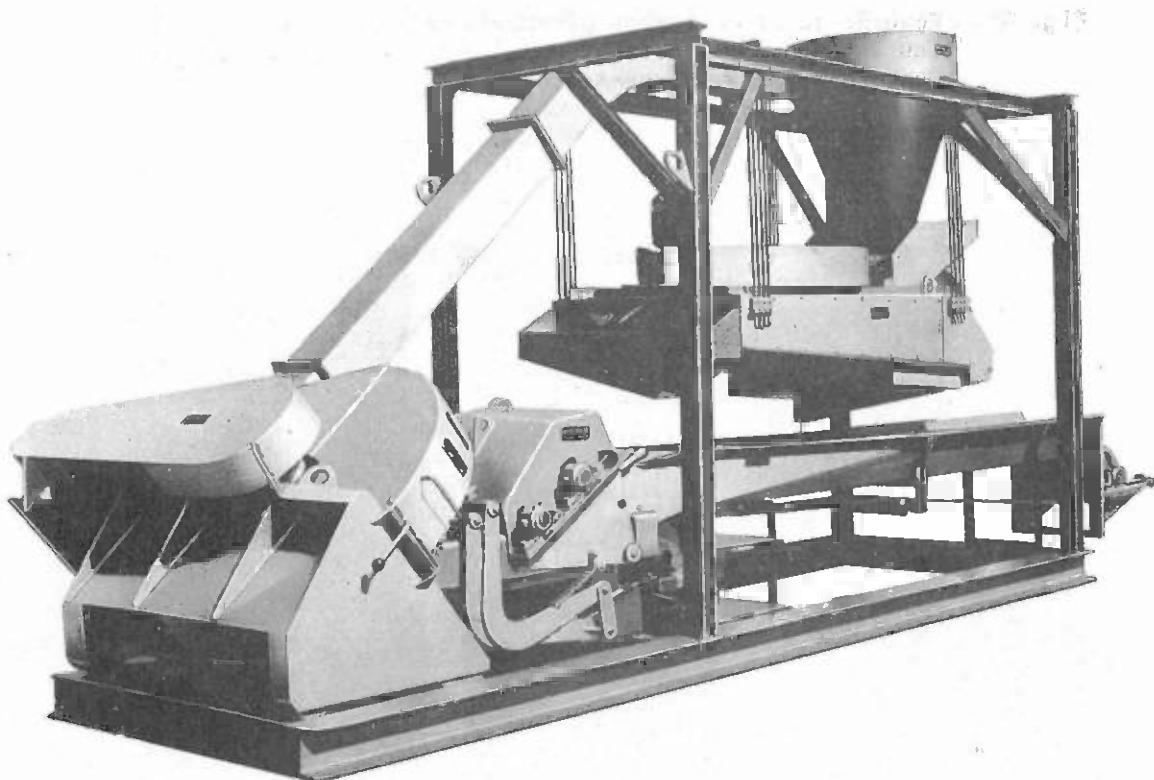


Fig. 40. Ejemplo de una astilladora y un tamiz giratorio (Bruks Chip Pac).

otra parte, las astillas de todo el árbol tienen un valor inferior y una gama de usos más limitada que las astillas limpias, a menos que haya mejorado su calidad, cuya tecnología está todavía en su infancia;

La importancia del aumento del rendimiento en materia seca por unidad de superficie forestal, puede variar desde cero, cuando el suministro es abundante, hasta muy elevada cuando el suministro es escaso. Un beneficio posible de la utilización integral del árbol puede ser la reducción de los costes de transporte, por disminuir la superficie de abastecimiento.

En Escandinavia las cifras preliminares de costes indican que la utilización de todo el árbol es una posibilidad realista, sobre todo porque puede recuperarse más materia prima y porque hay unas ventajas potenciales en cuanto al aprovechamiento y manipulación. Sin embargo, no se contempla como una solución general para una utilización más eficiente de los recursos forestales escandinavos. Se dispone todavía de pocos datos para un cálculo seguro del resultado final de los distintos métodos de aprovechamiento y utilización. Sin ninguna duda, los actuales proyectos de investigación y desarrollo de la utilización de todo el árbol proporcionarán un conocimiento valioso, así como la información necesaria para una adecuada toma de decisiones.

## V. SISTEMAS DE TRANSPORTE

### V. 1 Introducción

La demanda de un cierto producto depende no sólo de su precio y calidad sino también de su disponibilidad: fecha de entrega, cantidad y localización.

Para entregar la calidad justa de artículos, en un lugar determinado y en el tiempo exacto, dando así plena satisfacción al cliente, se necesita un sistema moderno de distribución. Cada eslabón en la cadena de transporte de los materiales, debe ser eficiente, desde la extracción de la materia prima, pasando por las diversas etapas de transformación, hasta el cliente. En la logística de la industria de fibras, el esfuerzo para dar al cliente el mejor servicio, al precio más reducido, incluye todos los eslabones de la cadena de transporte, desde el momento en que se corta el árbol en pie en el bosque, hasta que se satisface la demanda del cliente de madera aserrada, pasta y papel, y está relacionado con la economía de la actividad total: almacenamiento, manipulación en los terminales y lugar y momento de la entrega. La logística de la distribución al consumidor del producto terminado, tiene una importancia cada vez mayor, ya que los costes crecientes de distribución están íntimamente relacionados con el nivel de desarrollo del país y con los costes de producción (Fig. 44).

Relación del coste de producción  
y distribución

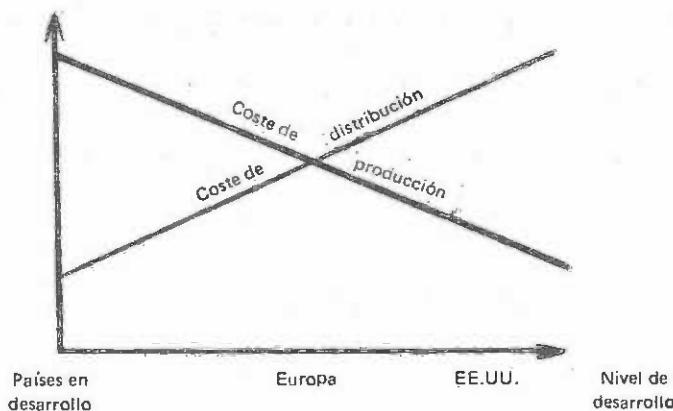


Fig. 44. Variación de los costes de producción y distribución en función del nivel de desarrollo.

El movimiento de fibras desde el bosque al cliente se hace a granel, al menos antes de la transformación, ya sea en forma de trozas o astillas de madera. Se aplican las siguientes normas generales para un transporte racional a granel:

La carga y descarga deben concentrarse en pocos lugares;

Deben utilizarse herramientas y equipos especializados, así como cargueros especializados para los principales productos;

Las mercancías deben disponerse, ya sea en grandes cantidades (cargas a granel) o en forma de cargas unitarias normalizadas fáciles de manejar y transportar.

Las astillas de madera tienen un peso reducido por unidad de volumen. Cuando la carga está limitada por volumen y no por peso, la utilización de todo el espacio disponible y la obtención de una buena compactación llegan a ser importantes para la economía del transporte. A veces el añadir un bombeo de astillas a la parte superior de la carga en vehículos y remolques abiertos mejora la economía de la operación. Para evitar el derrame durante el transporte se suelen usar redes especiales para el transporte de astillas. La compactación después de la carga, expresada por ejemplo como volumen sólido relativo, varía entre 0,30 y 0,45, dependiendo principalmente de las propiedades de las astillas y del método de carga. La carga neumática ha demostrado dar una mejor compactación que la caída libre desde cargadores, silos o transportadores mecánicos, aunque el transporte neumático no está exento de inconvenientes. La oscilación del vehículo durante la carga aumenta algo el volumen sólido relativo. Se están investigando otros medios de vibración de las astillas y también de embalaje de éstas para obtener una mejor compactación y una economía en su manipulación.

El transporte de astillas de madera se realiza en dos fases: interna y externa. La externa se aplica a toda fase que tiene lugar fuera de la industria, ya sea una industria de pasta, una planta astilladora o un aserradero. El transporte externo significa transporte por camión, ferrocarril, tubería o cargueros marítimos, especialmente construidos para transportar astillas de madera.

## V. 2 Transporte externo

### V. 2.1 Transporte en camión

El transporte de astillas de madera desde aserraderos, industrias de tableros contrachapados u operaciones de astillado en el campo, hasta el terminal receptor o industria se hace corrientemente mediante camiones, siempre que la distancia de transporte sea razonable. Normalmente los camiones están equipados especialmente para esta tarea. El equipo ideal de transporte por camión depende del volumen a transportar, de la distancia de transporte, del tiempo y equipo de carga, de las instalaciones de descarga, y no en menor proporción de las normas específicas de cada país sobre camiones y carreteras. Combinando una estructura de acero y un recubrimiento de aluminio se puede reducir el peso de un remolque para astillas y ganar una parte adicional de carga útil. Sin embargo, en algunas operaciones de astillado en el campo, se ha demostrado que los recubrimientos finos de aluminio son inadecuados. En Escandinavia, por ejemplo, el vehículo ideal para astillas suele consistir en dos contenedores fijos sin equipo de descarga y con 5 ó 6 ejes (Fig. 45). El máximo que puede alcanzar la carga neta en las condiciones suecas, por ejemplo (24 m de longitud total de vehículo, 10 a 16 tm de presión por eje) es de 33 tm (100 m<sup>3</sup> de volumen aparente). Se están probando distintos sistemas de contenedores, especialmente en las operaciones de astillado en el campo (Fig. 46).

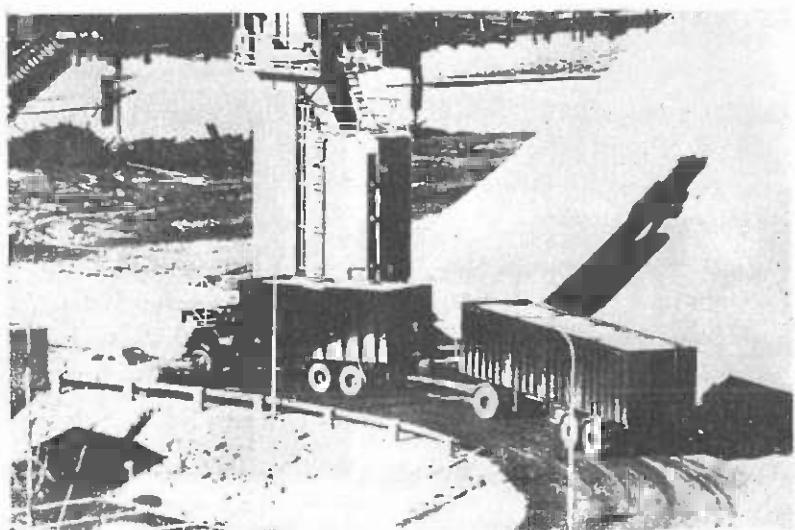


Fig. 45. Camión de tres ejes y remolque de tres ejes para el transporte de astillas de madera.

En América del Norte son corrientes los semirremolques convencionales con capacidades de hasta  $90 \text{ m}^3$  de volumen aparente, utilizándose también en los Estados Unidos remolques para astillas que contienen  $110 \text{ m}^3$ . En zonas de inviernos fríos, los vagones de astillas están equipados frecuentemente con mangueras para deshelar las astillas mediante vapor antes de descargarlas.

Uno de los sistemas más eficaces para reducir los costes es reducir al mínimo los tiempos de carga y descarga.

La rapidez de la carga puede lograrse de muchas formas. La utilización de grandes tractores cargadores o la carga por gravedad desde los silos (Fig. 47) son los métodos más eficaces. Con los silos existe el problema de que en un clima frío las astillas se helarían en bloque, pero esto podría evitarse dotando a los silos con cables de calefacción y aislamiento. La carga puede hacerse también mediante transportadores mecánicos y neumáticos. En el caso de astillado en el campo, las astillas se suelen soplar directamente desde la astilladora al vagón o contenedor.

La descarga puede efectuarse volcando los contenedores con dispositivos hidráulicos montados sobre el camión. Esto aumenta la versatilidad del equipo de transporte pero da como resultado la disminución de la carga. Los contenedores de astillas con laterales abatibles pueden descargarse mediante una hoja, montada sobre tractor, que empuja las astillas hacia fuera. Con grandes volúmenes de transporte, el mejor sistema de descarga es probablemente el tener puentes fijos en la estación de descarga de modo que se pueda volcar la carga completa del camión y, en tal caso el tiempo total de descarga es aproximadamente de 10 minutos. Otro método incluye la utilización del vacío para succionar las astillas del contenedor.

En algunos terminales se utilizan palas mecánicas cargadoras de astillas, combinadas normalmente con transportadores, ya sea mecánicos o neumáticos, que dan un tiempo de descarga de unos 15 minutos por vagón. En la Fig. 48 se muestran algunos sistemas de descarga.

A parte del trabajo en la terminal y de la capacidad de carga, otros parámetros importantes en la economía del transporte en camión de astillas de madera son la velocidad de transporte y el tiempo efectivo de trabajo. La preparación y motivación del conductor desempeñan papel mucho más transcendente de lo que podría esperarse.



Fig. 46. Ejemplo de un sistema de contenedores (HIAB-FOCO); cada contenedor tiene en este caso un volumen de unos  $38 \text{ m}^3$ .

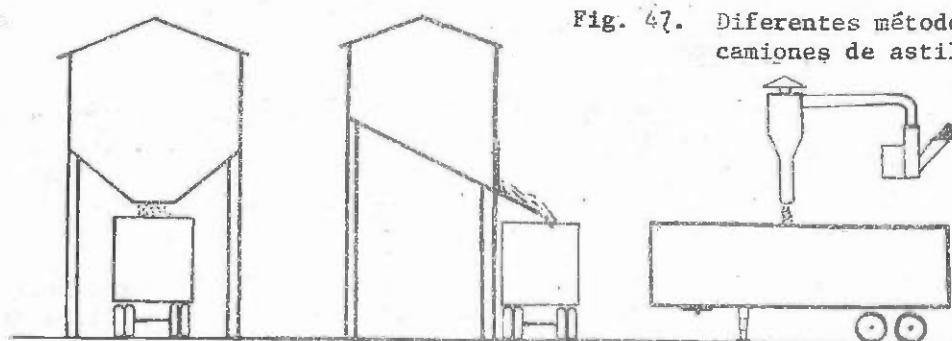


Fig. 47. Diferentes métodos para cargar camiones de astillas.

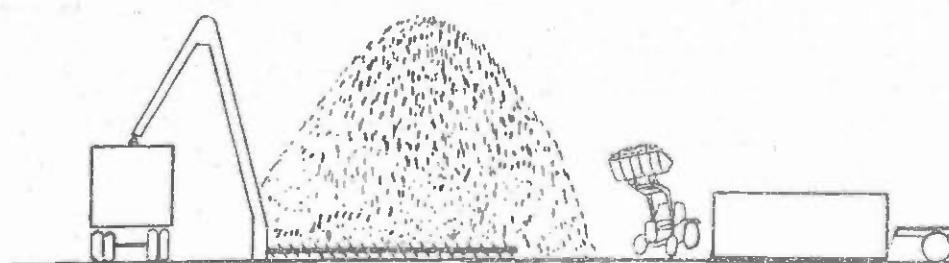
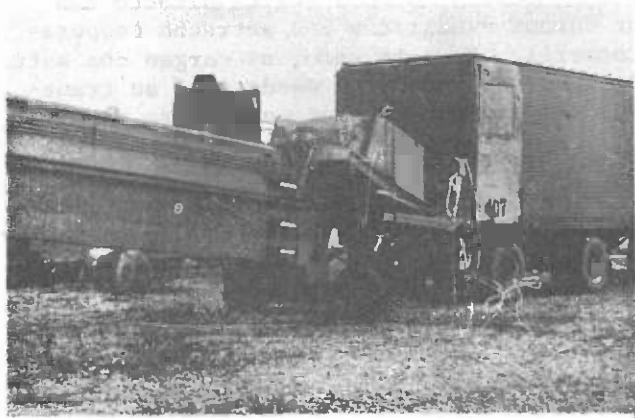
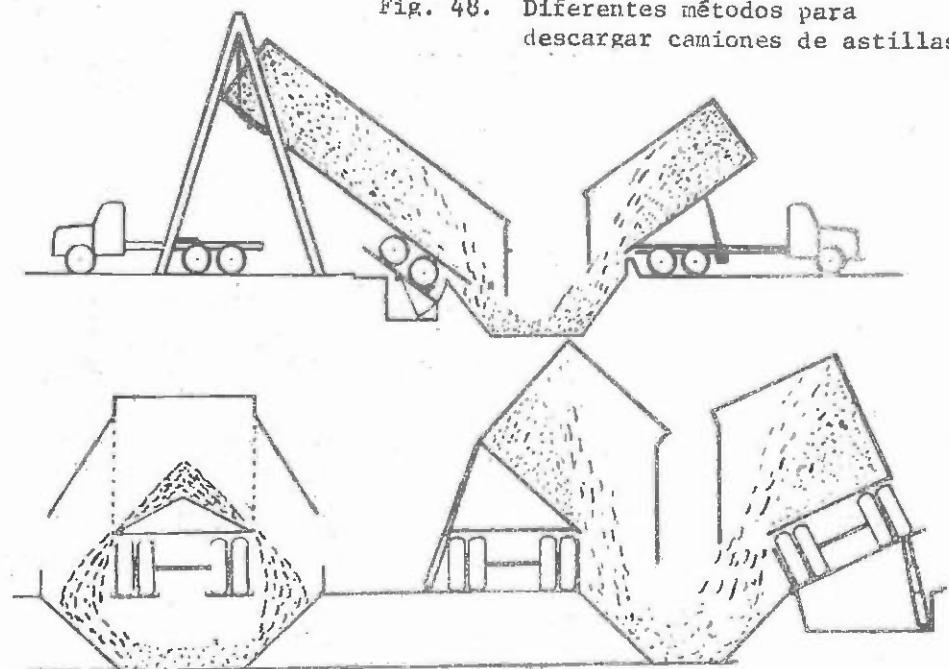


Fig. 48. Diferentes métodos para descargar camiones de astillas



## V. 2.2 Transporte por ferrocarril

El transporte por ferrocarril es muy adecuado para transportar a largas distancias grandes cantidades de material homogéneo. Ofrece algunas ventajas importantes tales como la regularidad, la elevada capacidad y - si el transporte está bien planeado - sus bajos costes. Es esencial una estrecha cooperación entre el suministrador, el receptor y la compañía de ferrocarril.

El material rodante lo proporciona normalmente la compañía del ferrocarril. El tipo y capacidad de carga de los vagones utilizados para el transporte de astillas variará naturalmente de un país a otro y también dentro de los propios países. Los vagones para astillas pueden tener la parte superior abierta o cerrada. Los tipos con la parte superior abierta facilitan el procedimiento de carga, pudiendo añadirse además un bombeo de astillas en la parte superior (Fig. 49). Sin embargo, en países con condiciones invernales duras, los vagones sin techo dan como resultado la acumulación de nieve y de hielo, así como una mayor congelación de las astillas en su conjunto. Los vagones para astillas con la parte superior abierta pueden descargarse con facilidad, por ejemplo mediante la descarga por vacío con una cabeza excavadora con agitadores.



Fig. 49. Carga de un vagón de astillas con la parte superior abierta.

Si los aserraderos que envían las astillas de madera no tienen enlace directo con el ferrocarril mediante un apartadero, puede dar buenos resultados una estrecha cooperación entre el sistema de camiones y el del ferrocarril. En este caso, se cargan con astillas en el mismo aserradero unos contenedores especialmente fabricados y desde allí se transportan mediante camiones a la estación de ferrocarril, donde los contenedores se cargan directamente sobre vagones abiertos (Fig. 50).

Otra solución consiste en un terminal, al que se transportan las astillas mediante camión, se descargan y se vuelven a cargar sobre los vagones del ferrocarril. Para racionalizar la manipulación de astillas de madera en tales terminales, se necesitan grandes cantidades. Antes de descargar, puede medirse el volumen y la calidad.

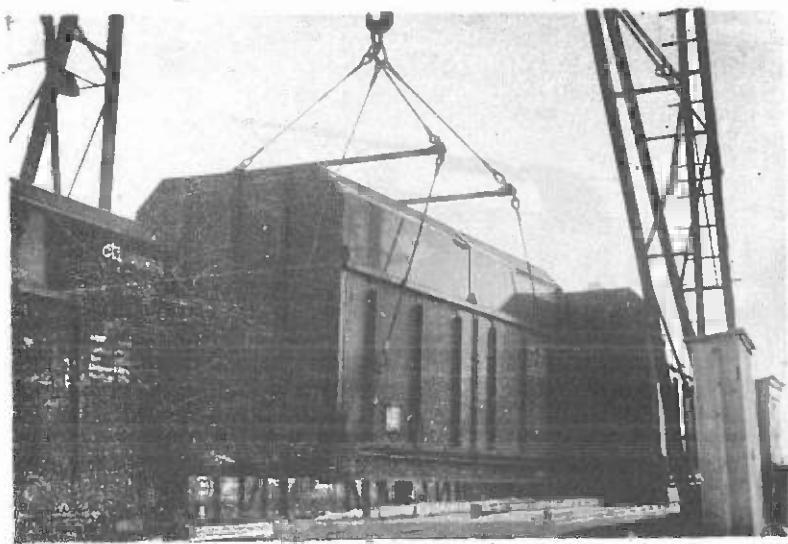


Fig. 50. Carga de un contenedor de astillas sobre un vagón plano que lleva tres contenedores, cada uno con capacidad de  $33 \text{ m}^3$  (figura superior). El mismo tipo de contenedor cargado sobre una plataforma de camión.



Al igual que con el transporte por carretera, los métodos uniformes de carga y descarga reducen los costes. El proporcionar y manejar los equipos de carga y descarga normalmente cae dentro de las responsabilidades del expedidor y del consignatario, o puede obtenerse con frecuencia en cooperación con la compañía de ferrocarril.

Los métodos siguientes son eficaces, ya sean independientemente o combinados: carga mediante cinta transportadora, por gravedad desde los silos, mediante cargadores de ruedas, y carga neumática. La elección del sistema de carga a instalar depende principalmente de la cantidad transportada, del emplazamiento del aserradero o de la planta de astillas en relación con el ferrocarril y de la velocidad con que deben pasar los vagones desde la estación de carga a la de descarga.

Un método sencillo y modesto, en cuanto a la inversión de capital, para descargar vagones con paredes laterales que pueden bascular abriéndose desde la parte inferior, es utilizar un tractor con una hoja topadora frontal (Fig. 51). Mediante este método se tarda alrededor de diez minutos en descargar un vagón con  $65 \text{ m}^3$  de volumen aparente de astillas de madera. Otro método de descarga, con una inversión de capital relativamente reducida, es el uso de un pequeño tractor con cargador de cuchara o con cucharón de fondo móvil, que entre en el vagón de astillas por la compuerta frontal. Con frecuencia se utiliza una unidad portátil para el transporte de astillas, con una plataforma emparrillada junto con el tractor. Pueden utilizarse también unidades excavadoras autopropulsadas, combinadas con transportadores mecánicos o neumáticos, especialmente cuando se manejan vagones cubiertos o astillas heladas.

Cuando se manejan grandes volúmenes de astillas, se suelen utilizar plataformas basculantes. Otros métodos aplicados son los vagones volquetes giratorios y los descargadores de vacío aplicados a la parte superior para los vagones de ferrocarril abiertos por arriba (Fig. 52).



Fig. 51. Descarga de un vagón de ferrocarril en un depósito de astillas, mediante tractor.

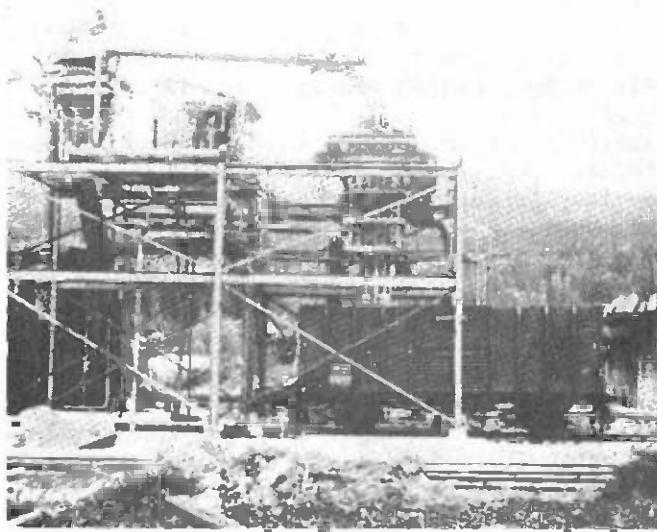


Fig. 52. Descarga de un vagón de ferrocarril mediante descargador por vacío aplicado a la parte superior.

### 2.3 Transporte por tubería

El transporte por tubería se logra en dos formas: mediante transporte neumático, utilizado sobre todo para distancias cortas (ver V. 3.2) o mediante tuberías hidráulicas. En 1957 se realizaron, en el Instituto de Investigación de Pasta y Papel de Canadá, los primeros ensayos sobre transporte de astillas de madera por tuberías hidráulicas.

Una definición precisa del transporte hidráulico por tubería sería: envío, mediante tuberías, de partículas de materia sólida que flotan en un líquido, en este caso astillas de madera y agua (véase la Fig. 53).

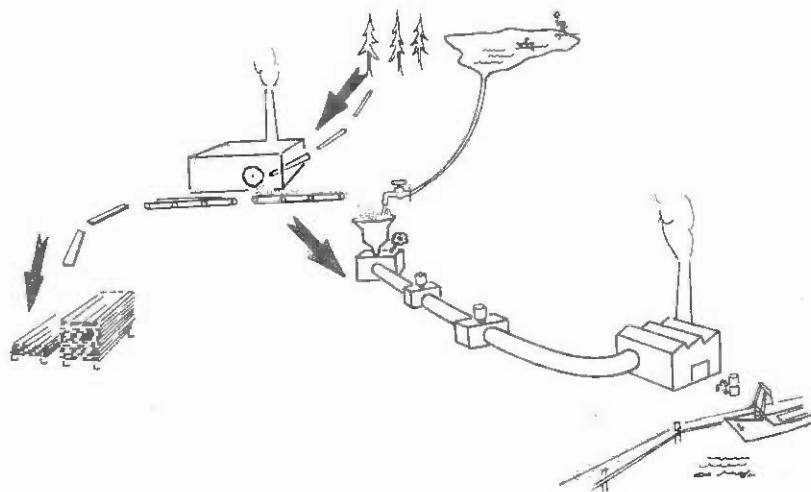


Fig. 53. Esquema de la disposición del transporte hidráulico de astillas de madera mediante tubería.

Los factores que influyen en la elección del equipo caen naturalmente en dos grupos. El primero incluye los factores sobre los que podría existir un cierto nivel de control (concentración, velocidad del flujo, etc.). El segundo grupo depende de factores tales como la cantidad anual, distancias de transporte y topografía, lo que determina la elección del método y dimensión de transporte.

La concentración de la mezcla puede definirse como el porcentaje en volumen de materia sólida ( $10 \text{ m}^3$  de medida sólida de astillas de madera, mezcladas con  $100 \text{ m}^3$  de líquido, se denomina mezcla al 10 por ciento). No es posible obtener una concentración superior al 50 por ciento de la mezcla, ya que las astillas de madera no circularán si están más apretadas. La potencia necesaria de las bombas aumenta considerablemente cuando la concentración de la mezcla sobrepasa el 35 por ciento. Generalmente se recomienda que la concentración de astillas de madera sea hasta del 30 por ciento. La velocidad más práctica, y económicamente correcta, para el transporte por agua parece estar entre 1 y 3 m/segundo.

Se han realizado pocos experimentos sobre la calidad de las astillas después del transporte, pero aparece un porcentaje ligeramente superior de astillas más pequeñas, con un deterioro ocasionado principalmente por las bombas. Esta situación se mejoraría mediante una mejor construcción de las bombas y de los sistemas de mezcla. No se produce reducción de tamaño como resultado del transporte mismo por tubería.

La cantidad anual transportada es el factor dominante cuando se trata de decidir si este transporte es económicamente viable en comparación con otros sistemas. La distancia no es tan decisiva en el transporte por tubería como en otros sistemas. Los cálculos y costes para el método de tubería demuestran que el coste por metro cúbico y km sólo puede reducirse ligeramente para distancias de más de 30 a 40 km. Se encontró que la distancia económica óptima, en las condiciones americanas, está más o menos entre 80 y 110 km.

El transporte por tubería es un método altamente mecanizado que exige capital, que representa hasta el 60 a 70 por ciento del coste de transporte, mientras que la energía representa sólo del 18 al 20 por ciento.

En la actualidad (1976) no hay, en operación comercial, ninguna tubería hidráulica para el transporte de astillas de madera, pero está siendo considerado. Teóricamente, es capaz de competir con los métodos existentes, pero esto tendrá que comprobarse en cada caso mediante análisis detallado de los factores económicos.

#### V. 2.4 Transporte transoceánico

En 1974, diez años después del primer envío transoceánico de astillas de madera, estaban en servicio unos 50 cargueros japoneses de astillas. La mayoría de los cargueros se encontraban en la clase de las 20 000 a 40 000 tm de peso muerto, que transportan un volumen de astillas de 40 000 a 100 000 de m<sup>3</sup>. Los cargueros de astillas más recientes proporcionan de 1,9 a 2,3 m<sup>3</sup> de espacio de carga por tonelada de peso muerto de proyecto.

##### V. 2.4.1 Compactación y factor de almacenaje

El coeficiente de compactación de las trozas y de las astillas es con frecuencia aproximadamente el mismo para el transporte por barco. Sin embargo, del 20 al 30 por ciento de la capacidad de admisión de trozas de un barco puede cargarse sobre cubierta y por ello el factor de compactación parece mejor para la madera en rollo ya que dicha compactación se suele referir al volumen de las bodegas del barco. Por esta razón el factor de compactación para las trozas se considera normalmente entre el 50 y el 60 por ciento para el transporte por barco en comparación con el 40-44 por ciento para astillas bien compactadas. A pesar de esto, el transporte transoceánico de astillas es normalmente bastante más barato que el transporte de trozas, siendo el factor clave la ventaja en los costes de manipulación.

El factor de almacenamiento (pies cúbicos/tonelada larga) de mineral, por ejemplo, es alrededor de 20, pero un carguero tiene normalmente un almacenaje de proyecto de 45 a 60. El factor de almacenaje de astillas es de alrededor de 100, lo que se refleja en el proyecto de un carguero de astillas.

Para el transporte de astillas de madera por barco, pueden utilizarse los siguientes factores de almacenaje (pies cúbicos/tonelada larga):

Astillas de América del Norte (resinosas):	100 - 120 p.c./TL
Astillas de Malasia (árbol del caucho):	100 p.c./TL
Astillas de Tasmania (eucalipto):	80 p.c./TL
Astillas de Nueva Zelanda (pino):	100 - 110 p.c./TL
Astillas de Nueva Zelanda (haya):	80 - 90 p.c./TL

El contenido de humedad y el factor de almacenaje de las astillas dependen totalmente de la clase de madera, del sitio, de la estación y de las condiciones climáticas. Las astillas de madera son una carga muy voluminosa comparada con las otras transportadas por los cargueros normales a granel.

#### V. 2.4.2 Características técnicas de los cargueros especiales para astillas de madera

Como otros cargueros industriales, el tamaño y diseño de los cargueros para astillas depende de las instalaciones portuarias en los puertos de origen y destino, tales como los medios para carga y descarga de astillas y sistemas de transporte. Algunas restricciones, debidas a estas facilidades de carga y descarga, vienen impuestas en cada puerto; por lo tanto, cuando se proyecta el barco, se tienen en cuenta, como factores más importantes, las instalaciones portuarias y la localización de los puertos. Les siguen en importancia la estabilidad, el volumen del espacio para carga, los factores de almacenaje y la velocidad.

Los esfuerzos para reducir el coste total del transporte transoceánico de astillas de madera se han centrado en el desarrollo de un proyecto de barco que salve el inconveniente del escaso almacenaje. Por esta razón la mayoría de los cargueros de astillas son más anchos y tienen una profundidad de trazado considerablemente mayor que un carguero de mineral o un carguero a granel de la misma longitud.

A continuación se dan algunos datos aproximados de cargueros de astillas con una capacidad de carga de 75 000 m<sup>3</sup> (ver Fig. 54):

Longitud	185 - 195 m
Anchura	29 - 30 m
Profundidad	20 - 21 m
Motor principal	11 000 - 12 000 hp

En 1974 el mayor carguero de astillas en servicio tenía una capacidad de carga de unos 115 000 m<sup>3</sup>.

Los cargueros pueden clasificarse, de acuerdo con la existencia de un sistema de maniobra a bordo para la manipulación de la carga, en los tres grupos siguientes:

Sin sistema de maniobra a bordo para la manipulación de la carga dependiendo por completo de las instalaciones en tierra;

Con equipo de descarga solamente;

Con equipo de carga y descarga.

De los 52 cargueros de astillas construidos o en construcción hasta 1974, 15 no tenían equipo de manipulación de astillas sobre cubierta. Tales cargueros podían destinarse solamente a servicios entre puertos que estaban bien equipados en el muelle con sistemas de maniobra para manipulación a la carga. El equipo de manipulación de las astillas a bordo no se ve afectado por las mareas. Es eficaz en relación con su pequeña estructura, y una parte del equipo se utiliza como sistema de maniobra tanto para la carga como para la descarga. El muelle puede ser también más sencillo y también existe la posibilidad de utilizar un sistema de boyas de amarre. Además, las grúas situadas en la costa para la descarga pueden ser demasiado pequeñas o tener un alcance demasiado reducido teniendo en cuenta el tamaño y la anchura de los cargueros de astillas. Para la utilización del equipo de tierra en la carga directa de las bodegas, el carguero tendrá normalmente que trasladarse a lo largo del muelle.

Las astillas se transportan a bordo, desde la pila situada en tierras mediante transportadores mecánicos o neumáticos, frecuentemente en combinación con los cargadores aéreos situados a bordo, que se pueden mover a lo largo de las aberturas de las escotillas. Se utilizan deflectores de distintos tipos que pueden ajustarse de modo que las astillas se distribuyan bien en la bodega con un elevado coeficiente de compactación. La capacidad de carga puede ser hasta de 1 100 toneladas por hora.

V. 2.4.3 Estaciones terminales portuarias para astillas

En 1974 había en servicio varias estaciones terminales portuarias para astillas, incluyendo 12 en los Estados Unidos, 3 en Canadá, 3 en Tasmania, 3 en Nueva Zelanda, 3 en Malasia y se abrió 1 en Papua Nueva Guinea.

Una estación terminal para la exportación de astillas se suele construir especialmente para la manipulación de astillas, pero pueden utilizarse también terminales destinados para otras cargas a granel. Para justificar el establecimiento de un terminal especialmente construido para astillas, con equipo adecuado de manipulación, se necesitan grandes cantidades de astillas durante varios años. Los contratos a largo plazo en que todas las partes involucradas - el exportador de materia prima madera, el transportista y el usuario de las astillas - tienen beneficios, constituyen un requisito previo para que tenga éxito una operación de exportación de astillas.

Los factores esenciales para el emplazamiento de una estación terminal de exportación de astillas son:

El puerto mismo: profundidad conveniente de agua, etc.;

La situación del terminal con respecto a la zona de producción de la madera y los costes de transporte resultantes desde los bosques a la terminal de astillas;

Zona terrestre de la terminal adecuada para la manipulación y el almacenamiento de las cantidades de madera de que se trate.

El tamaño y el proyecto variarán naturalmente. La madera puede llegar por ejemplo, en troncos, en trozos, o en forma de astillas procedentes de los aserraderos o de otras operaciones de astillado.

Básicamente, el terminal de astillas constará de:

Buenas facilidades de transporte a la estación terminal, por ejemplo, mediante carretera, ferrocarril o por agua (barcazas);

Facilidades para la determinación de la cantidad y calidad de las astillas;

Equipo de descarga (puentes basculantes) y facilidades para la manipulación de las astillas. La manipulación de las astillas y la erección de la pila se hacen comúnmente mediante transportadores mecánicos, transportadores neumáticos o topadoras de astillas, con frecuencia combinados. Los tamices de astillas pueden estar incluidos también en las cadenas de manipulación;

Espacio adecuado para el almacenaje de las astillas, con frecuencia para dos o más pilas separadas. El patio de almacenamiento y manipulación debe tener una capa superior de asfalto u hormigón sobre un terreno bien drenado capaz de soportar cargas pesadas;

Equipo para la recogida de astillas de las pilas y transportadores desde la pila al muelle o a la boyas de amarre con traspaso de las astillas al carguero.

La mayoría de los terminales utilizan sistemas neumáticos - ya sean con base en tierra o con base en el carguero - para la carga de las bodegas (Fig. 56), mostrándose una excepción en la Fig. 57.

La Fig. 58 ofrece una vista de una estación terminal de astillas en los Estados Unidos y la Fig. 59 muestra un diseño simplificado de un proyecto de astillas de frondosas tropicales mixtas en Papua Nueva Guinea. En el Capítulo III se da más información sobre el último proyecto.

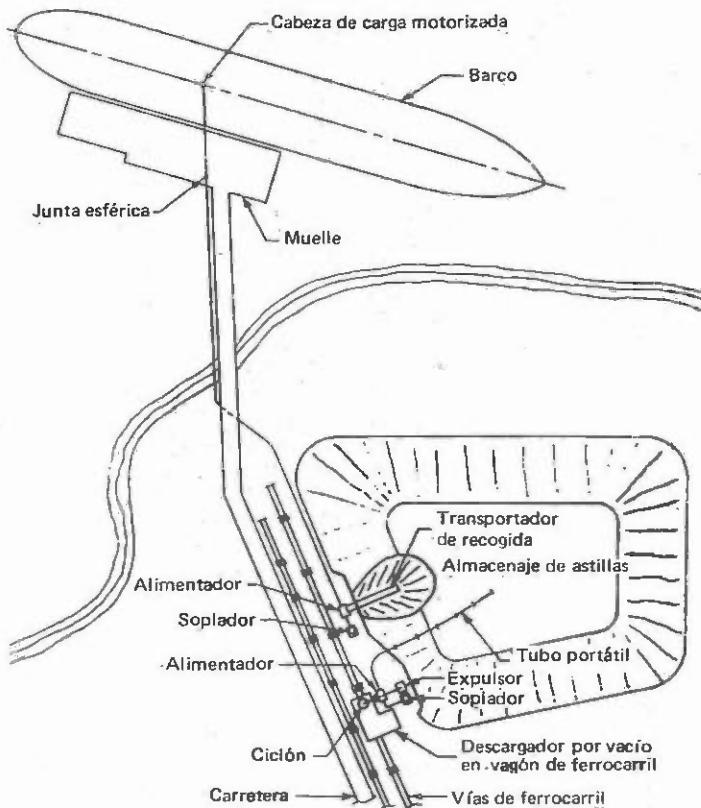


Fig. 56. Carga neumática de un carguero de astillas de madera.

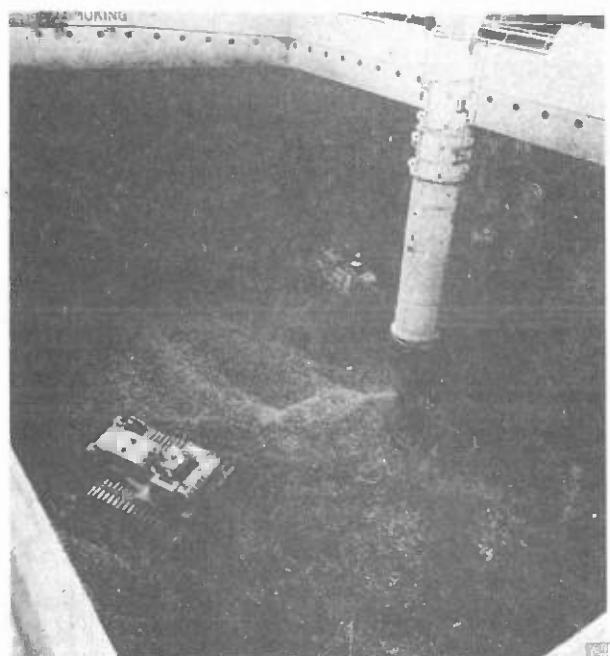


Fig. 57. Carga por gravedad y mediante bulldozer en Papua Nueva Guinea.

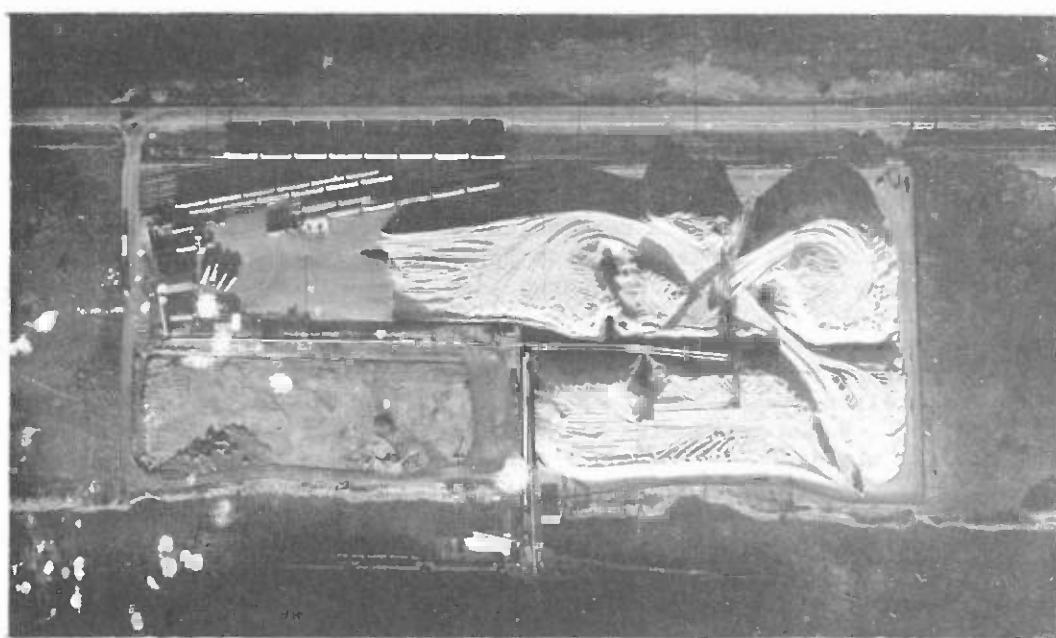


Fig. 58. Estación terminal de exportación de astillas en los Estados Unidos.

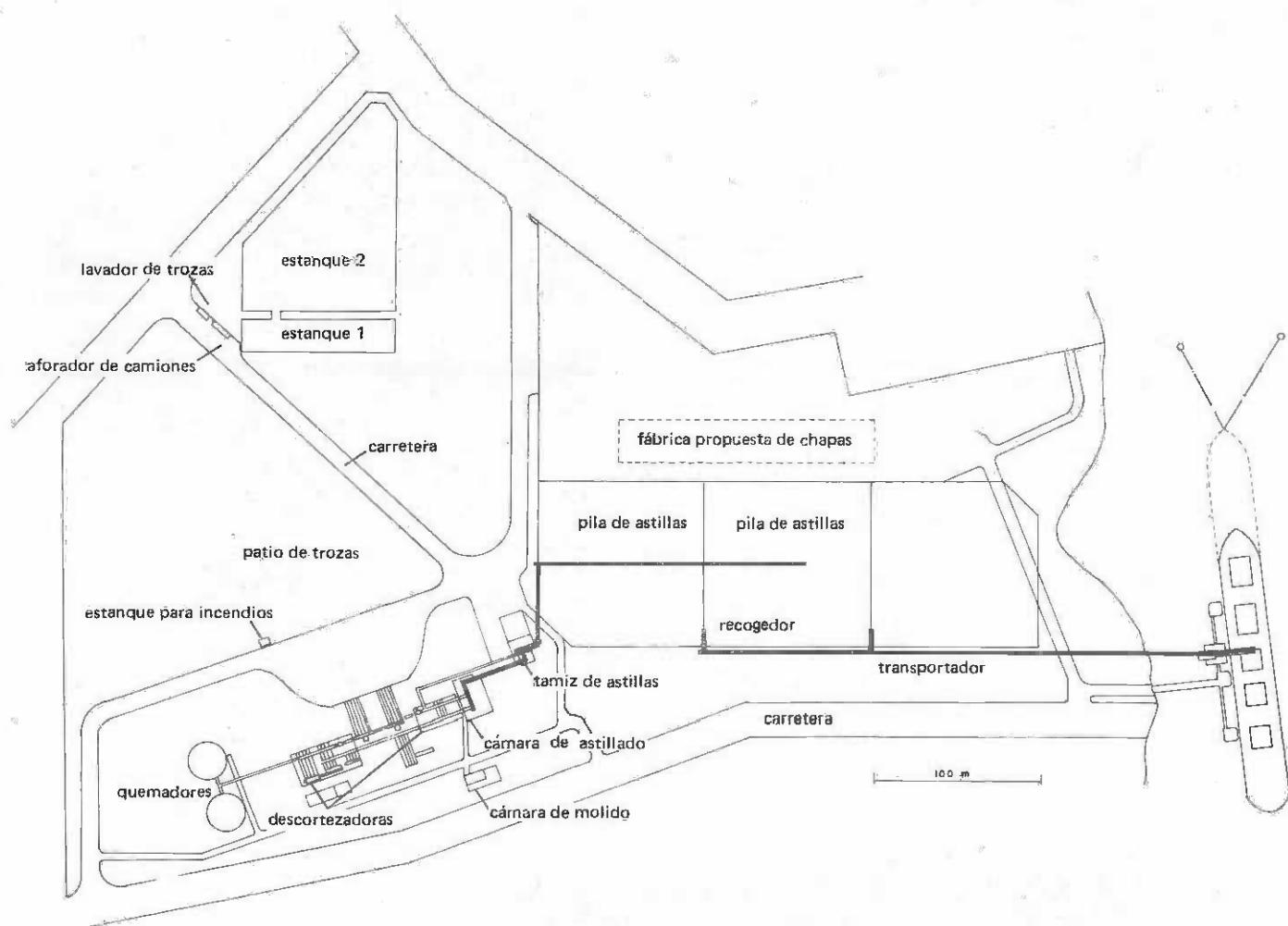


Fig. 59. Planta de la industria de astillas de maderas frondosas tropicales mezcladas de Jant Pty Ltd. en Papua Nueva Guinea.

El coste de manipulación en las terminales de exportación de astillas variará naturalmente de manera considerable de unos a otros terminales. Como cifra aproximada, se estima en los Estados Unidos la de 3-7 dólares por unidad "bone dry".

El mayor número de estaciones terminales receptoras de astillas se encuentra en el Japón, donde 17 puertos pueden dar servicio a los cargueros de astillas, de los cuales 3 están conectados directamente con los patios de almacenamiento de las industrias de pasta (Hanaya 1975). Pocos terminales tienen grandes descargadores de astillas en el puerto y la mayoría utilizan sistemas de transporte de cinta para la manipulación de las astillas.

#### V. 2.4.4 Consideraciones económicas

El coste de transporte marítimo tiene dos elementos básicos: los costes de transporte y los costes de navegación.

La materia prima madera para papel y cartón puede transportarse en forma de trozas, astillas o pasta. Las trozas se transportan en cargueros normales para cargas a granel, en las bodegas y sobre cubierta, con una escasa utilización de la capacidad o peso muerto del barco, debido a la baja relación volumen/peso muerto del carguero a granel. El carguero especial para astillas puede, sin embargo, utilizar casi su peso muerto de proyecto, dando con frecuencia, como resultado unos costes elevados de navegación para las trozas. Los actuales métodos de manipulación de trozas (carga y descarga) son también lentos y costosos, por lo cual el transporte mediante cargueros especializados para astillas suele ser bastante más económico que el transporte de trozas de madera para pasta. Sin embargo, los actuales métodos de manipulación de las trozas están bajo cuidadoso estudio y pueden lograrse en este campo avances económicos importantes. Por otra parte, la pasta embalada es normalmente más económica de transportar que las astillas de madera, calculándolo por tonelada de pasta producida. Una razón evidente para ello es el hecho de que se necesitan alrededor de dos toneladas de astillas 'bone dry', o 4 toneladas en verde para producir una tonelada de pasta química o, sobre la base del volumen, de 7 a 10 m<sup>3</sup> de volumen aparente de astillas, para producir un metro cúbico de pasta química en balas.

Un factor clave para obtener un transporte económico de las astillas de madera es la cantidad de manipulación y no tanto la velocidad del carguero. Este elemento es más acusado para los viajes cortos que para los viajes largos. En los viajes más largos son más eficaces los buques mayores que los menores, pero la capacidad de manipulación necesaria aumenta al aumentar el tamaño del carguero. Hanaya (1975) da cifras interesantes para las relaciones del coste neto del flete por unidad de capacidad de bodega frente a la distancia del viaje de ida y vuelta, frente a la capacidad de bodega y frente a la capacidad de manipulación.

Las instalaciones portuarias modernas incluyen la adaptación de los medios de manipulación al tonelaje. Los cargueros eficientes es probable que estén altamente especializados y el puerto y el barco deben calzar entre sí como la mano y el guante. Una manipulación adecuada probablemente no será posible sin unos contratos de ventas a largo plazo. Incluso con una manipulación adecuada en la terminal y con cargueros de astillas modernos, el transporte transoceánico de astillas no es barato. La manipulación y el transporte de astillas puede representar una cifra del 50 por ciento del valor CIF de las mercancías, dependiendo naturalmente de la distancia de transporte.

Como ejemplo de los costes de envío por barco puede mencionarse que en 1971 el transporte de astillas de madera (coníferas) desde Vancouver a Japón, con una distancia de transporte de unas 4 500 millas náuticas, mediante un carguero de astillas construido especialmente de unas 28 000 toneladas de peso muerto, se calculó en unos 10 dólares por tonelada larga de peso en verde, excluyendo las operaciones de carga y descarga. De este modo, los costes de flete de las astillas se calcularon en aproximadamente 50 dólares por tonelada de pasta producida. En el mismo año los costes de transporte de una tonelada de pasta desde la costa Este de Canadá a Escandinavia, con un carguero a granel de unas 25 000 toneladas de peso muerto, serían de unos 10 dólares por tonelada.

En 1977 comenzará un transporte regular de astillas de madera de fibra larga, por barco, desde la costa oriental de los Estados Unidos a Escandinavia. Se pondrán en servicio cargueros de astillas, grandes, especializados, reforzados contra el hielo, que tendrán a largo plazo, unas condiciones económicas parecidas a las de 1971. Para el mismo año los fletes de pastas equivalentes, sobre base FIO, desde la Costa Oriental de Canadá a la Costa Oriental de Suecia ascenderían probablemente a unos 20 dólares por tonelada.

Hay todavía distancia entre los costes del transporte de pasta y el de astillas pero parte de esta distancia se ha compensado debido al perfeccionamiento de los sistemas de manipulación de las astillas de madera y al incremento del tonelaje.

Un aspecto del transporte transoceánico es el de los costes que aparecen debidos al deterioro de las astillas. El almacenamiento de astillas al aire libre se trata en el Capítulo VI.4. Durante el transporte por mar no se ha observado que se produzcan cambios importantes en las propiedades de las astillas. Sin embargo, el transporte transoceánico incluye un gran número de operaciones de manipulación de las astillas - quizás 20-30 - cada una de las cuales ocasiona una rotura mecánica de astillas con formación de polvo, fracciones finas y astillas menudas. El efecto de cada operación de manipulación es normalmente muy pequeño, pero el efecto es acumulativo. Esto, combinado con el almacenamiento de las astillas, da como resultado una cierta reducción en el rendimiento total en pasta y, eventualmente, en la calidad de ésta. El precio pagado por las astillas reflejará naturalmente el valor de las astillas que alimentan el digestor de pasta del comprador. Todas las partes interesadas en una operación de astillas se beneficiarán, por tanto, directa o indirectamente de las medidas que reduzcan los daños innecesarios ocasionados por la manipulación y el almacenamiento.

#### V. 2.4.5 Precios CIF - FOB

Cuando se venden astillas de madera, el productor - o vendedor - tiene normalmente un solo objetivo: vender al mejor precio posible. La manipulación y el transporte representan un porcentaje considerable del valor CIF de las astillas. Si éstas se vendiesen CIF, el vendedor estaría al menos teóricamente, en mejores condiciones de influir en los costes y controlarlos, así como los beneficios de las ventas de astillas. Sin embargo, ha sido corriente el vender las astillas de madera entregadas en la terminal de un puerto o en carguero.

#### V. 3 Transporte interno

La manipulación interna de astillas, por ejemplo en una industria de pasta, incluye la descarga desde el camión o vagón de ferrocarril y el transporte de las astillas hasta el digestor, haciendo este último normalmente mediante sistemas de transporte neumáticos o mecánicos. Los digestores discontinuos pueden llenarse también mediante carga neumática (Fig. 60). Las astillas pueden venir directamente desde la astilladora o desde los silos,

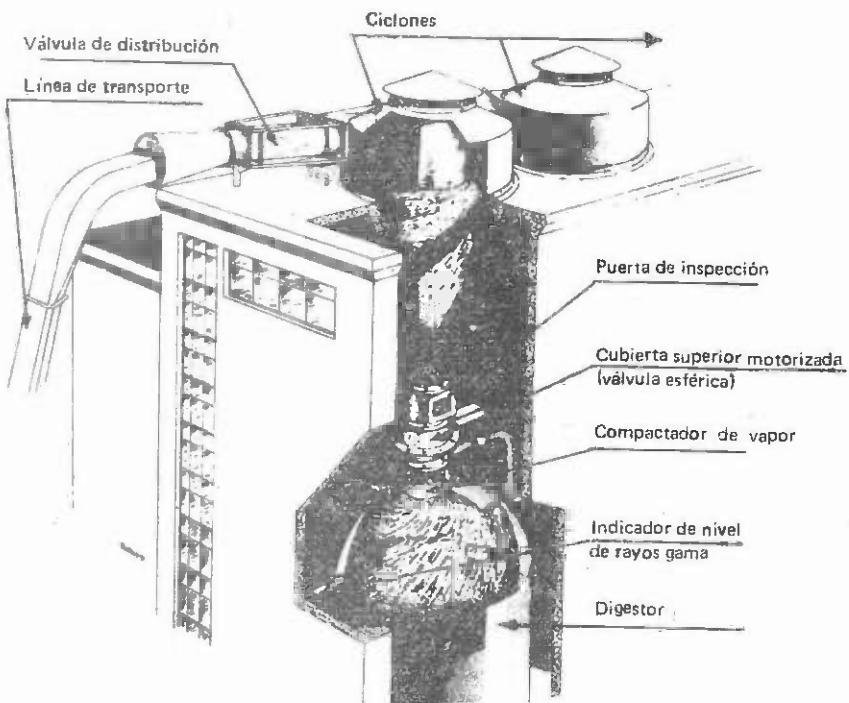


Fig. 60

Carga neumática, totalmente automática, del digestor.

y el llenado del digestor y las otras operaciones pueden hacerse en forma totalmente automática. Aparte de los cortos períodos de retención en los silos o en las tolvas, algunas o todas las astillas pueden almacenarse también, debiendo trasladarse a la pila exterior, y en algunos casos en la propia pila de astillas y desde ésta.

Los tractores, los sistemas de transporte neumático, los transportadores mecánicos, las estructuras de descarga y distintos tipos de depósitos y silos son equipos corrientes para el transporte interno de astillas y su manipulación.

#### V. 3.1 Tractores

Los cargadores de astillas de ruedas o los transportadores topadores suelen constituir el equipo principal para la manipulación de astillas en industrias pequeñas y medianas; por ejemplo, los utilizados para la erección de la pila de astillas y para su recogida. También se utilizan corrientemente tractores en combinación con transportadores, para la manipulación de astillas. Antes eran comunes los tractores de cadenas para empujar o transportar las astillas.

Esta operación es peligrosa respecto al daño a las astillas y a la generación de productos de desecho. Un buen operario de bulldozer no es necesariamente un buen operario para una pila de astillas. Debe estar capacitado para pensar que está trabajando sobre un cristal plano, ya que un aumento de los desechos puede costar a la industria una pérdida de madera del 1 por ciento. La selección del tractor es de gran importancia. Muchas industrias han comprobado que es ventajoso utilizar un vehículo pesado con ruedas de goma que se mueve en una forma relativamente suave sobre la pila de astillas (Fig. 61).

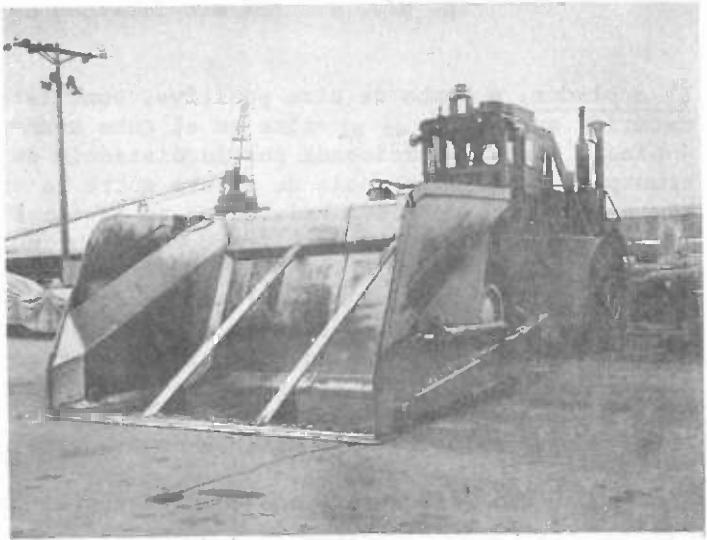


Fig. 61. Ejemplos de tractores de ruedas para la manipulación de astillas.

## V. 3.2 Transporte neumático de astillas de madera

El transporte neumático puede describirse como un método que bombea partículas sólidas por tuberías. El medio de transporte es el aire, comprimido por ventiladores; el material transportado, en este caso astillas de madera, se introduce en la corriente de aire mediante un alimentador giratorio.

Un sistema neumático de transporte (Fig. 62) consta de cinco elementos básicos que son los siguientes:

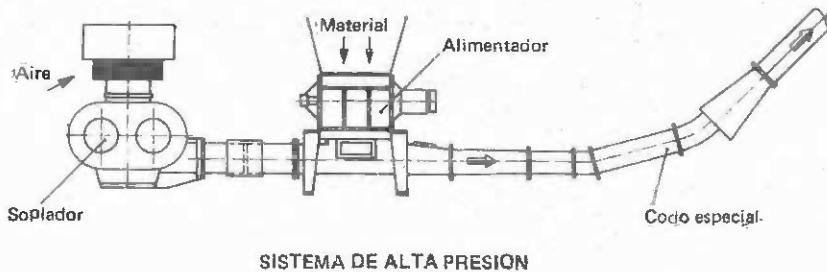


Fig. 62. Sistema simplificado de transporte neumático.

El soplador, o bomba de aire positiva, suministra el aire necesario para mantener el material suspendido en el aire en el tubo transportador. La presión de trabajo del soplador viene condicionada por la distancia de transporte, la cantidad de material a transportar, la diferencia de altura entre la entrada y la salida de astillas y finalmente el número de codos existentes en la tubería y su ángulo total. Normalmente la presión de trabajo es del orden de 0,2 a 0,7 kp/centímetros cuadrados.

El alimentador, o válvula giratoria de cierre del aire, está proyectado para recibir el material a transportar desde una abertura y pasarlo al tubo de transporte con una pérdida mínima de aire y de presión. El alimentador giratorio de válvula consiste en un alojamiento en el que va montado un rotor con hojas radiales. La alimentación del material se hace desde abajo hacia el interior de los "depósitos" existentes entre las hojas del rotor y pasa entonces a la tubería de transporte al operar el rotor.

El tubo, o canalización, tiene un diámetro elegido de acuerdo con el volumen y peso del material y con la distancia de transporte y las especificaciones del soplador. El diámetro varía normalmente de 100 a 600 mm, dependiendo del tamaño de la instalación.

El dispositivo de descarga está localizado al final del tubo. Este dispositivo puede ser un distribuidor giratorio, un deflector ajustable o un ciclón.

Los controles consisten en un circuito eléctrico específico para el encaje adecuado de la maquinaria, y un sistema de protección mediante comutadores que se activan por la presión de la tubería.

Además un sistema neumático puede tener silenciadores para disminuir el ruido, separadores para eliminar los materiales extraños y válvulas de distribución.

El transportador neumático se utiliza para muchos materiales diversos, para distancias horizontales de hasta 2 000 m y para capacidades de 1 a 1 100 tm de astillas por hora. En un sistema de transporte neumático la velocidad del material es muy elevada (normalmente hasta 40 m/seg.). En una instalación para la carga de cargueros la velocidad de las astillas es casi de 80 m/seg. en el extremo de descarga.

Las tres ventajas principales de un sistema neumático, comparado con otros sistemas de manipulación a granel, son la flexibilidad, las pocas exigencias de mantenimiento y la facilidad de instalación.

Se necesita una cantidad mínima de espacio para la unidad de alimentación y el sistema de tuberías puede situarse al exterior, ahorrando de este modo un valioso espacio en el interior del edificio. El soplador puede instalarse, si es necesario, en un lugar remoto del edificio siempre que la tubería del aire esté conectada desde él al alimentador.

Aunque el transporte neumático de astillas es un sistema muy conveniente para instalar y de uso seguro, el soplado de astillas no carece de inconvenientes. Uno de ellos es el alto consumo de energía. En las industrias de pasta se utilizan normalmente motores de 500 a 1 000 hp, y los costes de energía son considerables. Como ejemplo, la energía necesaria para transportar astillas a una distancia de 100 m y a una altura de 30 m desde una pila a un digestor costaría 10 veces más que con un transportador de cinta. Con frecuencia el consumo de energía de un sistema neumático es alrededor de 20 veces el de los sistemas de transporte de cinta.

El coste de instalación de un transportador de cinta, en comparación con un transportador neumático, se presenta en la Fig. 63 (Croon y Frisk 1972). A una distancia de unos 100 m el coste sería aproximadamente el mismo. Aumentando la distancia, el transportador mecánico sería más costoso en cuanto a inversión pero mucho menos en cuanto a energía, con un punto de equilibrio hacia los 300 m de distancia (lo que cubre la mayoría de las finalidades prácticas). Por encima de esta distancia, los costes totales de manipulación son inferiores para los sistemas neumáticos.

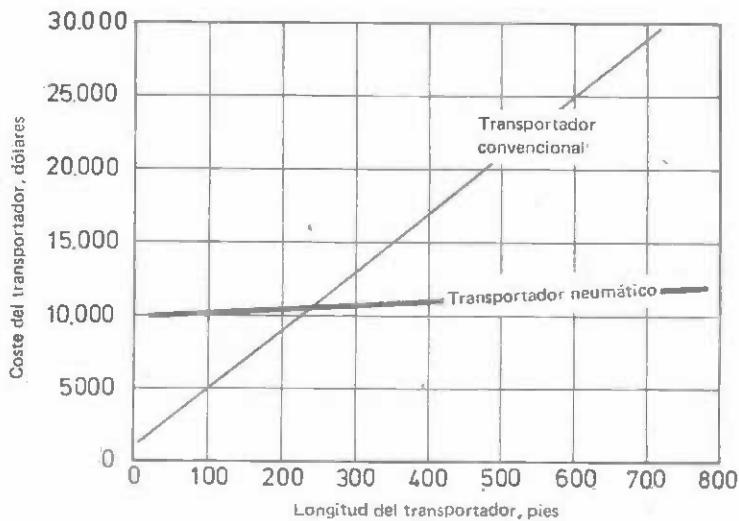


Fig. 63.. Costes de instalación del transportador neumático y del transportador convencional de cinta.

Como hay tantas variables en toda instalación neumática, es difícil especificar las necesidades exactas de energía, pero a título de ejemplo, el transportar 90 m<sup>3</sup> de astillas de madera por hora a una distancia horizontal de 165 m exigiría de 60 a 70 hp.

Además, hay problemas de ruido y polvo, aunque éstos pueden eliminarse en gran parte.

Un buen sistema neumático, incluido el transporte hasta la pila, en ella y a partir de ella, cuesta de 250 000 a 450 000 dólares dependiendo de la capacidad y la distancia.

### V. 3.3 Transportadores mecánicos

Los transportadores de cinta - horizontales o inclinados - son muy comunes para el transporte mecánico de astillas, aunque se pueden utilizar por ejemplo, los transportadores de cangilones para el acarreo vertical. Otros tipos de transportadores mecánicos, con frecuencia transportadores de tornillo helicoidal o cargadores mecánicos de parrilla, son corrientes en la recepción de depósitos y en las unidades de recogida de astillas de la pila.

### V. 3.4 Apilado y recogida de astillas

En toda industria se almacena una cierta cantidad de astillas por períodos más o menos largos. El almacenamiento como tal y los métodos utilizados son quizás la fase más importante en la cadena de transformación y manipulación. La circulación controlada en el almacén - normalmente sobre la base de que lo primero que entra es lo primero que sale - es una condición básica para obtener resultados satisfactorios.

Un sistema eficaz para controlar la circulación de las existencias, distribución de astillas, compactación, y separación de las partículas por tamaño, es el denominado sistema Mo-Do. Este sistema está proyectado para erigir toda la pila sin utilizar bulldozer para la distribución. Como puede verse en la Fig. 64, la pila es circular. El equipo de descarga gira alrededor del centro y se mueve hacia atrás a medida que crece la pila. La tubería de descarga oscila y de esta forma puede abarcar todo el ancho de la pila. Esta disposición permite distribuir las astillas con transportador neumático solamente, lo que se

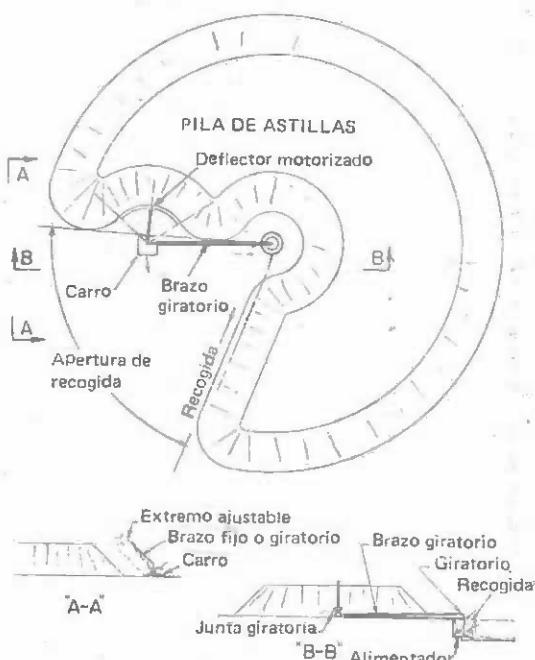


Fig. 64

Diseño de pila circular (sistema Mo-Do).

traduce en una compactación fuerte y uniforme. La corta distancia de recorrido entre el extremo de la tubería de descarga y la pila, reduce también al mínimo la separación de las astillas por tamaño. El depósito de recogida está situado en el centro, alimentando un sistema de transporte neumático. Esta posición simplifica la labor del bulldozer cuando se recogen las astillas para la producción y da por resultado una mayor eficacia y una menor rotura de astillas. La pila en forma de anillo, con un pequeño sector abierto entre la descarga y la recogida, hace posible o realmente necesario el girar el almacén y garantiza el método ideal de control de circulación "lo primero que entra es lo primero que sale".

Otros fabricantes de equipos hacen unos formadores de pilas de control neumático mediante un giratorio, lo que da lugar a pilas circulares similares.

La recogida de astillas desde el almacenaje de éstas al aire libre se suele hacer con una especie de tractor o bulldozer que empuja o transporta las astillas hasta el transportador de recogida, normalmente un transportador de cadena de algún tipo, aunque en algunas instalaciones se utiliza una cinta. Una característica común de estos transportadores de recogida es que son muy estrechos, lo que significa que se puede producir fácilmente un "arqueado" si la carga de astillas no se mantiene suficientemente reducida. Por esta razón, el operario del bulldozer está forzado a "alimentar con cuchara" al transportador para evitar retrasos e interrupciones de la operación. Como consecuencia, el bulldozer funciona en forma más o menos continua, pero sólo con la mitad de carga cada vez, aumentando así el movimiento sobre la pila. A fin de reducir el número de viajes por encima de la pila, el transportador de recogida debe estar diseñado de tal forma que elimine el riesgo de arqueado o los retrasos sin importar el volumen de astillas que esté transportando. La condición básica de tal diseño es que la superficie de la base sea suficientemente amplia; otra es que la velocidad o movimiento sean reducidos y que haya una gran superficie de salida para evitar el arqueado dentro de la pila.

Un trasnportador que parece cumplir estas condiciones es el transportador de palas de funcionamiento hidráulico (Fig. 65). La superficie normal de la base de esta unidad es de  $12,0 \times 4,5$  m, siendo la abertura de la salida hasta de  $2 \times 4,5$  m y la velocidad media del material aproximadamente de 0,1 m/seg. Los golpes alternativos de las palas producen un movimiento del material de varios metros desde el nivel de la base, lo que evita efectivamente el arqueado, cualquiera que sea la carga. Es posible almacenar 2 000 m<sup>3</sup> apartados de astillas en una unidad de recogida. Esto hace posible utilizar la plena capacidad del bulldozer en cada pasada, reduciendo así el movimiento sobre la pila.

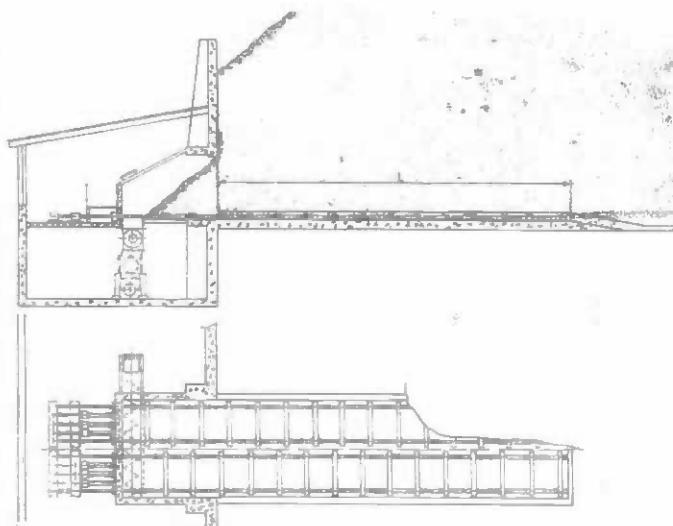


Fig. 65. Transportador de palas de funcionamiento hidráulico.

Otro sistema para la manipulación y almacenamiento controlados de las astillas lo utiliza la industria de Weyerhaeuser's Valliant. Las astillas se transportan sobre cintas, y unos brazos móviles depositan las astillas con una pequeña distancia de caída libre. La recogida se hace también mediante recogedores mecánicos móviles.

V. 3.5 Consideraciones económicas

Los costes de manipulación de las astillas pueden calcularse en forma relativamente fácil en cada caso: depreciación, intereses, reparaciones, energía, salarios y varios. Además, debe darse una atención considerable a los sistemas que permiten un control conveniente de la manipulación y el almacenaje y a los sistemas que producen un mínimo de daños a las astillas. Sin embargo, las condiciones y exigencias varían considerablemente, debiendo investigarse cada sistema de forma independiente.

## VI. LAS ASTILLAS DE MADERA COMO MATERIA PRIMA PARA LAS INDUSTRIAS.

### VI. 1 Materias primas de madera

#### VI. 1.1 Consideraciones generales

Casi todas las especies de árboles pueden ser utilizadas por las industrias usuarias de astillas. La principal cuestión es si puede hacerse con beneficio económico.

Dentro de las industrias usuarias de astillas, una industria moderna de pasta kraft y papel es la industria más compleja y costosa, con un consumo anual de madera, por ejemplo, de 1,5 millones de  $m^3$ . El coste de inversión está entre los 200 y 300 millones de dólares. Cuando es necesario el desarrollo de la infraestructura y de las plantaciones forestales, el coste total de inversión puede pasar del doble. El tamaño y el coste de una industria moderna de tableros de fibra o de partículas, son variables, pero en general considerablemente menores y más baratos que los de una industria de pasta y papel. Una industria moderna de tableros de partículas en Escandinavia puede tener, por ejemplo, un consumo anual de madera de 100 000 a 400 000  $m^3$  y el coste de inversión sería del orden de 10-40 millones de dólares.

Vakomies (1972) sugiere los siguientes criterios de viabilidad para que la madera tropical pueda ser aceptable para la industria de pasta y papel:

Mercados para los productos

Tipo y calidad de la madera

Cantidad y coste de la madera

Estos tres criterios básicos son también generalmente válidos para otras especies de madera, otros productos de madera y otras regiones geográficas.

#### VI. 1.2 Mercados para los productos

La previsión de futuros mercados es un procedimiento bien establecido y relativamente sencillo. Los mercados internos o regionales en los países tropicales son con frecuencia relativamente limitados y sólo pueden sostener un tipo y tamaño de industria de pasta y papel que no sería internacionalmente competitiva. Sin embargo, estos mercados están con frecuencia protegidos y pueden, en algunos casos, aceptar productos de calidad inferior.

#### VI. 1.3 Tipo y calidad de la madera

El tipo y calidad de la madera que puede utilizar una industria de pasta y papel depende en gran medida del mercado. La clasificación de la madera en coníferas y frondosas es suficiente para indicar, en general, las clases de pasta y papel a que pueden destinarse. Con respecto a calidad, un factor de extrema importancia es la uniformidad de la madera en cuanto a densidad y dimensiones de las fibras.

Debe señalarse que aunque las coníferas tienen una utilización más amplia y versátil que las frondosas para productos de pasta y papel, no puede decirse que la conífera de "fibra larga" sea de calidad mejor que la frondosa de "fibra corta", sin especificar

para qué producto se va a emplear la madera y sin considerar las exigencias en cuanto a calidad del producto y economía de la operación (Vakomies 1972).

Es evidente que las características morfológicas de las fibras tienen dentro de cierto límite una importancia mucho mayor que las variables químicas. Esto es especialmente cierto en las pastas al sulfato de coníferas, en las cuales las propiedades químicas no tienen relativamente importancia, mientras que en las pastas al sulfito su importancia es mayor. Sin embargo, en las pastas químicas y semiquímicas de frondosas, las propiedades químicas contribuyen considerablemente a la resistencia del papel.

Los tres factores principales que determinan la resistencia del papel son la densidad de la fibra (grueso de la membrana celular o porcentaje de madera de otoño), su longitud y su resistencia.

#### VI. 1.3.1 Maderas de coníferas

Los bosques templados-fríos de coníferas están compuestos en su mayor parte de unas pocas especies con maderas de fibra larga relativamente homogénea. La longitud media de la fibra está entre los 2,5 y 5,5 mm. dependiendo de la especie.

Generalmente los pinares templados, como los que se encuentran en el sureste de los Estados Unidos, producen pasta con mayor resistencia al desgarre pero menor al estallido y a la tracción que las coníferas situadas más al norte.

Para fines prácticos los pinos son las únicas coníferas tropicales que deben considerarse como materia prima para pasta y papel. Aunque limitados en volumen, los pinos nativos de cualquier zona son bastante uniformes en cuanto a densidad y dimensiones de fibras y, por tanto, son una buena materia prima para una amplia gama de productos de pasta y papel. Debe señalarse que la calidad de las pastas producidas a partir de estos pinos es similar a la producida a partir de los pinos que se desarrollan en climas subtropicales y templado-cálidos. Esto significa que las pastas tienen valores superiores en cuanto al desgarre, pero inferiores en cuanto a la tracción y al estallido que las pastas producidas a partir de coníferas desarrolladas en climas templado-fríos (Vakomies 1972).

Se sabe relativamente poco sobre las cualidades para pasta de los pinos exóticos desarrollados en plantaciones, pero parece que cuando las condiciones de clima y suelo son similares a las condiciones naturales del pino, se produce una pasta similar a la obtenida a partir de árboles indígenas. Las plantaciones exóticas a baja altitud parecen producir pinos que pueden tener densidades, dimensiones de fibras y contenidos de resina, completamente diferentes de los correspondientes a los árboles naturales y éstos pueden variar incluso dentro de la misma plantación. Para evaluar la calidad para pasta de los pinos exóticos desarrollados en plantaciones, es necesario, por tanto, determinar cuidadosamente estas variaciones y realizar ensayos detallados de producción de pasta (Vakomies 1972). Las propiedades de la madera de los pinos exóticos depende de la edad del árbol, variando considerablemente de la madera juvenil del interior a la más madura del exterior.

#### VI. 1.3.2 Maderas de frondosas

Aunque las maderas de frondosas no pueden producir una variedad tan amplia de pastas y papeles como las coníferas, la nueva tecnología ha reducido esta diferencia. Además, para ciertas calidades de papel, especialmente los finos, las pastas de frondosas son superiores a las de coníferas.

Algunas ventajas y desventajas de tipo general de las pastas de frondosas son:

Ventajas

Menor resistencia del flujo y mejor formación

Mejores propiedades superficiales

Buenas propiedades mecánicas (excepto la resistencia al desgarre)

Relación favorable resistencia-opacidad

Rápido desarrollo de la resistencia en el refino

Desventajas

Menor resistencia al desgarre

Menor resistencia al doblado

Menor resistencia en húmedo

Mayor resistencia al desecado

Problemas de repelado de la superficie

Posibles problemas de los extractivos

Para una industria de papel es a menudo ventajoso disponer de pastas tanto de maderas frondosas como de coníferas a fin de hacer mezclas en las que puedan combinarse las propiedades deseables de ambas. Sin embargo, es difícil juzgar cómo van a trabajar juntas las mezclas de fibras sin hacer ensayos.

La gran mayoría de las especies disponibles en los trópicos se encuentra en masas mezcladas de un gran número de frondosas. Una razón del uso muy limitado por la industria de pasta y papel, de las especies frondosas tropicales, es la gran variedad de densidades, dimensiones de fibras y otras características de los centenares de especies madereras que hay a veces en una masa.

La densidad secada a la estufa o peso específico de estas especies madereras varía desde 0,2 a 1,2. Aproximadamente una tercera parte de las especies tienen una densidad que cae fuera, sobre todo por encima, de la banda de pesos específicos de 0,3 a 0,8, que es la que normalmente se considera adecuada para la producción de pasta.

La longitud de la fibra es un criterio insuficiente para evaluar la conveniencia de las frondosas tropicales para la producción de pasta. Como norma, éstas, al igual que otras especies frondosas, tienen menos fibras y más cortas, con más células de parénquima y vasculares que las especies de coníferas. La longitud media de las fibras, dependiente de la especie, está normalmente entre 0,6 y 1,7 mm. La longitud de los elementos vasculares está comprendida entre 0,2 y 1,2 mm. Un factor de importancia es la relación entre el grueso de la pared de la fibra tubular y el diámetro interior del tubo. Expresado por la relación de Runkel, que es la razón entre dos veces el grueso de la pared y el diámetro interno ( $2W/L$ ), los límites aproximados de esta relación parecen estar entre 0,25 y 1,5 para las especies que producen pasta de calidad regular (Vakomies 1972). Las fibras de paredes gruesas no se colapsan fácilmente, son rígidas y retienen su forma redondeada durante la formación de la hoja, proporcionando en consecuencia un trabajo insuficiente.

Muchas de las frondosas tropicales, sobre todo las especies más pesadas, tienen un alto contenido de extractos. Si el agua caliente o los extractos de alcohol-benceno exceden del 10 por ciento, es muy improbable que la madera sea adecuada para la producción de pasta.

El contenido de cenizas de algunas frondosas tropicales puede ser del orden del 4 al 5 por ciento, mientras que las especies que se desarrollan en los bosques templados contienen normalmente del 0,2 al 1,0 por ciento de cenizas. Además de los componentes minerales necesarios para el crecimiento de la planta, las frondosas tropicales pueden contener cristales

de silicato y oxalato. El contenido de oxalato cálcico y especialmente de silicato aumenta la dureza y duración de la madera, pero ocasiona un notable embotamiento de las máquinas-herramientas pudiendo hacer, en consecuencia, que la madera no sea adecuada para su transformación industrial.

Los bosques heterogéneos de frondosas tropicales pueden convertirse en plantaciones de especies seleccionadas mediante:

Corta de limpieza de las masas existentes;

Recolección y elaboración de trozas adecuadas para producción de madera aserrada y chapa;

Recolección y transformación de trozas adecuadas para la producción de pasta;

Eliminación del resto del bosque mediante métodos mecánicos, mediante quema o, posiblemente, mediante producción de carbón vegetal;

Replantación con especies seleccionadas.

Ante la falta de experiencia de tales operaciones de conversión, es difícil estimar su economía o garantizar que el programa de forestación va a ser un éxito.

Para una industria de pasta, debería ser posible —si es bueno económicamente— el aceptar, digamos 50 a 100 especies seleccionadas de madera. Suponiendo que la distribución del volumen de estas especies sea uniforme por todo el boquete, la industria debería ser capaz de producir pasta de calidad uniforme. Otra solución puede ser el reducir la selección de madera para pasta a unas pocas especies o grupos de especies bien admitidas, cuyos porcentajes en la mezcla de madera convertida en pasta, pueda controlarse y mantenerse constante en la industria. Ambas mezclas de maderas “homogéneamente heterogéneas” naturales y controladas artificialmente, se han transformado en pasta en laboratorios o industrias pilotos y las pastas producidas han sido de buena calidad. Las perspectivas de la utilización de bosques tropicales mezclados de frondosas para la producción de pasta y papel, dependen de factores técnicos, selvícolas y económicos (Vakomies 1972). Sin embargo, durante los últimos años se ha demostrado que se puede producir pasta de alta calidad a escala comercial a partir de maderas frondosas tropicales mezcladas (King 1975).

Existen ejemplos de plantaciones tropicales con éxito a base de frondosas, tanto indígenas como exóticas. Ciertas especies de eucaliptos han producido rendimientos muy elevados en los trópicos. Aunque los bosques artificiales con especies seleccionadas de frondosas no son corrientes todavía en los países tropicales, pueden ser el mejor recurso futuro de madera como materia prima para la pasta y el papel en los trópicos.

También, en clímas más templados como algunas partes de Sudamérica y África, sur de Europa, Australia y Nueva Zelanda, existen plantaciones de frondosas, con muy buenos resultados, que dan una elevada producción de madera homogénea en turnos cortos. Las especies de eucaliptos predominan en estas plantaciones. La anatomía y características de varias especies de eucaliptos las describe Dadswell (1972). Entre las 500 a 700 especies conocidas, se ha seleccionado un número limitado de ellas, que dan una materia prima ideal para muchas calidades de papel.

#### VI. 1.4 Cantidad y coste de la madera

Para ser competitiva en los mercados internacionales, una empresa de pasta y papel necesita normalmente grandes cantidades de madera a un coste relativamente bajo.

La cantidad de madera disponible en un año determinado es importante, naturalmente, para establecer el tamaño inicial y el final de la empresa. Especialmente en bosques mezclados de frondosas tropicales, sólo pueden justificarse unos inventarios más detallados y costosos después de que una evaluación preliminar del proyecto haya indicado que éste puede ser técnica y económicamente viable.

Como es importante conocer en una primera etapa el coste aproximado de la madera entregada en los posibles emplezamientos industriales, deben elaborarse planes de ordenación provisional, forestación o reforestación, explotación, transporte y otros temas y estimarse sus costos de capital y de operación. Debe darse una especial atención, a este respecto, a mantener el coste de la madera tan bajo como sea posible durante los primeros años de aprovechamiento, que será cuando la industria de nuevo establecimiento atraviese su período más difícil económicamente (Vakomies 1972).

La FAO ha publicado una guía muy útil para la planificación de industrias de pasta y papel (1973).

#### VI. 2 Propiedades de las astillas para uso industrial

Las consecuencias de una calidad deficiente de las astillas incluyen pérdidas en el rendimiento y calidad de la pasta y unos mayores costes de producción.

La información que sigue sobre las propiedades técnicas de las astillas, está basada principalmente en un documento de Hartler (1972).

##### VI. 2.1 Requisitos sobre dimensiones

Se ha escrito muy poco acerca del efecto de las dimensiones de las astillas sobre las variables de producción de pasta mecánica y semiquímica.

###### VI. 2.1.1 Proceso kraft

En el proceso kraft, la difusión es el sistema predominante, en el cual los productos químicos para el cocido son llevados a las astillas. El índice de difusión es aproximadamente el mismo en las tres direcciones principales de la madera, y por ello la dimensión crítica será la menor de ellas, es decir el grueso de la astilla. El aumento del grueso se traduce en un cocido más heterogéneo, lo que significa más desecho por tamizado de las astillas parcialmente delignificadas, de las cuales no pueden extraerse las fibras.

El límite superior crítico en cuanto a grueso, depende algo de la especie de madera y también de la forma de la astilla. Las astillas de laboratorio son sólidas, teniendo unas superficies bastante paralelas y planas y sin grietas (Fig. 66). Las astillas industriales tienen ligeras acanaladuras, paralelas a la fibra en sus dos caras mayores (Fig. 67), lo que reduce el verdadero grueso de la astilla a un valor ligeramente inferior al de su grueso nominal.

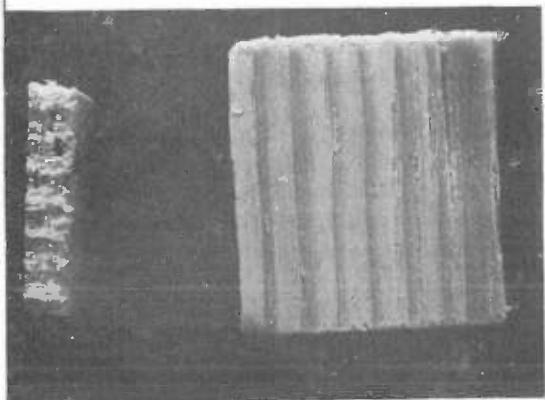


Fig. 66. Astillas de laboratorio.

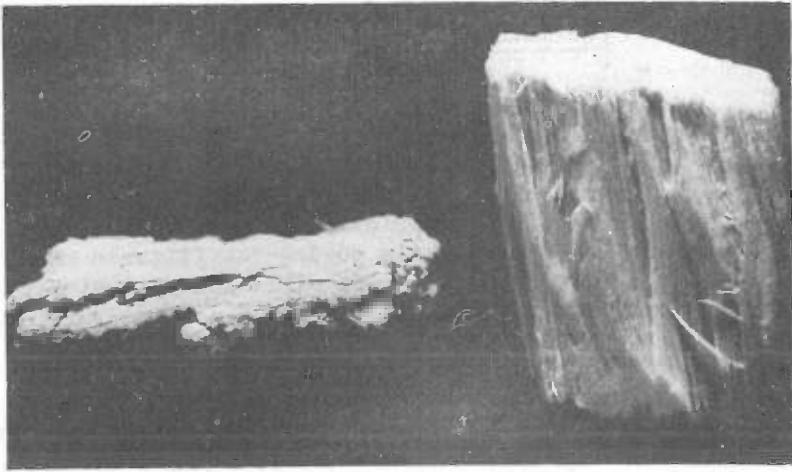


Fig. 67. Astillas industriales con superficies acanaladas y fisuras.

Tiene mayor importancia el que muchas astillas, en variada cuantía, contengan grietas o fisuras a lo largo de la fibra, tal como se ve en la figura. Mientras 4 mm es el límite superior para los gruesos de las astillas de laboratorio, 6 a 7 mm es el permisible para las astillas industriales.

El límite crítico inferior para el grosor de las astillas está determinado por el hecho de que las astillas demasiado finas tienen una estabilidad mecánica muy baja y también porque las astillas de tamaño pequeño son difíciles de tratar. En casos extremos son también un inconveniente para la calidad del producto final. En la práctica existe una distribución de gruesos (Fig. 68), debiendo mantenerse bajo control el límite superior e inferior de esta distribución.

La longitud no es tan crítica en el proceso kraft y por ello no se ponen restricciones normalmente respecto a la longitud de la astilla. Por otra parte, existe una relación lineal en las astilladoras comerciales entre la longitud y el grueso, con un factor de 5 a 7 (la longitud es 5 a 7 veces mayor que el grueso). La longitud de la astilla está normalmente entre 15 y 30 mm cuando se trata de emplear las astillas para el proceso kraft.

Un contenido muy alto o una distribución desigual de astillas delgadas y elementos finos ocasionará un cocido no uniforme y puede causar también el taponamiento de los tamices en la extracción de la lejía, especialmente en digestores continuos.

#### VI. 2.1.2 Proceso al sulfito

Las astillas para el cocido al sulfito no tienen exigencias específicas respecto a gruesos. En este caso es más crítica la longitud a lo largo de la fibra. Hay una relación comprobada entre la longitud de la astilla y la longitud media resultante de las fibras de la pasta: cuanto más corta es la astilla en la dirección de la fibra, mayor es la frecuencia del corte de las fibras durante la elaboración de las astillas, y por lo tanto, más corta es la longitud media de las fibras (Fig. 69).

Puesto que las fibras más largas contribuyen a hacer la pasta más fuerte, se hace hincapié en astillas más largas para la pasta al sulfito, en la cual las propiedades de resistencia son un factor más limitante que en el caso de la pasta kraft. Además, las astillas más cortas contienen un porcentaje superior de daño por compresión.

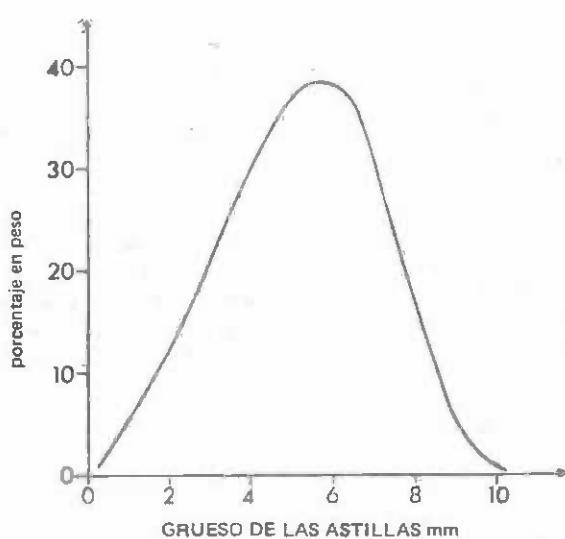


Fig. 68. Distribución por peso del grueso de las astillas, en una muestra industrial de astillas.

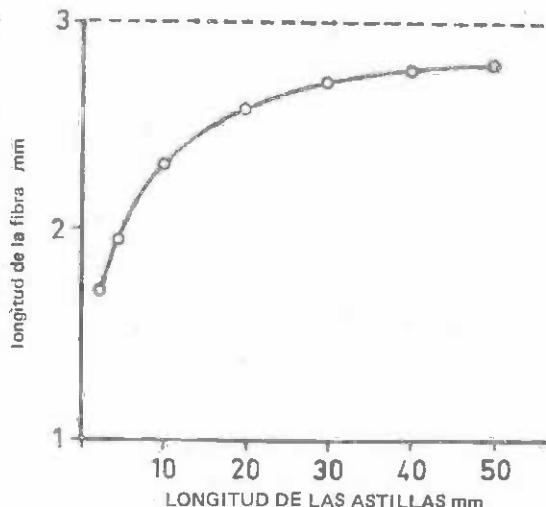


Fig. 69. Relación calculada entre la longitud media de las fibras y la longitud de las astillas, suponiendo que la longitud media de las fibras en la madera sin cortar sea de 3,0 mm.

Con frecuencia la longitud de la astilla es del orden de 35 a 40 mm en industrias al sulfito. Este es probablemente un límite superior; astillas más largas ocasionarían dificultades para la penetración, ya que los productos químicos en el proceso al sulfito se mueven principalmente a lo largo del eje de las fibras.

#### VI. 2.2 Estabilidad mecánica

Es deseable reducir al mínimo la cantidad de astillas de pequeño tamaño. Durante la manipulación, las astillas de poca rigidez pueden reducirse fácilmente a tamaños pequeños. Algunas astillas industriales tienen grietas importantes, que se traducen en una baja rigidez perpendicular al eje de las fibras. Es de gran importancia que las astillas tengan una buena estabilidad mecánica.

#### VI. 2.3 Daño por compresión

La madera de resinosas consiste en gran parte de fibras. En la parte principal de la pared de la fibra -la capa S2- hay una alineación en espiral de las microfibrillas, con un ángulo -el ángulo de la espiral- entre las microfibrillas y el eje de la fibra, de 10 a 30° (Fig. 70). Si esto prevalece en toda la pared, ello significa que toda la celulosa está dispuesta en una forma muy ordenada, lo que significa a su vez que tiene una baja accesibilidad y una baja reacción a los productos químicos de la elaboración de la pasta. Este es un requisito previo para evitar la degradación de la celulosa durante las operaciones de elaboración de la pasta en la industria, especialmente en las condiciones del proceso al sulfato ácido. Si no se hubiera dado esta forma tan ordenada, no habría sido posible hacer pastas fuertes mediante el proceso al sulfato. Una fuerte compresión de la madera ocasiona unas

alineaciones inconvenientes en ciertas áreas limitadas de la estructura de las microfibrillas. En estas áreas, la degradación indeseable de la celulosa avanzará rápidamente durante el tratamiento ácido de elaboración de la pasta, dando como resultado puntos débiles en las fibras y, en consecuencia, una resistencia inferior en el papel resultante. Este fenómeno, que es un resultado del flujo plástico de la madera durante una compresión fuerte, se denomina daño por compresión.

El daño por compresión en el astillado convencional tiene lugar principalmente tal como se indica en la Fig. 71. Las fibras de la madera de primavera son más sensibles a la compresión que las fibras de la madera de verano y cuanto mayor sea la densidad de la madera, menor será el daño de las fibras por compresión. El contenido de humedad de la madera tiene también una influencia notable. La madera seca es más favorable desde el punto de vista de la compresión de la astilla.

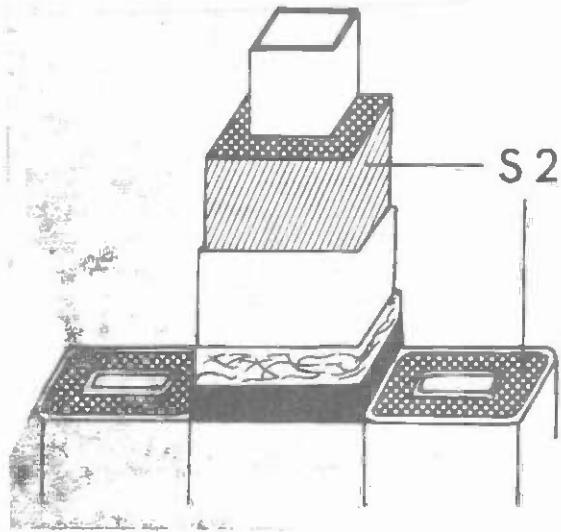


Fig. 70. Dibujo esquemático de la pared de la fibra de las maderas de coníferas.

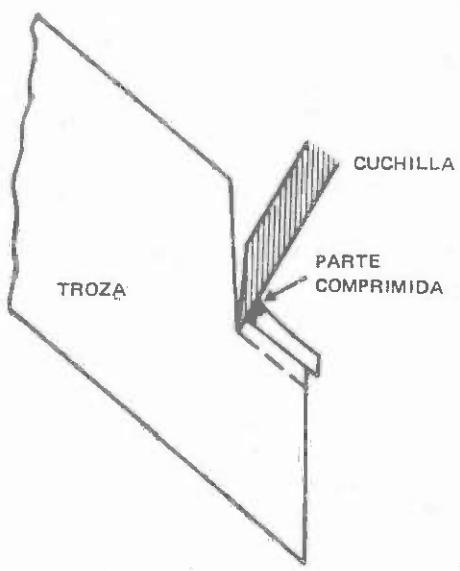


Fig. 71. Formación del daño por compresión.

El daño por compresión tiene menos importancia cuando las astillas se van a utilizar para el proceso kraft -método de tratamiento cada vez más dominante en las industrias de pasta- pero tiene gran importancia en el proceso al sulfito.

#### VI. 2.4 Densidad aparente

El grado de compactación en el digestor determina la cantidad de madera que puede cargarse en éste. También determina la resistencia a la filtración de la gran masa de astillas de madera en el digestor. La transferencia de calor y de los productos químicos del proceso, que son de la mayor importancia para la homogeneidad de este proceso, se logran normalmente haciendo circular la lejía del cocido. Una circulación uniforme por todas las partes del digestor tiene, por tanto, la mayor importancia para un cocido homogéneo. Uno de los factores que controlan una circulación uniforme es la resistencia a la filtración, que tiene que ser la misma por toda la masa de astillas en el digestor.

Los parámetros de las astillas que determinan la densidad aparente son:

- a) la relación entre la dimensión mayor y la menor, tomadas como la diagonal media de la astilla y su grueso medio;
- b) la heterogeneidad de las astillas.

Para muestras bastante homogéneas la densidad aparente está determinada únicamente por la relación de las dos dimensiones de la astilla, tal como se ve en la Fig. 72. Cuanto mayor es la relación, menor es la densidad aparente. Los análisis teóricos han demostrado que, para muestras bastante homogéneas, el empacado más denso se logra cuando cada partícula tiene la forma de una esfera. Esto corresponde a la relación 1, mientras que, para la mayoría de las muestras de astillas industriales, la relación es alrededor de 100 incluso algo superior.

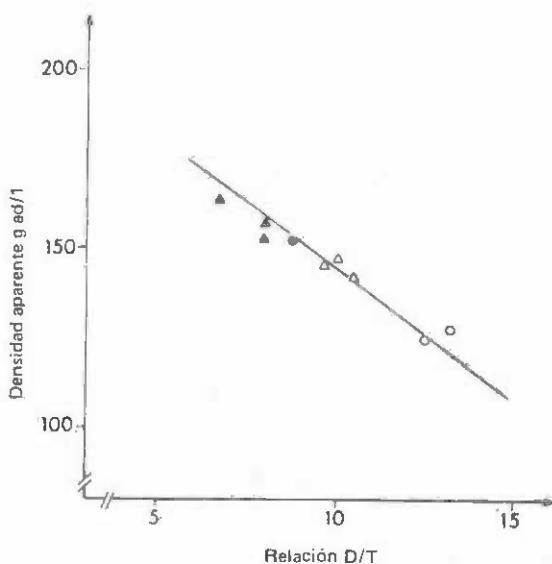


Fig. 72. Densidad aparente, de acuerdo con un procedimiento normal de laboratorio, en función de la razón entre la diagonal media ( $D$ ) y el grosor ( $T$ ) para diferentes muestras de astillas industriales.

Cuando se introducen cantidades bastante grandes de astillas de dimensión excesiva o de pequeña dimensión, se produce en cierta medida un llenado de los huecos entre astillas lo que se traduce en un aumento de la densidad aparente.

Tal como se ve en la Fig. 73, la adición de un 40 por ciento de astillas de dimensión excesiva aumenta la densidad aparente de la masa de astillas en un 10 por ciento aproximadamente. Por otra parte, la adición de serrín en condiciones similares, aumenta la densidad aparente en un 20 por ciento aproximadamente. En el primer caso la densidad aparente aumenta debido a que una astilla de dimensión excesiva sustituye a varias astillas menores, que están compactadas en forma relativamente suelta, sin perturbar la compactación global, mientras que en el segundo caso el serrín rellena realmente los huecos entre astillas.

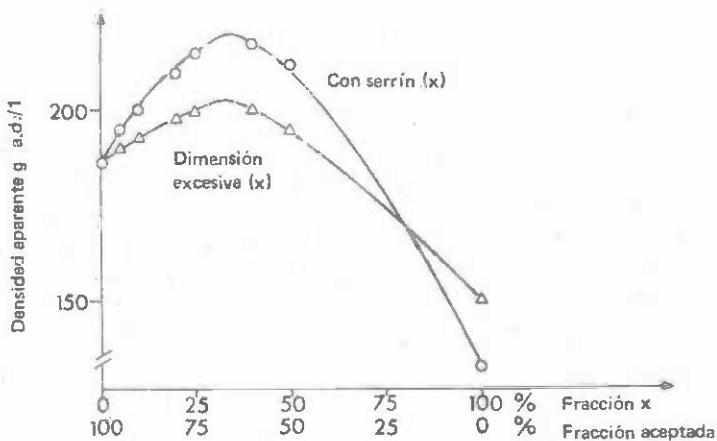


Fig. 73. Densidad aparente, de acuerdo con un procedimiento normal de laboratorio, en función de la cantidad de astillas extra, añadidas a una muestra de astillas bastante homogénea.

#### VI. 2.5 Contenido de humedad

La madera húmeda, o bastante humedecida, —con un 40 a 50 por ciento de contenido de humedad— es mejor que la seca en cuanto a la impregnación de los productos químicos del proceso que, en gran proporción, influye en la homogeneidad de tal proceso. El volver a humedecer la madera seca mediante vapor presenta ciertos inconvenientes. Una investigación de laboratorio (Hatton y Keays 1973) demostró que los rendimientos de pasta kraft eran los mismos para astillas de coníferas verdes y para las secadas al aire; sin embargo, las astillas secadas a la estufa dieron un rendimiento inferior.

En las maderas de coníferas algunos poros de su estructura se cierran irreversiblemente cuando se secan fuertemente. Además, los tanques y los tiempos de retención para la vaporización en la industria no suelen estar proyectados para una vaporización tan extensa como la que exigiría al añadir grandes cantidades de humedad a astillas muy secas. Las astillas desecadas hasta niveles de humedad muy por debajo del punto de saturación, han perdido algo de calidad para la producción de pasta, y además, unos elevados niveles de sequedad no pueden, en general, compensarse en las industrias mediante una vaporización extensiva.

La utilización de astillas verdes, frescas, se considera una ventaja en la producción de pastas mecánicas.

Sólo hay un factor en favor de las astillas desecadas y es el de la estabilidad resultante respecto a su deterioro microbiológico. Sin embargo, este factor no es grave cuando las astillas se almacenan en las industrias sólo durante períodos cortos.

#### VI. 2.6 Pureza de las astillas y algunos comentarios breves sobre la heterogeneidad de las propiedades de la madera

Las astillas de madera para uso industrial deben estar, naturalmente, libres de impurezas tales como arena y partículas metálicas, que, si estuvieran presentes, causarían normalmente en la industria de la pasta perturbaciones en la producción. Normalmente, las astillas de madera

tienen un contenido suficientemente bajo de tales impurezas. Un contenido demasiado alto de material abrasivo ha sido un gran problema al utilizar astillas de todo el árbol o astillas de despojos de corta.

Además, es de la mayor importancia el reducir al mínimo la madera podrida y la corteza. Estas no sólo ocasionan menores rendimientos y perturbaciones en la producción, sino que afectan también negativamente a la calidad de la pasta. Una pudrición fuerte y grandes cantidades de corteza, no sólo serán perjudiciales en los aspectos mencionados, ocasionando una reducción en el precio, sino que también en muchos casos darán lugar al rechazo total por la industria.

Cuando las astillas de madera contienen una mezcla de varias especies o una mezcla de maderas procedentes de distintos orígenes, es de la mayor importancia que la mezcla se mantenga constante, a fin de evitar todo cambio en la calidad de la pasta. Por ejemplo, la diferencia entre la pícea y el pino es tan grande, que tiene un efecto marcado sobre la calidad de la pasta resultante del proceso kraft. Cuando las astillas de madera presentan diferencias de composición en el momento de la entrega, deben tomarse medidas adecuadas antes de la producción de pasta para asegurar una mezcla conveniente.

#### VI. 2.7 Astillas procedentes de sierras y canteadoras con astilladora

Las astillas producidas mediante el astillado con sierras y canteadoras muestran grandes variaciones entre las distintas máquinas e instalaciones. En algunos casos se produce un elevado contenido de elementos finos, pero generalmente las astillas, aunque muestran una geometría diferente de la de las astillas tradicionales, tienen un porcentaje de astillas aceptadas comparables a las astillas producidas mediante astilladoras de discos. Las astillas son, con frecuencia, más finas y el cocido es más rápido que en el caso de las astillas tradicionales. Por otra parte, tales astillas tienen una menor densidad de empacado y son más susceptibles a los daños de la manipulación, con un aumento resultante en astillas delgadas y elementos finos.

#### VI. 2.8 Astillas de residuos

Mientras la oferta de madera excede a la demanda, el precio de la madera en pie se mantiene bajo y la utilización se limita sólo a la mejor madera. Cuando el consumo crece, el precio de la madera en pie aumenta y la industria debe ampliar su base de materia prima incluyendo maderas de menor tamaño o de inferior calidad.

La transformación industrial de los residuos generalmente comienza en una situación en que su precio es bajo comparado con el de la madera materia prima tradicional. La primera planta industrial que se aventura en la transformación de residuos, considerados antes como no vendibles, descubre con frecuencia que ha hecho una decisión realmente ventajosa. Cuando se comprueba que la actividad es provechosa, más y más compañías siguen el ejemplo. La demanda crece y el precio gradualmente se sitúa a un nivel que corresponde al verdadero valor y que es mucho más alto que el nivel inicial.

La materia prima madera se utiliza de modo mucho más completo cuando es elevada la proporción del precio de la madera en pie respecto al precio de la madera en fábrica. Sólo en condiciones en que el precio de la madera es alto, suele ser conveniente el utilizar la madera enteramente (Hakkila 1972a).

Los residuos se dividen en dos grupos principales:(1) Residuos de la industria de transformación mecánica de la madera y(2) residuos forestales. Los primeros, especialmente, han crecido tanto en importancia y valor que en muchos países es más correcto hablar de ellos como de subproductos.

#### VI. 2.8.1 Astillas de aserraderos

Los principales subproductos del aserrío son los costeros y los recortes. Estos son normalmente astillados en el aserradero en astilladoras de residuos, y en cierto grado, la parte exterior de la troza se convierte también directamente en astillas. En Escandinavia las astillas de costeros y recortes constituyen del 20 al 25 por ciento del volumen sólido de la troza y contribuyen con el 10 al 15 por ciento de las ventas totales del aserradero. Este ingreso equivale frecuentemente al coste total de la mano de obra del aserradero. Para aserraderos menores puede ser más económico vender los costeros o astillas sin descortezar que el comprar una costosa máquina de descortezar. El precio de los residuos de aserradero sin descortezar es aproximadamente las dos terceras partes de los residuos descortezados. Los residuos sin descortezar se utilizan principalmente en industrias de tableros de partículas y tableros de fibra.

Las astillas de aserraderos consisten principalmente en las partes exteriores de las trozas, cuyas propiedades respecto a la madera son excelentes para la producción de pasta, incluso superiores a la madera tradicional para pasta. Sin embargo, es bajo el rendimiento de los subproductos en el proceso al sulfato, debido al bajo contenido de duramen. Puede darse también la situación de un porcentaje demasiado elevado de corteza y elementos finos especialmente en el invierno, cuando se trabaja con madera helada.

Como ejemplo de la importancia de las astillas de aserradero, en Finlandia el 20 por ciento de la pasta al sulfato y el 10 por ciento de la pasta al sulfito, se obtienen a partir de esta materia prima (Hakkila 1972a). Casi todos los subproductos de madera de los aserraderos se elaboran de nuevo como materia prima de la industria forestal.

También en muchos otros países, los subproductos, especialmente de los aserraderos y de las industrias de chapa, se han convertido en materias primas importantes para las industrias de tableros y de pastas. Para mantener y mejorar la calidad de las astillas, el comprador de éstas puede ser propietario y responsable de la operación de la astilladora de residuos, encargarse de su mantenimiento, o en otro caso informar y estimular para lograrlo.

En Suecia, los aserraderos han fundado una poderosa organización para la comercialización de los productos derivados del aserrío (Appert 1972).

#### Serrín

En los aserraderos típicos de Escandinavia, equipados con sierras alternativas de hojas múltiples o con sierras circulares dobles para leña, el 11 al 13 por ciento de la troza se convierte en serrín.

Un inconveniente del serrín para la industria de pasta es el pequeño tamaño de sus partículas y, en consecuencia, la fibra corta resultante. La longitud de la fibra en las astillas de las coníferas nórdicas es superior a 3 mm, mientras que el promedio de las fibras del serrín es sólo de 1,15 mm de longitud, siendo incluso más cortas las procedentes de sierras circulares.

El serrín se aceptó primero como materia prima para los tableros de partículas y de fibra. A partir de la mitad de los años 50, la pasta de fibra corta al sulfato se ha hecho también con serrín. Aunque puede dosificarse cuidadosamente cierta parte de serrín junto con otras astillas, es preferible la producción separada de pasta a partir del serrín para evitar problemas de digestión y para aumentar el rendimiento. Cuando se añade un digestor continuo separado para serrín en una industria de pasta ya existente, la capacidad de producción, por razones económicas, no debe ser inferior a las 100 toneladas de pasta por día, en las condiciones escandinavas. Las propiedades de la pasta recuerdan en muchos aspectos a las de las pastas de frondosas.

La producción de pasta refinada termomecánica a partir del serrín ha comenzado recientemente. La pasta tiene propiedades de resistencia inferiores a las de la pasta mecánica, pero es adecuada para ciertas calidades de papel y cartón.

Tanto en Suecia como en Finlandia, la mayor parte del serrín se utiliza industrialmente y Finlandia incluso importa serrín. Los digestores finlandeses de serrín tienen una capacidad total de producción anual que exige alrededor de 3 millones de m<sup>3</sup> sólidos de serrín. La elaboración termomecánica de pasta refinada consumirá allí dentro de poco tiempo más de 0,3 millones de m<sup>3</sup> de serrín.

#### VI. 2.8.2 Residuos forestales

Los residuos forestales son normalmente menos económicos de utilizar que los residuos de la industria de transformación mecánica de la madera. Sufren las consecuencias de los altos costes de aprovechamiento, y suelen ser una materia prima deficiente. Pero el aumento de la demanda de materia prima y el desarrollo de técnicas de aprovechamiento y transformación llevan indudablemente a la utilización de una biomasa forestal que anteriormente se consideraba como no utilizable. Por otra parte, en períodos de recesión con una reducción de la demanda y de los precios, los residuos forestales tales como los despojos de corta son probablemente la primera materia prima de madera que deja de ser atractiva.

##### Madera de tocones y raíces

Una de las reservas importantes de madera -del 15 al 35 por ciento del peso del tronco- consiste en los tocones y las raíces. Sus propiedades madereras difieren relativamente poco de las de la madera de tronco, siendo las características más notables el alto contenido de extractos en los tocones de pino.

Los rendimientos del proceso al sulfato de tocones y raíces gruesas de coníferas son en la mayoría de los casos de un 2 a un 3 por ciento inferiores a los de la madera de tronco. Sin embargo, debido a la densidad básica más elevada, el consumo de madera de tocón y de raíz de pino en m<sup>3</sup> por tonelada de pasta es en realidad inferior al de madera convencional para pasta. La calidad de la pasta puede variar desde ser comparable a la de la madera de tronco hasta un 10 a un 15 por ciento menor en cuanto a propiedades de resistencia. El resultado del sistema radical de las frondosas en el proceso al sulfato es más variable que el del sistema radical de las coníferas.

El principal impedimento para la utilización de tocones y madera de raíz ha sido el elevado costo de la explotación maderera, del transporte, y de la conversión en astillas libre de los contaminantes del suelo.

En Polonia, Estados Unidos y U.R.S.S. se utilizan anualmente alrededor de un millón de m<sup>3</sup> sólidos de tocones de pinos viejos para la producción de derivados de la resina. La madera restante se utiliza con frecuencia como combustible o para tableros de fibra. En los Estados Unidos, una compañía tiene varios años de experiencia en la utilización de madera de tocones, después de la extracción de productos químicos, para la producción de pasta (Stewart y Díaz 1972). Un prototipo de cosechadora forestal-apiladora que se está desarrollando y que extrae por tracción los árboles de los pinares del sur sacando del terreno con ellos la raíz principal como si fueran zanahorias, probablemente aumentará la utilización de tocones y madera de raíces. En Escandinavia, se ha realizado un programa completo de investigación con vistas a la utilización de tocones y de madera de raíz como materia prima adicional. En Finlandia comenzó en 1975 una operación comercial de trituración de tocones, lavado y tamizado (Fig. 74) con una capacidad anual de unos 300 000 m<sup>3</sup> aparentes de astillas. De un 10 a un 20 por ciento de las astillas trituradas puede añadirse a las astillas ordinarias sin efectos importantes sobre la calidad de la pasta kraft. Un factor positivo es, naturalmente, el mayor rendimiento de aguarrás y "tall oil".

En los informes de Keays (1971e), Hakkila (1972b, 1974, 1975a), Eskilsson y Hartler (1973), Koch y Coughran (1975), Stade (1975), Koch (1976), Nyholm (1976), y Projekt Helträdsutnyttjande (1976) se da más información y referencias sobre la utilización de madera de tocones y raíces.

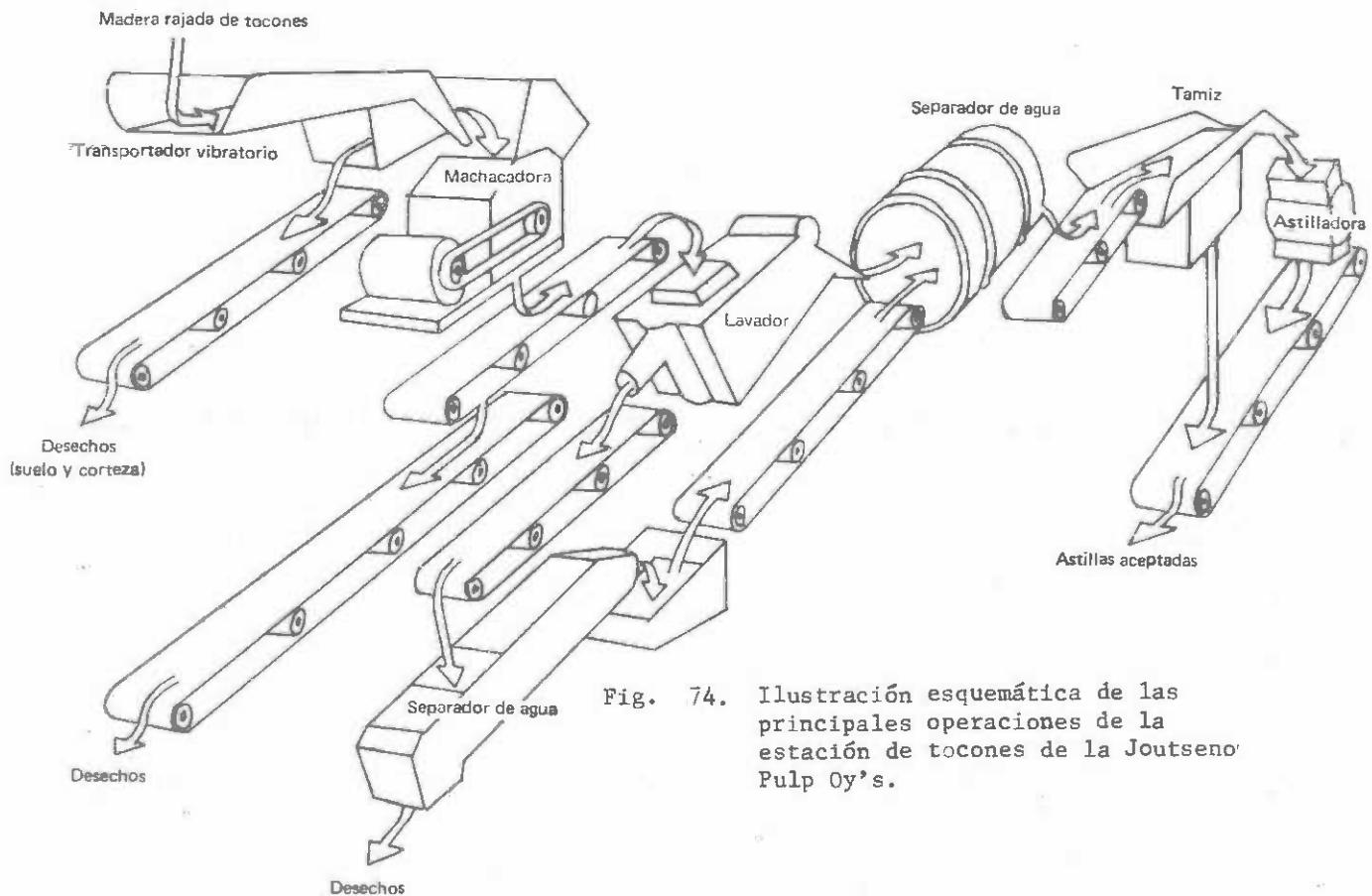


Fig. 74. Ilustración esquemática de las principales operaciones de la estación de tocones de la Joutseno Pulp Oy's.

#### Residuos de madera de troncos

En Europa se queda sin utilizar una proporción bastante pequeña de madera de tronco. En Escandinavia el diámetro mínimo de la madera utilizada para hacer pasta es generalmente de 5 a 7 cm. Sin embargo, parece que es difícil mantener estas dimensiones mínimas con los métodos tradicionales de explotación, ya que la presión del coste es especialmente fuerte cuando se utiliza madera de pequeñas dimensiones.

Incluso la punta del árbol y los troncos jóvenes son una materia prima perfectamente utilizable para las industrias de pasta y tableros. Ambos difieren de la madera normal de tronco en lo referente a las dimensiones de las fibras. La composición química y el comportamiento en la elaboración de pastas, presentan sólo ligeras diferencias. El rendimiento en pasta, según parece, está entre el 1 y el 2 por ciento por debajo del correspondiente a la madera normal de tronco (Eskilsson y Hartler 1973).

#### Madera de ramas

Las ramas constituyen un gran potencial como fuente de materia prima. Si el peso seco de la madera de tronco descortezada se designa por 100, la cantidad relativa de madera de ramas es de 13 para el pino silvestre y 22 para la pícea de Noruega en las condiciones finlandesas. La biomasa total de las ramas y puntas, incluyendo corteza y acículas, comparada con el peso seco de madera y corteza de tronco, es de 25 para el pino y de 50 para la pícea (Hakkila 1972a). Estas cifras dependen, naturalmente, del porcentaje de la copa y también del tamaño del árbol, aumentando cuando disminuye el diámetro normal (Hakkila 1971).

La madera de ramas tiene generalmente una densidad básica algo superior que la madera de tronco, mientras que las fibras son más cortas. La densidad básica y el contenido químico están determinados principalmente por el elevado porcentaje de la madera de reacción. Las ramas de coníferas, que son ricas en madera de compresión, tienen un contenido relativamente superior de lignina, galactano y extractos que la madera correspondiente de tronco. Las ramas de frondosas están influidas por la formación de madera de tensión, que trae consigo un contenido más elevado de celulosa y menor de lignina que la madera de troncos.

Las determinaciones realizadas en laboratorios indican que hasta un 50 por ciento aproximadamente de los despojos de corta pueden utilizarse para fabricar comercialmente tableros de partículas aceptables con un aumento pequeño solamente en el contenido de resina o en la densidad del tablero.

Los experimentos finlandeses, canadienses y suecos demuestran que la madera de ramas de coníferas da un bajo rendimiento de pasta y la mayoría de las propiedades de ésta son inferiores en comparación con la pasta producida a partir de la madera de tronco (Hosia y otros, 1971, Keays y Hatton 1971, y Eskilsson 1974). La presencia de corteza y acículas redujo algo las propiedades de resistencia pero menos de lo que se temía. Esto se debe probablemente al rendimiento inferior de estos componentes. Por otra parte, las pastas de ramas de frondosas, en la mayoría de los casos, no difieren mucho de la correspondiente a la pasta de tronco.

En Suecia la opinión predominante en la actualidad es que los despojos de corta son de poco interés como materia prima para la elaboración de pasta, pero puede convertirse posiblemente en materia prima para la producción de tableros.

#### Corteza y acículas

La corteza y las acículas son las componentes del árbol menos deseables para la producción de tableros y especialmente de celulosa.

En las industrias de tableros de fibra de proceso húmedo, puede aceptarse hasta un 20 a un 30 por ciento de contenido de corteza. Una de las principales desventajas de un alto contenido de corteza es la mayor cantidad de material disuelto que aumenta los costes para evitar la contaminación del agua.

La proporción de corteza que puede aceptarse en los tableros de proceso seco, depende del equipo de producción, del tipo de tableros producidos, del contenido de aglomerante y de la calidad exigida para el tablero. Un análisis sobre bibliografía referente a la producción de tableros a partir de la materia prima corteza y con contenido de corteza ha sido resumido por Back y Lundqvist (1975).

En la producción de pasta, el contenido de corteza aceptado varía normalmente del 0 al 4 por ciento y en algunos casos mayor, dependiendo del proceso de producción y de los productos, pero también de la especie de árbol y del coste de la madera. Como norma, la corteza de los árboles jóvenes es menos perjudicial que la de los árboles viejos.

En condiciones normales para las pastas químicas, la mayoría de las cortezas dan un rendimiento aproximado del 20 al 25 por ciento y el consumo de productos químicos es bastante mayor que con la madera. Ocasionan problemas el color oscuro, manchas de suciedad, pedazos de corteza sin digerir y resina. Respecto a esto, vale la pena señalar que es posible utilizar para celulosa la madera de eucalipto sin descortezar. En la industria de CELBI, de Portugal, se utilizan árboles de Eucalyptus globulus, sin descortezar, de 10 a 15 años de edad, en el proceso de celulosa al sulfato (volumen aproximado de corteza, 20 por ciento). La corteza de los árboles jóvenes de eucalipto tiene una apariencia morfológica y una composición química que son, sin embargo, bastante parecidas a las de la madera (Thune-Larsen y Luhr 1972).

También en Europa Central, la elaboración de pasta kraft a partir de astillas almacenadas y tamizadas, de frondosas de pequeño tamaño sin descortezar ha dado resultados prometedores (Wiedermann 1972). La elaboración de pasta kraft a partir de corteza de haya y de astillas

de haya con contenido de corteza, se describe por Farkas y Farkasova (1975a, b). Las propiedades de las pastas se ven poco influidas, relativamente, en la mayoría de sus aspectos cuando el contenido de corteza de las astillas se mantiene por debajo del 10 por ciento. Sin embargo, para mantener la producción y las propiedades de calidad de la pasta, tales como la blancura y la limpieza, cada fábrica debe decidir la cantidad de corteza que puede absorberse (Wawer 1975).

Los estudios sobre la elaboración de pasta kraft con astillas de madera de coníferas sin descortezar indican que pueden obtenerse pastas aceptables, blanqueadas y sin blanquear (Horn y Auchter 1972, Vethe 1973). El rendimiento del digestor y la capacidad de producción es menor, pero el rendimiento total en pasta es mayor ya que la pérdida de madera normalmente debida a la operación de descortezado se evita, y además hay algo de producción de pasta procedente de la corteza. Puede aceptarse hasta un 10 por ciento de corteza en las astillas, aproximadamente, sin cambios significativos en las propiedades de resistencia de la pasta. Sin embargo, se consumen más productos químicos en el cocido y en el blanqueo y se necesita probablemente un sistema eficiente de limpieza mediante centrífugado.

Se ha llegado a la consecuencia de que los tableros hechos con un 100 por ciento de acículas de pino de desechos de corta, no tienen propiedades satisfactorias para usos normales (Howard 1974).

Las acículas dan aproximadamente el mismo rendimiento en pasta y tienen el mismo consumo elevado de productos químicos que la corteza (Eskilsson y Hartler 1973).

En la U.R.S.S. se han hecho los mayores esfuerzos para la utilización del follaje. El principal producto es el follaje industrial secado y molido (muka), para ser utilizado como un aditivo para los alimentos de avicultura y ganadería. Desde que se estableció la primera planta en 1956 la producción de muka en la U.R.S.S. ha llegado hasta unas 140 000 t anuales, planificándose una nueva expansión de la capacidad de producción. Otros productos obtenidos del follaje incluyen productos químicos como la pasta clorofil-caroteno, el clorofil-sódico, el concentrado provitamin, la cera de coníferas, y varios aceites esenciales. La producción anual en la U.R.S.S. de tales productos dendroquímicos es de unas 200 toneladas.

Se necesita investigación y proyectos para determinar la viabilidad de combinar la utilización del follaje con el astillado del árbol completo, y en tal caso la eliminación del follaje industrial mejoraría también la calidad de las astillas como materia prima cuando se trate de la elaboración de productos forestales convencionales.

A los lectores se les recomienda en materia de bibliografía sobre follaje y utilización de follaje, leer lo escrito por Hannus y Pensar (1970, 1973), Keays (1971b, 1975), Alestalo (1973), Ievins y otros (1973), Latvian Scientific Research Institute of Forestry Problems y Problem Laboratory for Utilization of tree living elements, Leningrad Forest-Technical Academy (1973), Barton (1975), Ievins (1975), y Ministry of Forestry y Forest Industry in the Latvian SSR, Latvian Scientific Research Institute of Forestry Problems (1975).

#### VI. 2.9 Las astillas procedentes de todo el árbol como materia prima industrial

La producción y utilización industrial de las astillas de todo el árbol se desarrollaron muy rápidamente en Norteamérica desde los primeros ensayos a escala real en 1971, hasta 1975, cuando del 4 al 5 por ciento del consumo total de astillas en los Estados Unidos procedía de las operaciones de astillado de árboles completos. Sin embargo, durante 1975 la producción de astillas de todo el árbol declinó como consecuencia de la recesión general, con una situación difícil de mercado para los productos forestales.

Además de ser una materia prima para las industrias forestales, las astillas de todo el árbol pueden posiblemente encontrar una salida como medio reductor, junto con el carbón y el coke, en la industria de la ferrosiliciana y especialmente como fuente de energía.

#### Tableros de partículas

En la producción de tableros de partículas, una gran cantidad de acículas parece reducir la aptitud de las partículas para encolarse y la resistencia a la tensión perpendicular a la superficie del tablero. Cuanto más madera y menos acículas contienen las astillas, más adecuadas son como materia prima para la capa intermedia del tablero. Una investigación finlandesa demuestra que si los tableros de partículas se fabrican con un peso específico no inferior a 0,70 g por cm<sup>3</sup>, se puede utilizar hasta un 100 por ciento de todo el árbol de pino, abedul y pícea para la capa intermedia. La resistencia a la tensión perpendicular a la superficie, cumple todavía las exigencias requeridas. Las astillas de todo el árbol de pino y abedul son mejores que las de pícea. Cuando se utilizan astillas de ramas, pueden emplearse pino y abedul hasta el 100 por ciento en la capa intermedia, pero no puede emplearse más del 25 por ciento de astillas de ramas de pícea (Liiri y otros, 1972).

En un experimento alemán se demostró que las astillas de todo el árbol procedentes de claras de pícea, no eran adecuadas para tableros de una sola capa ni para las capas exteriores de tableros de capas múltiples. Sin embargo, en la capa intermedia, fue posible una mezcla hasta del 50 por ciento de astillas de todo el árbol, que proporciona tableros de partículas de calidad media aceptable (Chen y otros, 1972).

En Noruega, las astillas de todo el árbol de abedul (sin hojas), han producido tableros de partículas de una sola capa con propiedades aproximadamente iguales que los tableros de astillas de tronco sin descortezar (Sellaege y otros, 1972). Muchos otros experimentos han demostrado también que las astillas de todo el árbol pueden utilizarse para la producción de tableros de partículas. Sin embargo, en muchos países, por ejemplo en Alemania, Noruega y Suiza, las astillas de todo el árbol no son todavía una materia prima competitiva (Götze y otros, 1972, Günther y otros, 1972, Paulitsch 1976, Peters 1976, Wolf 1976). Por otra parte, algunas industrias de Finlandia utilizan astillas de todo el árbol, de pino y frondosas, como una pequeña parte de la mezcla, parte que va siendo creciente para la fabricación de tableros de partículas.

En los Estados Unidos unas cuantas industrias de tableros de partículas han estado utilizando astillas de todo el árbol, principalmente de frondosas, como una parte secundaria de la materia prima madera sin problemas técnicos graves de producción. Una industria en construcción se espera que será capaz de funcionar hasta con el 100 por ciento de astillas de todo el árbol como materia prima madera.

#### Tableros de fibra

En Finlandia, las investigaciones de laboratorio e industriales han demostrado que se pueden hacer tableros duros de fibra a base de materia prima procedente de ramas de coníferas. El rendimiento de la corteza, acículas y elementos finos es menor que el de la madera (Fig. 75). Los tableros de laboratorio hechos de ramas tenían aproximadamente la misma resistencia a la flexión pero una mayor resistencia al agua en comparación con los tableros duros hechos de astillas de tronco. En los ensayos a escala industrial se demostró que los tableros duros hechos a partir de ramas tenían propiedades de resistencia algo inferiores que los tableros duros hechos a partir de materia prima normal, mientras que las propiedades de resistencia al agua eran análogas. Excepto algunos inconvenientes de manipulación y transporte, las astillas de ramas no ocasionaron dificultades en la producción industrial (Hosia y Kortelainen 1971). Sin embargo, el empleo de corteza y acículas aumenta la contaminación producida por el agua de desecho, a menos que se adopten importantes medidas.

En una industria noruega, una mezcla próxima al 20 por ciento de astillas de todo el árbol, procedentes de claras de pícea, con materia prima normal, no influyó de modo significativo ni en la calidad aislante del tablero de fibras ni en el proceso de producción (Sellaege y Gislerud 1972).

Ensayos industriales a corto plazo de producción de tableros duros mediante proceso húmedo, con una proporción bastante alta de astillas de todo el árbol procedente de masas mezcladas en aclarado, indican que ni el rendimiento ni la demanda biológica de oxígeno, ni la resistencia

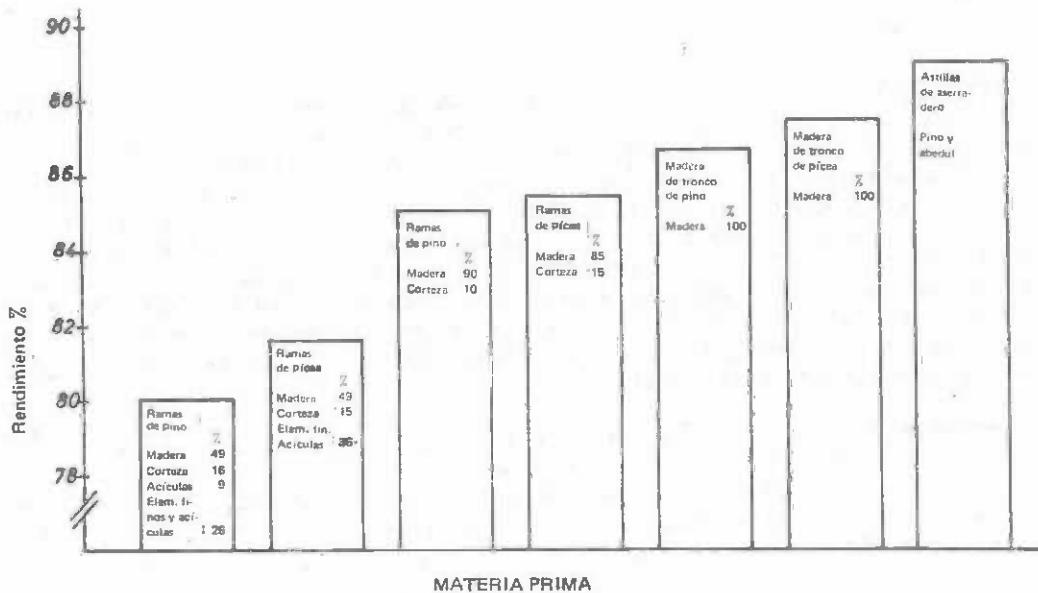


Fig. 75. Rendimiento de distintas materias primas (desfibrado en laboratorio).

del tablero, difieren apreciablemente del producido mediante costeros sin descortezar. Sin embargo, un elevado contenido de arena u otro material abrasivo ocasionó problemas de producción. Se recomienda el tamizado de las astillas y la eliminación de los elementos finos (Helge y Rödland 1976). Un estudio bibliográfico realizado por Nordlinder y Tufvesson (1975) demuestra que las astillas de todo el árbol, pueden ocasionar además algunos problemas en la manipulación y el tamizado y también algún estallido en el desfibrado, pero aparte de esto las astillas parecen ser una materia prima aceptable.

En Norteamérica algunas industrias de tableros de fibra utilizan astillas de todo el árbol como parte de la materia prima. Una compañía produce anualmente como producto secundario más de 90 000 toneladas de extracto de hemicelulosa para alimentación del ganado (Hakkila 1975b, Galloway 1976).

En general parece que la industria de tableros de fibra puede utilizar como materia prima astillas de todo el árbol, pero pueden necesitarse algunos equipos menores y modificaciones del proceso. La disponibilidad y coste de otras materias primas comparadas con la de las astillas de todo el árbol serán factores decisivos en su utilización.

#### Pasta y papel

Puede obtenerse pasta de astillas de todo el árbol mediante el proceso kraft y hay indicaciones de que puede obtenerse también una buena calidad de pasta de alto rendimiento (65-70 por ciento) a partir de algunas especies de matorral. El rendimiento tamizado de astillas de todo el árbol depende de la especie y de la proporción corteza/madera (Chase y otros, 1971, 1973).

Respecto a las coníferas, la Fig. 76 muestra el rendimiento de distintos componentes del árbol para el pino silvestre. Se obtienen resultados similares para la pícea de Noruega. Al revés que con las acículas de pino, las acículas de pícea son difíciles de cocer y desfibrar. El consumo de álcali (Fig. 77) viene determinado en gran medida por la cantidad de material disuelto (Eskilsson y Hartler 1973).

Las propiedades de resistencia de las pastas a partir de corteza, ramillas y acículas, son reducidas, y además, estas componentes dan lugar a problemas específicos de drenaje, blancura y estabilidad de ésta. De acuerdo con Eskilsson (1974) el valor positivo de estas componentes es tan pequeño en la elaboración de pasta que no cubrirá los costes del proceso y será una circunstancia necesaria su eliminación, al menos parcial.

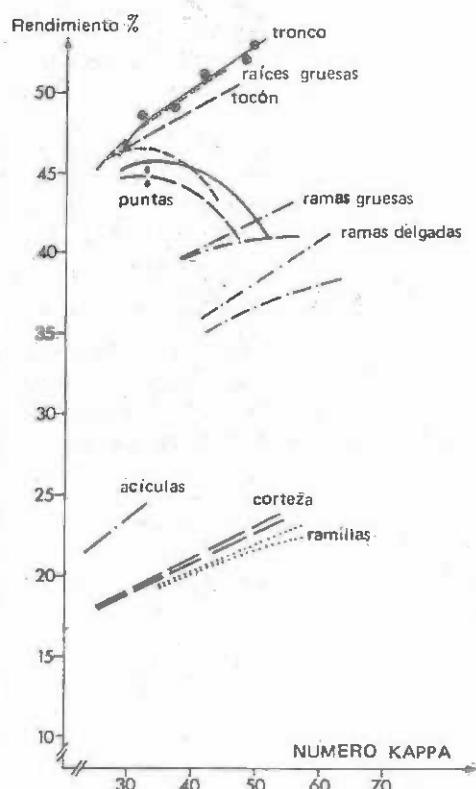


Fig. 76. Rendimiento total y tamizado en el proceso al sulfato de los distintos componentes del árbol. Para cada componente la curva superior representa el rendimiento total y la inferior el rendimiento tamizado.

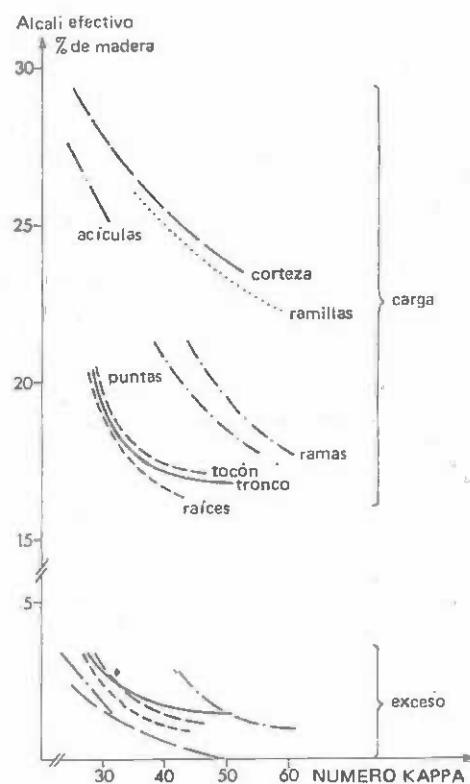


Fig. 77. Consumo de álcali para alcanzar un cierto número Kappa en el proceso al sulfato de distintos componentes de los árboles de pino. Las curvas superiores representan la carga y las inferiores, el exceso de álcali.

Basados en estudios precisos de laboratorio con *Pinus resinosa*, con *Pinus taeda*, y con *Acer saccharum*, Marton y otros (1975) plantean la cuestión de si está justificado el utilizar ramillas y ramas finas, que contienen una alta proporción de corteza. Estos componentes contribuyen sólo con una pequeña cantidad de pasta de calidad inferior y, además, el follaje y la corteza, —particularmente la corteza de las ramas finas— contienen bastante más ceniza que la madera. Algunos de los minerales de las cenizas se presentan como cristales abrasivos, ocasionando probablemente un desgaste mayor de la astilladora y del equipo de elaboración de la pasta. Los experimentos de laboratorio indican también que un proceso de tratamiento de dos etapas oxígeno-álcali podría dar rendimientos mayores de pasta de todo el árbol que el proceso kraft. Excepto en lo que se refiere a la resistencia al desgarre de las pastas de pino, el cocido con oxígeno produjo también pastas con propiedades comparables o algo mejores que el proceso kraft.

Basado en estudios detallados de elaboración de pastas, Virkola (1976a, b) también suscita la cuestión de la utilización de astillas de todo el árbol y especialmente de las ramas de coníferas como materia prima para pastas de alta calidad. La fuerte contracción de la pasta de madera de ramas es una de las principales limitaciones para su uso.

Los experimentos procedentes de estudios de elaboración de pasta en el laboratorio con diferentes componentes de los árboles y con astillas de todo el árbol, así como la experiencia industrial con estas astillas han sido recopiladas por Stade (1975).

Las principales dificultades que surgen o pueden surgir en las industrias que utilicen astillas de todo el árbol son:

Problemas durante la manipulación y el almacenaje, obstrucciones en depósitos y transportadores, y una mayor degradación de las astillas durante el almacenaje. Los problemas más graves suelen tener relación con la operación del digestor continuo; por ejemplo, obstrucciones y taponamiento de los tamices. Con frecuencia es obligada la eliminación, mediante tamizado, de los elementos finos y de las astillas demasiado grandes, para reducir estos problemas de almacenaje y manipulación;

Rendimiento y capacidad reducidos. Como el rendimiento en pasta de las astillas de todo el árbol, basado en la carga del digestor, suele ser inferior al de las astillas ordinarias, ello reducirá las producciones de la industria. Otros factores importantes que limitan la producción serán, con frecuencia, la mayor necesidad de limpieza de la pasta y los inconvenientes en el sistema de recuperación;

Mayor consumo de productos químicos en el proceso y en el blanqueado;

Mayor formación de costra en el sistema del digestor y aumento de los depósitos de brea, que exigen más mantenimiento y productos químicos;

Mayor ritmo de desgaste del equipo ocasionado por la arena y otros materiales parecidos;

Menor calidad de la pasta, como resultado de un contenido mayor de polvo y de fibras que dan menos resistencia al papel.

En general, las astillas de todo el árbol sólo han sido aceptadas comercialmente, hasta ahora, en Norteamérica, donde alrededor de 80 industrias de pasta -principalmente industrias de pasta kraft, aunque también algunas industrias semiquímicas- utilizan este tipo de materia prima. La proporción de astillas de todo el árbol varía, en la mayoría de los casos, desde un pequeño porcentaje hasta el 25 al 30 por ciento, siendo raramente superior. La mayoría de las astillas de todo el árbol son de frondosas. En Finlandia, tres industrias de pasta al sulfato comenzaron en 1975 la utilización de astillas de todo el árbol.

Los aspectos económicos de la utilización de astillas sin descortezar y de astillas de todo el árbol, para la producción de pasta y papel, se analizan por Horn y Auchter (1972), Auchter y Horn (1973), Keays (1974), Keays y Hatton (1975), y Moran (1975). No puede darse todavía una conclusión sencilla y única, pero están en marcha programas de evaluación. Algunas de las consecuencias económicas pueden determinarse bastante bien basándose en las experiencias de laboratorio e industriales mientras que otras sólo pueden adivinarse. Mucho depende de los factores peculiares de la industria específica, como el proceso de producción y el equipo, de los productos finales y, no en menor medida, de la situación oferta/demanda. El uso de astillas de todo el árbol puede ser beneficioso para algunas industrias y en algunas situaciones, aunque puede ser muy antieconómico para otras industrias.

Aunque las astillas de todo el árbol pueden utilizarse como única materia prima o mezcladas con astillas tradicionales, el futuro de las astillas de todo el árbol para la elaboración de pasta depende principalmente del progreso que se logre en la mejora de la calidad de las astillas antes de elaborar la pasta.

#### VI. 2.9.1 Astillas procedentes de masas forestales de turno corto

El tratamiento forestal de turno corto es un procedimiento que se está explorando como medio de incrementar la oferta de materia prima para los tableros de partículas, tableros de fibra, pasta, algunos productos químicos, y combustible. Esto puede incluir tanto la

utilización de las masas forestales existentes como el uso de técnicas intensivas de ordenación análogas a las de la agricultura; es decir, especies seleccionadas, árboles mejorados, preparación del sitio, plantación en línea, fertilización y astillado de todo el árbol. Las frondosas pueden aprovecharse después de unos cuantos años (mini-turno) con métodos de ensilado altamente mecanizados, o pueden desarrollarse los árboles en 6 a 20 años (turno medio), antes de su aprovechamiento. Las mayores desventajas de utilizar árboles jóvenes, de pequeño tamaño, para productos de pasta y papel, obedecen al alto contenido de corteza y a que las fibras son bastante cortas. Esto es más pronunciado cuanto más jóvenes son los árboles; sin embargo, las variaciones son grandes para distintas especies.

El rendimiento en pasta y la mayoría de las propiedades de resistencia de ésta son lógicamente inferiores a las de la procedente de árboles más viejos, pero puede ser aceptable, sin embargo, para diversos usos. Los aspectos económicos del tratamiento forestal a turno corto -y en particular del mini-turno intensivo- son inciertos.

Hay informes en los que se pueden encontrar opiniones, datos y referencias sobre la utilización de astillas procedentes de tratamientos forestales en turno corto, por ejemplo Chase y otros (1971, 1973), Dutrow (1971), Ribe (1974), Jett y Zobel (1975), Lönnberg (1975a, b, 1976a, b, c), Lönnberg y otros (1975), Brown (1976), Einspahr (1976), y Rose (1976).

#### VI. 3 Determinación de la cantidad y calidad de las astillas de madera

Cuando se miden astillas de madera, deben tenerse en cuenta dos aspectos principales: 1) la precisión de la determinación del valor y 2) el coste de la determinación. Los factores más importantes que determinan el valor para la industria de fibras son la cantidad de materia seca y la calidad general de las astillas.

##### VI. 3.1 Cantidad

La cantidad puede determinarse en volumen o en peso.

###### VI. 3.1.1 Volumen

La determinación del volumen aparente suele ser relativamente sencilla. En transporte por camión o por ferrocarril, la superficie de la base del contenedor de transporte es normalmente conocida, y por tanto la medición se limita a estimar la altura media de la carga de astillas (o la distancia desde el borde superior del contenedor hasta el nivel de las astillas). El volumen de las pilas de astillas puede determinarse ya sea mediante medición directa de la pila o a partir de fotografías aéreas.

Sin embargo, el volumen aparente sólo da una determinación aproximada de la cantidad de materia seca de las astillas. La variación del volumen sólido relativo, junto con la variación de la densidad en seco, componen la variación en materia seca por unidad de volumen aparente.

El volumen sólido relativo depende de varios factores, tales como las características de las astillas y el método de astillado, método de carga, método de transporte, distancia y clima.

Aumentando el grueso y la longitud de las astillas, dentro de ciertos límites, (5 - 25 mm de longitud), el volumen sólido relativo aumenta algo (ver también la sección VI. 2.4 referente a la densidad aparente). Las astillas tamizadas tienen un volumen sólido relativo inferior que las astillas sin tamizar, siendo la diferencia aproximadamente del dos por ciento. También tienen lugar variaciones en las astillas procedentes de los distintos tipos

de astilladoras. Las astillas procedentes de molinos de martillos, de sierras y canteadoras con astilladoras tienen normalmente el menor volumen sólido relativo; las procedentes de astilladoras de disco tienen el mayor volumen sólido relativo, mientras que las procedentes de astilladoras espirales están en una posición intermedia. Las cuchillas gastadas para el astillado reducen tanto la calidad como el volumen sólido relativo de las astillas.

El volumen sólido relativo es mayor cuando las astillas se cargan soplándolas que cuando se dejan caer desde un transportador mecánico o silo. En caída libre la compactación varía también con la altura de caída.

La compactación durante el transporte se calcula normalmente en tanto por ciento, basándose en los niveles de las astillas antes y después del transporte. La Fig. 78 ofrece un ejemplo de dicha compactación (Uusvaara 1969). En el transporte por camión la mayor parte de la compactación tiene lugar durante los primeros 20 a 40 km. En una distancia de 100 km de transporte por carretera la compactación es del orden del 4 al 10 por ciento. Dicha compactación es del 1 al 3 por ciento mayor en el remolque que en el camión y mayor en el transporte por carretera que por ferrocarril.

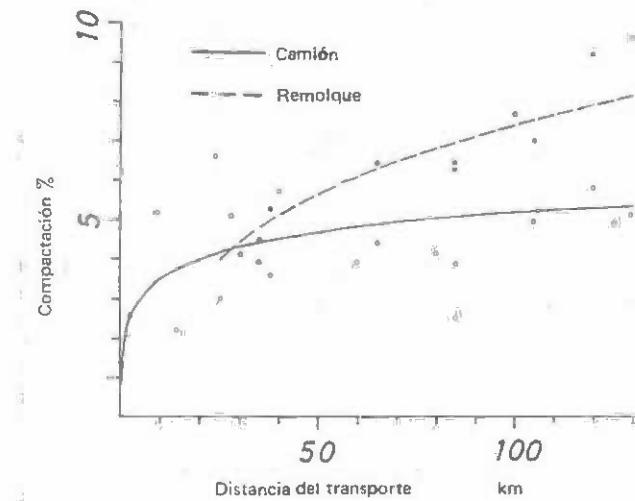


Fig. 78. Compactación de cargas de astillas como consecuencia de la distancia de transporte.

El clima influye también en la compactación, que es normalmente mayor en verano que en invierno, ocasionada en parte porque las astillas se congelan en bloque en el silo o durante el transporte (Uusvaara 1972). Incluso en el contenedor la compactación es desigual, siendo mayor en los lados que en el centro, Fig. 79 (Nylander 1972). La compactación aumenta el volumen sólido relativo, y el aumento medio parece ser aproximadamente del 1,5 al 2,5 por ciento para el transporte por carretera, es decir de 0,37 a 0,39.

El volumen sólido relativo del serrín es inferior en un 2 a un 5 por ciento al valor correspondiente para astillas de aserradero. Las mediciones realizadas en Finlandia de cargas de serrín sobre camión indican que tienen un volumen sólido relativo medio de 0,35 en invierno y de 0,387 en verano a la llegada a la industria (Uusvaara 1974).

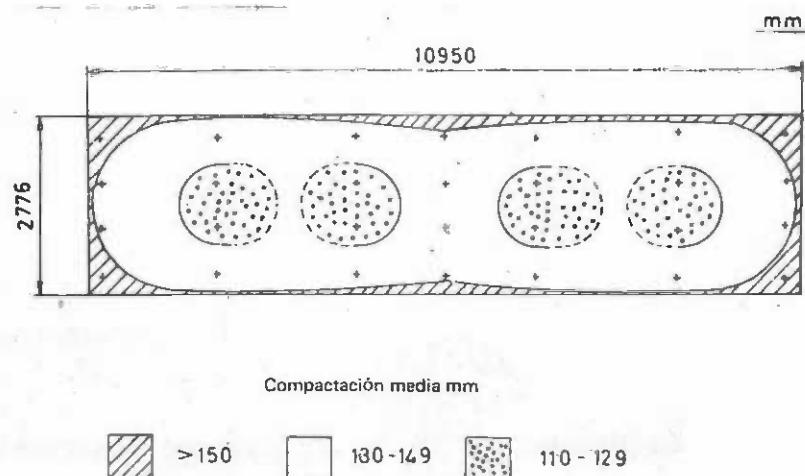


Fig. 79. Compactación media después de unos 675 km de transporte en vagones de ferrocarril.

Debido al hecho de que muchos de los factores antes mencionados son específicos para cada suministrador, las variaciones del volumen sólido relativo son con frecuencia relativamente pequeñas para cada suministrador individual, pero pueden ser muy considerables entre distintos suministradores. En el Cuadro 2 (Nylander 1972) se muestran las investigaciones suecas que indican la variación del volumen sólido relativo de astillas de aserradero.

Cuadro 2. Coeficiente de variación entre cargas procedentes del mismo suministrador y entre distintos suministradores (64 cargas y 5 suministradores distintos),

	Dentro de los mismos suministradores	Entre distintos suministradores
Volumen sólido relativo (volumen sólido/volumen aparente)	0,4 - 2,8 %	5 - 6 %
Contenido de materia seca (materia seca/volumen aparente)	0,4 - 2,9 %	6 - 9 %

En una pila de astillas, el volumen sólido relativo de astillas tamizadas es normalmente de 0,47 a 0,48 cuando se transporta neumáticamente. Habrá partes con la carga de astillas más suelta, especialmente en los bordes, donde se han movido mecánicamente.

La densidad básica de las astillas varía tanto con la especie y con las mezclas de especies, con la edad del árbol, con el ritmo de crecimiento, etc. que no es posible dar unas cifras generales de confianza.

#### VI. 3.1.2 Peso

Con este método la unidad de transporte se pesa antes y después de descargar y la diferencia constituye el peso de la carga de astillas (Fig. 80).

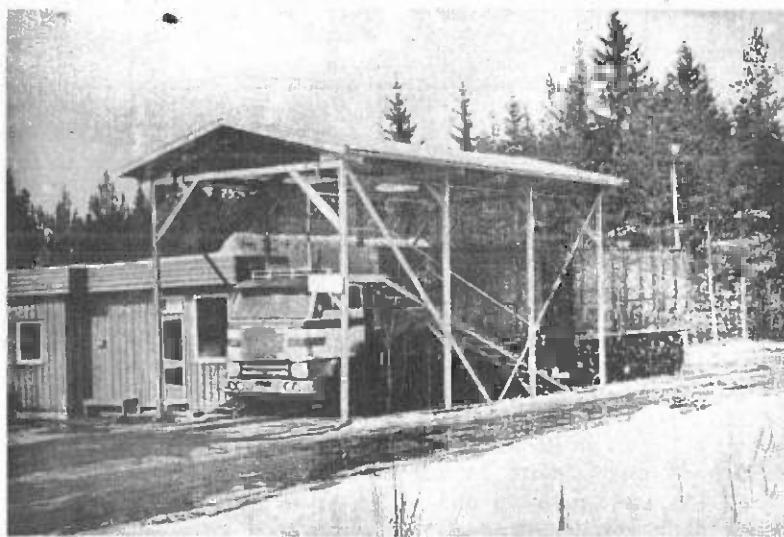


Fig. 80. Determinación del peso de un cargamento de astillas.

En el transporte por barco se mide éste antes y después de colocar la carga a fin de determinar el peso total de las astillas en verde. Se hacen ciertas deducciones de este peso en verde, por la lluvia que entra en la bodega durante la carga, el agua incorporada en el sistema de transporte neumático y el exceso de polvo, corteza y madera podrida (Warren 1972).

El contenido de humedad de una carga de astillas depende de la especie de madera, de la estación en que se hace la explotación maderera y del tiempo de almacenaje y sus condiciones. Las variaciones en el contenido de humedad pueden ser, por ello, muy grandes, tanto en un mismo suministrador como entre distintos suministradores.

Como es imposible determinar el porcentaje de materia seca o el contenido de humedad de las cargas completas, se utilizan técnicas de muestreo.

Para astillas de aserradero, si se desea un valor medio de la humedad de la carga de un camión con un margen de un 2 por ciento, deben tomarse de 5 a 15 muestras de dos litros de distintas partes de la carga, bien mezcladas y el contenido de humedad se determina sobre la base de esta muestra general. En el caso de grandes entregas que proceden de un solo suministrador, debe ser suficiente un cierto número de muestras al azar de las diversas partidas (Nylander 1972).

En embarques de astillas de madera procedentes de Nueva Zelanda (principalmente coníferas exóticas y hayas nativas), se hacen mediciones en el momento de cargar el barco. Cada 15 minutos, durante el período de carga de 50 a 60 horas, se toman muestras de 5 kg de astillas, utilizando para tal fin un dispositivo de muestreo que puede empujarse, bajo la corriente de astillas que cae hacia el interior del alimentador que suministra el sistema de transporte de aire. Las muestras se colocan en unos sacos de plástico numerados y se cierran.

con elásticos de goma hasta que se necesitan para las pruebas. Por medio de un reductor de muestras de astillas (Fig. 81), se obtienen submuestras de 500 g y de 1 250 g, desecharándose el resto.

Las muestras de 500 g se utilizan para la determinación del contenido de madera seca mientras que las muestras de 1 250 g se utilizan para determinar la calidad de las astillas.

Hay normalmente más de 200 muestras de astillas que se secan en estufa durante 16 horas a 105° en contenedores de aluminio ajustados para el mismo peso a fin de facilitar el procedimiento de pesado y cálculo. El coeficiente de variación del contenido de madera seca es aproximadamente del 4 por ciento, de modo que los límites de confianza del 90 por ciento, para la media de un embarque, son aproximadamente  $\pm 0,5$  por ciento del resultado medio. De este modo, debido a la variación en el contenido de madera seca, la inseguridad en un embarque individual es del orden de  $\pm 40$  unidades "bone dry" (Warren 1972).

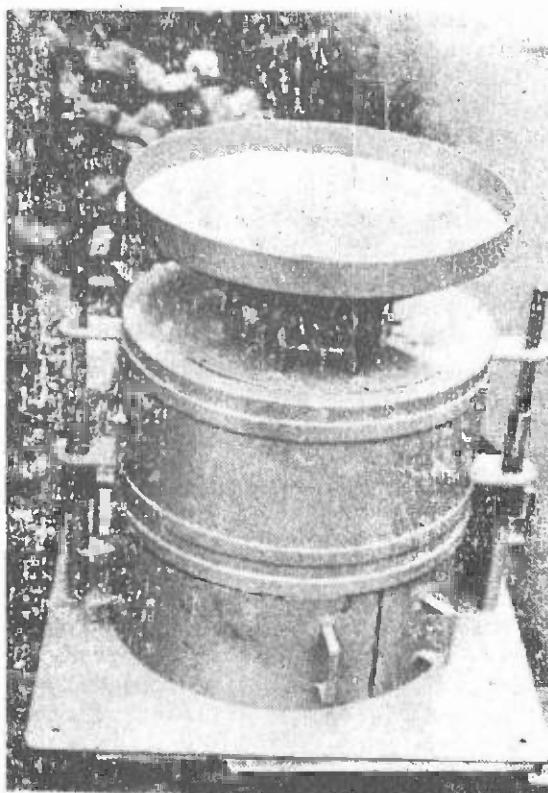


Fig. 81. Reductor de muestras de astillas.

La determinación de la humedad mediante secado en estufa y pesado es un método sencillo y seguro con una exactitud que está normalmente entre + 1,5 y - 0,7 por ciento. Una razón principal de la estimación por exceso del contenido de humedad en astillas muy ricas en extractos, se debe a la evaporación de los componentes más volátiles.

Entre otros muchos principios y métodos de determinación de la humedad adecuados para el comercio de astillas, los métodos que parecen ser muy prometedores son el de la capacidad y el nuclear (neutrones y rayos gamma). En algunas industrias de pasta se instalan medidores continuos de astillas y de humedad para una mejor contabilidad de los costes y control del digestor. Un sistema discontinuo, pero automático, para medir la humedad de las astillas que se aproxima a la exactitud del secado a la estufa, lo describen Freikschat y otros (1974) y Wilhelmsen y otros (1976).

## VI. 3.2 Calidad

En la producción y comercio de astillas, la calidad se determina más o menos regularmente. Como la prueba de elaboración de pasta se considera normalmente demasiado pesada y costosa, las pruebas de calidad rutinarias se limitan sobre todo a investigaciones sobre las propiedades de las astillas.

El análisis de las dimensiones de las astillas se hace normalmente mediante tamizado. Se utilizan distintas clases de equipos de tamizado, siendo el método más corriente el tamizado mediante bandejas con orificios circulares (Fig. 82). El clasificador de astillas de William, aunque trabaja por tamaños, no hace diferencias entre la longitud, la anchura o el espesor de las astillas.

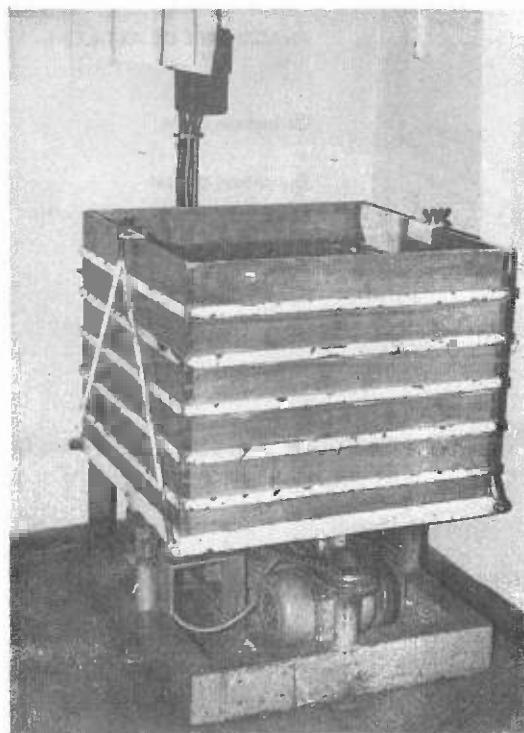
Un método sueco que incluye el cribado mediante ranuras (Fig. 83) se considera más adecuado, especialmente con astillas para el proceso kraft, porque las separa también de acuerdo con su espesor nominal (Edberg y otros, 1971, Hartler y Stade 1975). Si la proporción de astillas de dimensión excesiva, de astillas delgadas o de elementos finos y polvo, está por encima de unos límites acordados, esto reducirá el precio de las astillas. Mediante otros acuerdos, puede deducirse del peso de la carga la proporción correspondiente al peso excesivo de tales fracciones.

Un procedimiento canadiense para analizar la calidad de las pastas lo describe Hatton (1975a, b, 1976). La evaluación cualitativa incluye dos etapas distintas: 1) Separación mecánica de las astillas en cinco fracciones de tamaño (Fig. 84), y 2) clasificación manual de las tres fracciones mayores en cinco fracciones. Esto da en total siete fracciones: Excesivamente grandes, astillas aceptables, corteza, nudos, madera podrida, astillas delgadas y elementos finos. Cada etapa requiere unos 30 minutos de trabajo; para análisis que precisan solamente el tamizado y la separación de la corteza, el consumo del tiempo es de unos 40 minutos.

El contenido de corteza y el contenido de madera podrida se determinan en la mayoría de los análisis mediante clasificación a mano. El no tener en cuenta la corteza interior que se adhiere a la astilla, a menos que la misma pieza tenga también algo de corteza exterior, simplifica y acelera la determinación de la corteza. El contenido de corteza y pudrición se determina en algunos lugares en tanto por ciento del peso seco y en otros lugares sobre la base del peso en verde. Si la proporción de corteza excede de ciertas especificaciones, digamos un 1 por ciento, la proporción en peso del exceso se deduce del peso de las astillas cargadas. En otros contratos, el precio de las astillas se reduce en función del contenido de corteza. Se utilizan sistemas análogos para las astillas podridas.

La determinación de la calidad del serrín se hace normalmente mediante tamizado. Como ejemplo, algunas fábricas finlandesas de papel pagan el precio total si el serrín contiene menos del 35 por ciento de la fracción de cribado inferior a un mm. Al aumentar el contenido de esta fracción, el precio se reduce hasta llegar a pagar el valor como combustible cuando la fracción de elementos finos constituye el 60 por ciento o más. El precio se reduce también al aumentar el contenido de corteza y otras impurezas por encima de un cierto límite admisible.

En el almacenamiento de algunas maderas sin descortezar, como la pícea, los taninos de la corteza pueden ocasionar molestias en el proceso de elaboración de pasta al sulfito. Tales daños del tanino pueden localizarse por las reacciones de color (reacción del ácido metanolsulfúrico, la reacción del sulfato férrico, o la reacción nitrosa).



ELEMENTOS PARA TAMIZAR:

Diámetro de los orificios mm

32  
25  
19  
13  
6

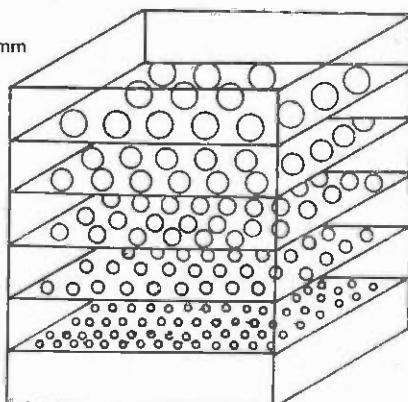


Fig. 82.

Clasificador de astillas de William con una ilustración de los elementos para tamizar. Se utilizan también elementos de tamizar normalizados con otros diámetros de orificios. Ver TAPPI (1954).

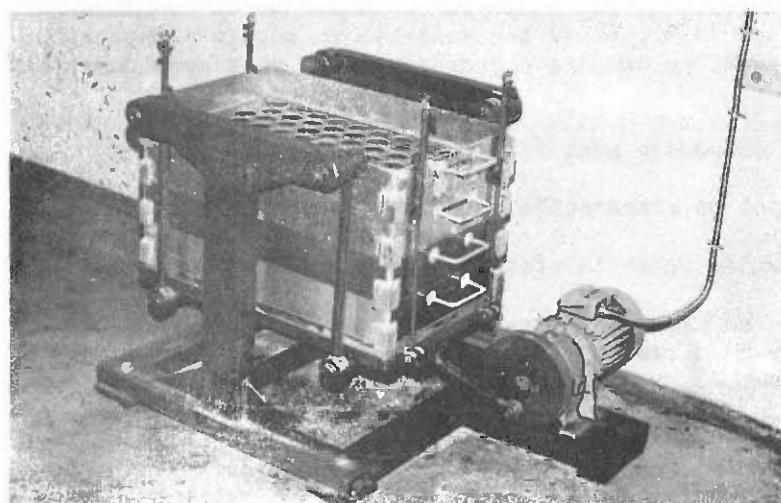


Fig. 83.

Clasificador sueco de astillas con tamizado de ranuras. Ilustrado con los elementos para tamizar y clases de astillas.

ELEMENTOS  
PARA TAMIZAR:

Orificios, diámr. 45 mm

Ranuras, abertura 8 mm

Orificios, diámr. 7 mm

Orificios, diámr. 3 mm

CLASIFICACIONES

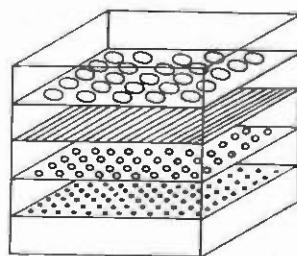
Astillas demasiado grandes

Astillas demasiado gruesas

Astillas aceptadas

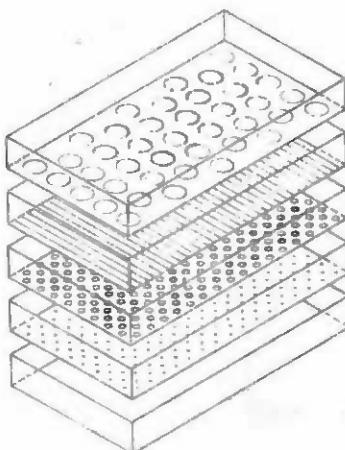
Astillas pequeñas

Elementos finos



ELEMENTOS PARA TAMIZAR:

- Tamiz con orificios redondos de 45 mm.
- Tamiz con ranuras de 10 mm
- Tamiz con orificios redondos de 7 mm
- Tamiz con orificios redondos de 3 mm
- Bandeja de fondo



FRACCIONES DE ASTILLAS:

- Demasiado largas,
- Demasiado gruesas
- Aceptadas
- Astillas delgadas
- Elementos finos

Fig. 84. Elementos para tamizar y fracciones de astillas WFPL.

VI. 4 Almacenamiento de astillas

VI. 4.1 Introducción

Existen varios factores, solos o combinados, que influyen en la necesidad de almacenamiento de madera (ver Fig. 85) (Wilhelmsen 1972). Puede ser deseable un cierto almacenamiento de madera, pero normalmente en cantidades no demasiado grandes ni por un tiempo demasiado prolongado.

Las razones para el almacenamiento de madera son:

Presión fácil sobre hombres y equipos en comparación con las "operaciones violentas";

El almacenaje equilibra las diferencias entre la oferta y la demanda de la industria;

La necesidad de contar con reservas en caso de oferta insuficiente. La desigualdad del suministro puede ser ocasionada por inconvenientes estacionales o climáticos, limitaciones e interrupciones en el sistema de transporte, conflictos laborales, etc.

El almacenamiento puede también estar basado en razones financieras y económicas, para proteger al productor contra los cambios en los precios de la madera, para evitar que la madera sea objeto de depreciación, para acumular capital o incluso para obtener una estructura más favorable del ingreso durante un cierto período;

Mejora de la calidad, como por ejemplo, en la producción de pasta al sulfito;

Los inconvenientes de almacenar la madera son los siguientes:

Pérdida de madera y extractos;

Costes de transformación más altos (productos químicos, energía eléctrica);

Disminución del rendimiento en pasta y productos secundarios;

Inferior calidad de los productos finales;

Más manipulación y mayores costes de ésta;

Inmovilización de capital y mayores costes de interés.

El almacenamiento de astillas al aire libre en la industria de pasta comenzó en la costa occidental de los Estados Unidos en los años cincuenta. Desde entonces el almacenaje de astillas ha aumentado fuertemente debido sobre todo a las ventajas económicas en la manipulación (sistema de transporte neumático) en comparación con la madera en rollo, y también debido al mayor uso de astillas procedentes de la industria mecánica de la madera (aserraderos e industrias de chapas y tableros contrachapados).

Como esta forma de almacenamiento (Fig. 86) ha ganado aceptación, los problemas e inconvenientes que lo acompañan han dado lugar a numerosas investigaciones.

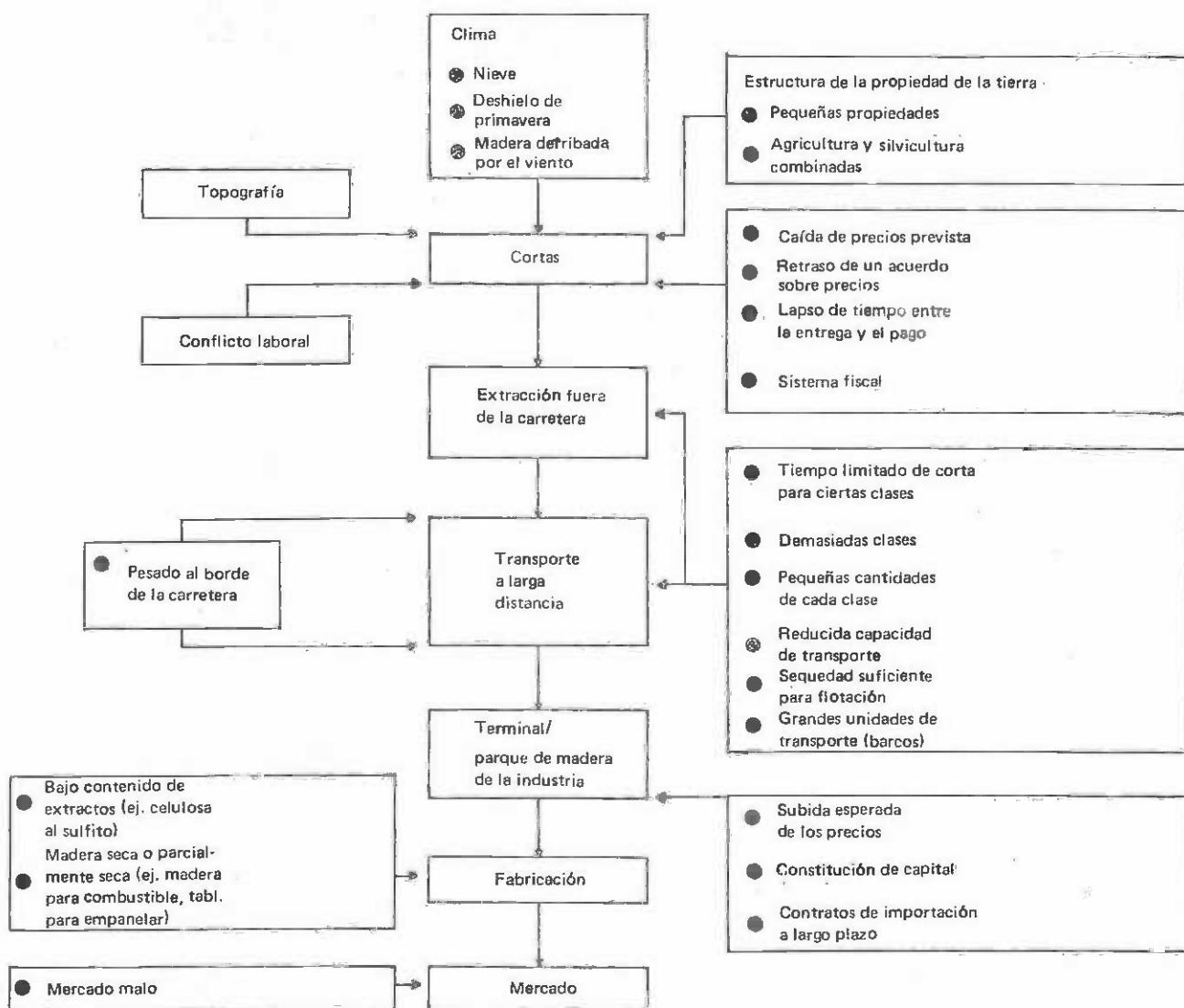


Fig. 85. Causas que contribuyen al almacenamiento de madera.

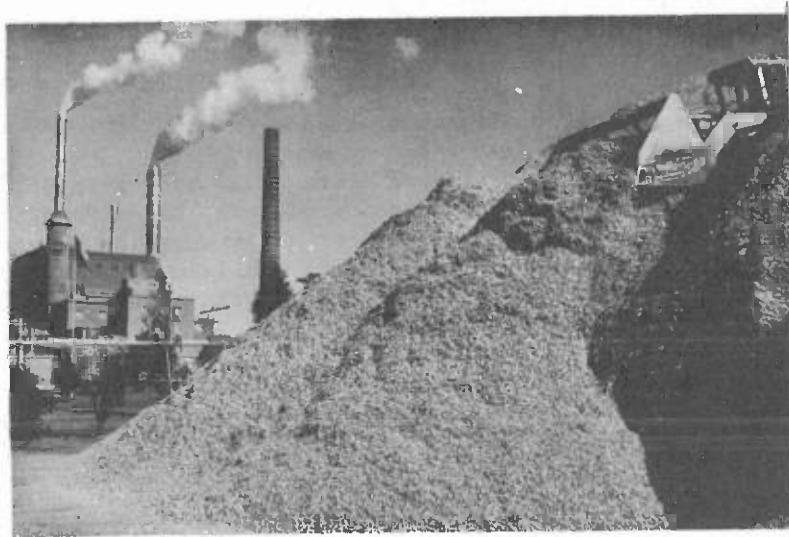


Fig. 86. Almacenamiento de astillas al exterior en una industria sueca de pasta al sulfato.

Al ir reduciéndose las unidades de madera en tamaño desde las trozas a las astillas, la relación superficie-volumen aumenta considerablemente y el efecto amortiguador de una masa sólida de madera se reduce correlativamente. Esto ocasiona que el ambiente ejerza una influencia mucho más pronunciada, principalmente debida a la actividad microbiológica y química.

Se sabe relativamente poco sobre el almacenamiento de astillas de todo el árbol y hasta ahora pocos informes han tratado del almacenamiento de astillas en las condiciones tropicales.

Los efectos del almacenamiento discutidos aquí van a tratar sobre todo de las tendencias generales. Se producen grandes variaciones, debidas a distintos factores, tales como la especie de madera, el clima, el tamaño de la pila y el método de erección de ésta. Una bibliografía completa sobre los cambios en la calidad y el valor de la materia prima madera durante el aprovechamiento, el transporte y el almacenamiento ha sido recopilada por Weiner y otros (1974). El almacenamiento de astillas es analizado por Hajny (1966).

#### VI. 4.2 Temperatura

La temperatura de una pila de astillas depende en gran medida de la temperatura del aire y de la precipitación, tamaño y compactación de la pila, y el contenido y distribución de corteza y elementos finos. En las partes centrales de la pila la temperatura normalmente se eleva de 1 a 3°C por día durante las primeras semanas de almacenamiento. Cuando el almacenamiento se prolonga, permanece constante durante algún tiempo y luego disminuye lentamente. En pilas de astillas estudiadas en Suecia y Norteamérica es normal una temperatura máxima entre 60° y 70°C para pilas levantadas en verano. En las almacenadas durante el invierno, la temperatura máxima que se ha medido ha sido alrededor de 50°C, variando la temperatura normalmente entre 20° y 45°C. La temperatura de las partes externas de una pila de astillas es menor que la de la parte central y está más influida por la temperatura del ambiente. La Fig. 87 (Bergman 1972a) y la Fig. 88 (Dillner 1972) muestran ejemplos de temperaturas de pilas de astillas. En condiciones tropicales, la temperatura máxima se alcanza enseguida después de acumular la masa de astillas. La Fig. 89 muestra los datos sobre temperaturas en pilas de astillas almacenadas en el Noroeste de Papua Nueva Guinea. La madera procedía de bosques húmedos de tierras bajas y cada pila era cónica, alrededor de 5 m de alta y con una base de 12 m de diámetro (Harries y otros, 1973).

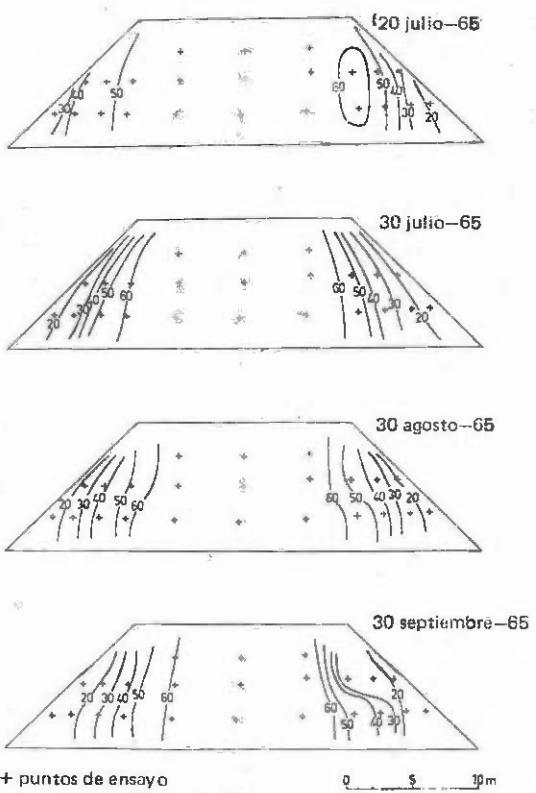


Fig. 87. Isotermas ( $^{\circ}\text{C}$ ) en una pila bien compactada, de astillas de pino, procedentes de aserradero, almacenadas durante tres meses de verano en Suecia.

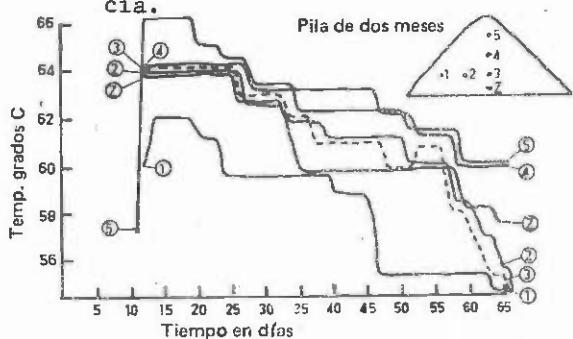


Fig. 88. Ejemplo de la evolución de la temperatura en una pila de astillas durante el almacenamiento de invierno, en Suecia.

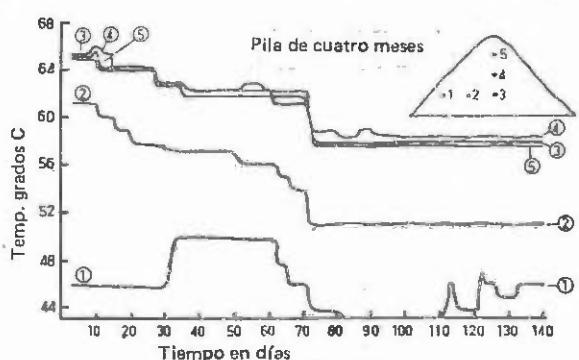


Fig. 89. Temperaturas internas en pequeñas pilas de astillas almacenadas en condiciones tropicales.

Ejemplo de la evolución de la temperatura durante el almacenamiento de invierno (Gruvön 1968)

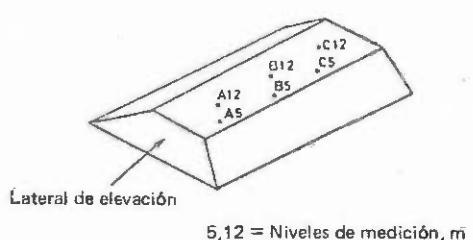


Fig. 90. Introducción de aire caliente en la pila mediante tubos de plástico en el momento de levantar la pila.

#### VI. 4.5 Decoloración de las astillas

Las astillas se decoloran más o menos durante el almacenamiento, debido a la actividad microbiológica y a las reacciones químicas en la pila. Una decoloración importante la ocasionan tanto los hongos del azulado, como los hongos de decoloración parda y también algunos ascomicetos termofílicos. La decoloración es con frecuencia extensiva en las zonas más calientes de la pila, con un pH bajo. Además, se puede occasionar decoloración por la contaminación del aire, como por ejemplo las cenizas.

#### VI. 4.6 Microorganismos y sucesión en una pila de astillas

Los tipos básicos de microorganismos aislados en pilas de astillas de madera son:

Bacterias

Fermentos

Hongos colorantes y mohos

Hongos de pudrición

Las bacterias y fermentos se aislan en grandes cantidades. Como se considera que tienen una importancia secundaria en la pérdida de materia seca, no han sido estudiados en detalle.

Los hongos colorantes y de moho que se encuentran en las pilas de astillas, están incluidos en un gran número de diferentes ascomicetos, hongos imperfectos y ficomicetos. Varios de éstos pueden tanto pudrir la madera como occasionar su decoloración. Entre los aislados corrientemente están: Aspergillus fumigatus, Aureobasidium pullulans, Ceratocystis spp., Chaetomium spp., Penicillium spp. y Phialophora spp.

Los hongos de pudrición se dividen frecuentemente en grupos de acuerdo con el deterioro de la madera: pudriciones blancas y pudriciones pardas. Sin embargo, algunos hongos de pudrición son difíciles de situar dentro de estas categorías generales. Los hongos de pudrición parda, que pertenecen a los basidiomicetos, han sido aislados muy raramente en las pilas de astillas, dentro de un período normal de almacenaje. Los hongos de pudrición blanca, también basidiomicetos, son mucho más importantes en la pudrición de las astillas de madera. El hongo de pudrición blanca más común en las pilas de astillas de Suecia es el Chrysosporium lignorum, que puede desarrollarse incluso a una temperatura de unos 50°C.

Información detallada y referencias relativas a microorganismos en pilas de astillas almacenadas, las dan Nilsson (1972) y Zielinski (1972).

La especie de madera, la historia de la madera antes del astillado, el tamaño de las astillas, el tamaño de la pila, la temperatura, las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> y, no en menor medida, la interacción de los distintos microorganismos, son todos factores importantes que determinan la microflora. La pila de astillas es un sistema complejo, en el cual varios de estos factores están relacionados entre sí.

La temperatura es una de las variables más importantes. La Fig. 93 muestra las relaciones de temperaturas de los distintos grupos de hongos y da también una idea general de la distribución de los hongos en una pila de astillas (Nilsson 1972).

Es cierto que con el aumento del tiempo de almacenaje y el cambio de la temperatura, la pila de astillas sufre un cambio drástico o sucesión de la microflora (Smith 1972).

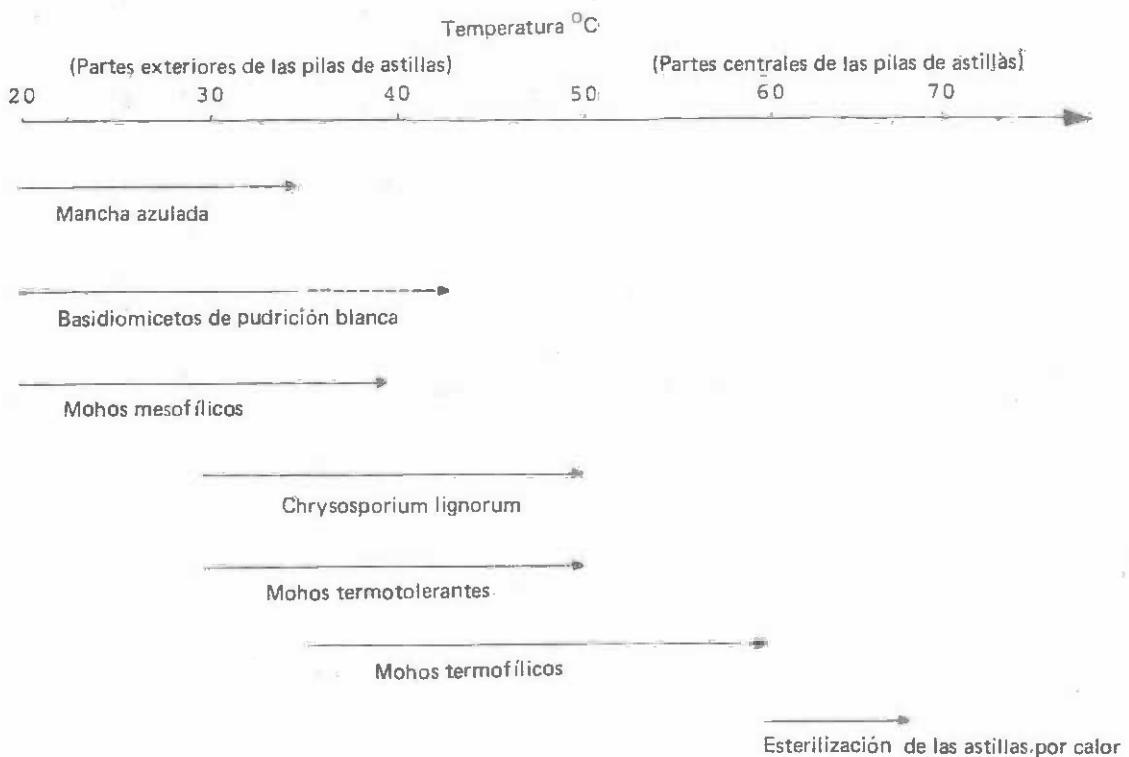


Fig. 93. Relaciones de temperaturas de algunos grupos de hongos aislados en pilas de astillas.

#### VI. 4,7 Pérdida de madera y resina

El metabolismo enzimático en la fase inicial de almacenaje, las reacciones microbiológicas y las reacciones químicas a temperaturas más elevadas son responsables de la mayor parte del deterioro de las pilas de astillas.

Las pérdidas de madera se determinan como pérdida directa del peso seco o como pérdida de la densidad de la madera. En experimentos se aplican frecuentemente ambos métodos pues los dos están sujetos a cierto error.

Las astillas almacenadas dentro del margen de temperaturas de 20 a 50°C, muestran frecuentemente mayores pérdidas de madera que las almacenadas de 50 a 60°C. En el almacenaje de verano en climas fríos y templados, las partes más extensamente deterioradas se encuentran con frecuencia en los lados de la pila, mientras que en invierno las pérdidas más elevadas de madera tienen lugar en el centro de la pila. Si están implicados hongos termofílicos destructores de madera -y con frecuencia lo están- las temperaturas de unos 50°C son ideales, pudiendo encontrarse también fuertes pérdidas de madera en las partes más calientes de la pila. Dentro de la pila se encuentran, por tanto, grandes variaciones de pérdida de madera, dependiendo en gran medida de los hongos en acción causantes del deterioro. Cuando la temperatura se eleva hasta unos 65°C, la actividad de los hongos es casi nula; sin embargo, las temperaturas elevadas pueden ocasionar el deterioro químico de la madera.

En general, la pérdida de madera para la pila en su conjunto está, como promedio, entre el 0,5 y el 1 por ciento por mes en climas fríos y templados. Un almacenaje prolongado o en climas calientes y húmedos lleva con frecuencia a pérdidas de madera del 0,75 al 3,0 por

ciento por mes. Las frondosas (y particularmente las frondosas blandas) se descomponen en general con más rapidez que las coníferas, aunque las distintas especies de madera presentan distintas resistencias al deterioro microbiológico. Bergman da cifras más detalladas sobre pérdida de madera mediante distintos experimentos de almacenaje de astillas en climas fríos y templados (1972b).

Se ha observado que la compactación de la pila de astillas reduce la pérdida de madera (Bois y otros, 1962).

En Portugal, el almacenaje de astillas de eucaliptos ha dado la pérdida, relativamente modesta, de un 4,3 por ciento de madera después de nueve meses de almacenaje. Astillas de eucalipto sin descortezar dieron una pérdida de madera notablemente inferior, Fig. 94 (Dillner 1972). El almacenaje de astillas de frondosas en pequeñas pilas en un clima tropical (Nueva Guinea) ha producido pérdidas medias aproximadas de madera de un 2 y un 3 por ciento después de dos y cuatro meses de almacenamiento, respectivamente. Las pérdidas de madera fueron mucho mayores cerca de la base y en la superficie exterior de las pilas que en el centro de éstas (Harries y otros, 1973).

Springer y otros (1975a) compararon las astillas de trozas sin descortezar y descortezadas de Alnus rubra. Las pérdidas de madera, de rendimiento en pasta y de la resistencia de ésta fueron esencialmente las mismas para ambos tipos de astillas. Las pérdidas después de seis meses de almacenaje en simuladores de pilas de astillas fueron de tal magnitud que el almacenaje de astillas no sería probablemente practicable sin tratamiento químico. Se informa que en algunos casos las astillas de todo el árbol se han degradado más rápidamente que las astillas de madera descortezada. Dos experimentos escandinavos sobre almacenaje con astillas de todo el árbol, procedentes de árboles jóvenes de pícea, abedul y aliso, indican que puede producirse una degradación bastante rápida de las astillas. El follaje y la corteza mostraron unas pérdidas en peso seco considerablemente más elevadas que la madera (Gislerud 1974, 1976).

En general no se encuentran cambios, o éstos son sólo relativamente pequeños, en cuanto al contenido de celulosa, hemicelulosa o lignina, durante un almacenaje normal de astillas. Sin embargo, después de 24 meses de almacenamiento de astillas de pino y pícea, los análisis demuestran que el arabinogalactano, el xilano y el glucomanano se deterioran fuertemente. Muestras de astillas que dan un bajo rendimiento de pasta habían aumentado también considerablemente la solubilidad en agua caliente y en sosa cáustica al 1 por ciento (Hatton y Hunt 1972).

El contenido de resina disminuye de modo importante durante el almacenaje al aire libre (Fig. 95) (Dillner 1972). Esta disminución es mayor en el pino que en la pícea y el abedul. Uno a dos meses de almacenamiento de las astillas suele producir un secado de la resina aproximadamente igual que el almacenamiento de la madera en rollo durante un año. La disminución de resina se explica en parte como resultado de la respiración de las células vivas. Los componentes restantes de la resina se hidrolizan y se oxidan aún más dando productos volátiles y calor. Las mayores pérdidas de resina se experimentan normalmente en las partes más calientes del centro de las pilas. En gran proporción, el secado rápido de la resina es una consecuencia de las reacciones químicas dependientes de la temperatura (Hemingway y otros, 1971, Rogers y otros, 1971). Durante el almacenaje de las astillas, los hongos pueden estar fácilmente involucrados en el proceso de secado de la resina, pero no es conocida su importancia en relación con otros procesos bioquímicos y químicos (Smith 1972).

Pérdida de madera, %

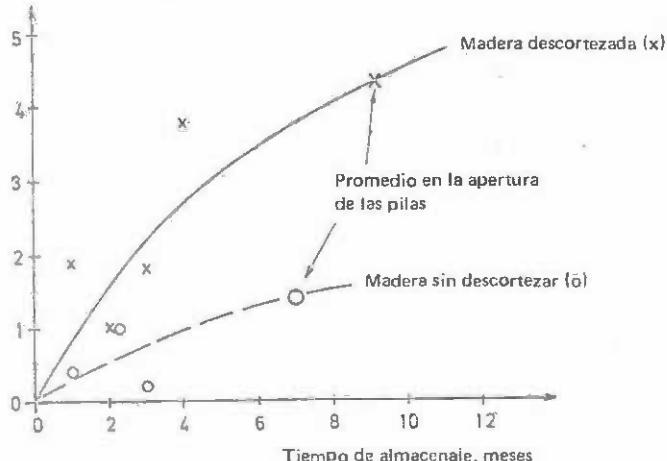


Fig. 94. Evolución de las pérdidas de madera durante el almacenamiento de *Eucalyptus globulus*.

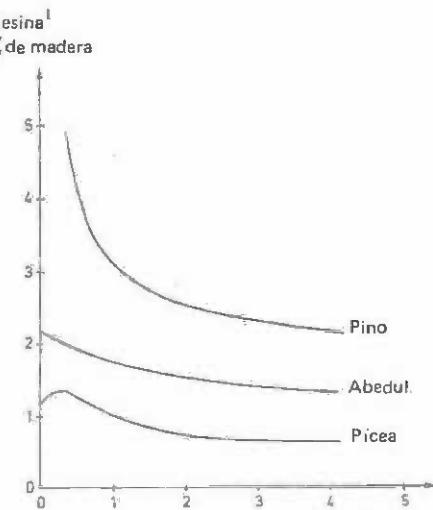


Fig. 95. Cambio en el contenido de resina en la madera durante el almacenaje de las astillas al aire libre.

#### VII. 4.8 Métodos y medios para reducir el deterioro de las astillas

El deterioro de las astillas puede reducirse mediante el control intensivo de su almacenamiento y manipulación y mediante tratamientos químicos y otros de carácter preventivo.

##### VI. 4.8.1 Perfeccionamiento de la manipulación y el almacenamiento de las astillas

Control de elementos finos Cada manipulación de las astillas de madera —más o menos— aumenta el contenido de elementos finos y la pérdida de fibras, reduciendo así el rendimiento en pasta. En general, las astillas son algo más desmenuzables, después de su almacenaje al aire libre, que con almacenaje interno. En primer término, el movimiento con bulldozer y el transporte neumático aumentan el contenido de elementos finos por rotura física de las astillas en piezas más pequeñas. Los principales factores que contribuyen a que el transporte neumático disminuya el tamaño son el ángulo de impacto, la velocidad del aire y la fricción. Mediante el adecuado diseño e instalación del sistema de transporte, la degradación mecánica de las astillas puede reducirse a un mínimo. Un ejemplo de la alteración en la distribución por tamaño a causa de la manipulación, se aclara en la Fig. 96 (Warren 1972). Por lo tanto, la manipulación de astillas debe reducirse al mínimo.

En el extremo de descarga de los transportadores neumáticos, los elementos finos se deslizan hacia abajo más rápidamente que las astillas, particularmente si el viento sopla contra la dirección de descarga. El resultado es una concentración desigual de los elementos finos en las pilas e incluso capas o bolsas de elementos finos. Esto puede traer consigo dificultades tanto para lograr una distribución térmica homogénea como para el proceso de digestión.

Duración del tiempo de almacenamiento Se hacen muchas recomendaciones en cuanto a la duración del tiempo de almacenamiento, dependiendo de la especie, del clima y del proceso de elaboración de la pasta. Para las fábricas con sistema kraft, el tiempo de almacenamiento debe ser lo más

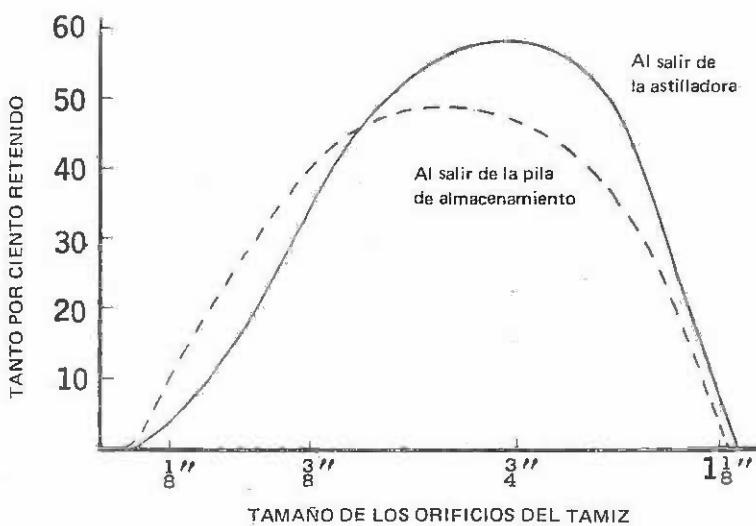


Fig. 96. Distribución de las astillas por tamaño, antes y después de su manipulación. Las astillas son 1) tamizadas inmediatamente después del astillado y 2) tamizadas en la entrada al transportador de aire, durante la carga del barco.

breve posible, o mantenerse almacenada la menor cantidad posible de astillas. Para una industria al sulfito es suficiente de 1 a 3 meses de almacenamiento, para evitar molestias con la resina.

Para mantener un control del tiempo conveniente de almacenamiento para todas las astillas, debe aplicarse a la pila un sistema de "lo primero en entrar, primero en salir"; por ejemplo, las astillas se depositan en uno de los extremos abiertos y se recogen en el otro. Un ejemplo de tal almacenaje es el sistema Mo-Do (ver Fig. 64).

#### VI. 4.8.2 Tratamientos químicos y otros de carácter preventivo

Almacenaje anaerobio Evitar el oxígeno debe ser un método lógico para reducir el calor y el deterioro de las pilas de astillas.

Se han almacenado astillas de madera de *Pseudotsuga douglassii* y de *Populus tremuloides* bajo agua o en una atmósfera con un 95 por ciento de nitrógeno y un 5 por ciento de dióxido de carbono durante períodos hasta de 26 meses. Tal almacenaje de laboratorio no alteró esencialmente la densidad de las astillas o los rendimientos en pasta kraft y la calidad de ésta (Eslyn y Laundrie 1973, 1975).

El recubrimiento de la pila con una capa de plástico se ha comprobado que es una buena barrera para el O<sub>2</sub> (nivel aproximado de O<sub>2</sub>, un 1 por ciento). El aumento de temperatura en la pila sólo fue de 2° a 3°C sobre la temperatura ambiental y la pérdida en peso de las astillas del 2,3 por ciento de un período de almacenamiento de 185 días, con astillas de álamo temblón (Feist y otros, 1971). Las condiciones anaerobias son probablemente bastante costosas de lograr mediante este método y, además, al levantar la pila y al hacer la recogida —lo que puede durar largo tiempo— no es posible cubrir las astillas.

Rociado de las astillas con agua El rociado con agua de la madera para aserrar y de la madera para pasta es un método de protección muy conocido. El rociado de pilas de astillas durante el almacenaje es mucho menos favorable. En el sur de los Estados Unidos se ha encontrado que el rociado de astillas con agua no ofrece ventajas respecto al almacenamiento de astillas secas, en cuanto a la preservación de la calidad de la madera y de la pasta (Bois y otros, 1962, Djerf y Volkman 1969). Sin embargo, el rociado de astillas almacenadas durante períodos más cortos puede reducir la pérdida de densidad de la madera y de resistencia de la pasta.

Cuando se pondera esto frente al coste del rociado con agua y los mayores costes de transformación debidos a una humedad de las astillas superior a la normal, el rociado de agua en el almacenaje de astillas parece dudoso. La razón de que el rociado de agua sea menos eficaz para las astillas que para la madera en rollo, es probablemente la diferencia en cuanto a la microflora. Los hongos esponjosos de pudrición, que son comunes en las pilas de astillas, pueden tolerar una humedad bastante más elevada que los hongos que son comunes en la madera en rollo (Bergman 1972a).

Preservación química Los productos químicos utilizados para evitar o reducir el deterioro de las astillas deben cumplir las siguientes condiciones:

Su eficacia debe continuar durante el tiempo de almacenamiento en cuestión;

Deben representar un coste razonable en comparación con las pérdidas producidas por el deterioro de las astillas;

Deben ser compatibles con el proceso de elaboración de la pasta;

No deben ser demasiado tóxicos para el personal y los animales ni producir contaminación.

Se ha evaluado un gran número de productos químicos en cuanto a su eficacia para controlar la degradación microbiológica de las astillas de madera. Productos químicos como los fenoles clorados y especialmente los biocidas de mercurio, reducen las pérdidas de madera pero no son de interés debido a los riesgos de contaminación y toxicidad.

Algunos de los tratamientos químicos más prometedores son:

La destrucción selectiva de los hongos más peligrosos, colorantes y de pudrición, se ha logrado, según se informa, con el tratamiento de sulfato de níquel. Sin embargo, las investigaciones americanas han demostrado que el sulfato de níquel produce poco efecto (Springer y otros, 1971, Eslyn 1973). El coste de los productos químicos para el tratamiento se ha estimado entre 25 y 30 centavos por tonelada seca de astillas (Bergman 1972a).

El tratamiento con N-metilditiocarbonato sódico ha sido eficaz para mantener la calidad de las astillas almacenadas durante seis meses en simuladores de pilas (Springer y otros, 1973a, 1975b). Sin embargo, en una pila de astillas de pino, el tratamiento redujo las pérdidas de madera después de dos meses de almacenamiento, pero tuvo poco efecto después de seis meses (Springer y otros, 1974). Las concentraciones del antiséptico fueron del 0,2 al 0,25 por ciento con una absorción química entre 0,8 y 1,5 kg por tonelada de madera seca a la estufa dando un coste de productos químicos de alrededor de 1 dólar. El añadir otros productos químicos antisépticos como el 2,4-dinitrofenol sódico al N-metilditiocarbonato sódico ha sido un tratamiento eficaz y de más larga duración para preservar las astillas de madera (Springer y otros, 1973b, 1975a, b). Este tratamiento puede ser factible tanto técnica como económicamente, pero se necesitan más evaluaciones.

El bórax (2,9 kg por tonelada de madera secada en estufa) ha reducido en forma bastante eficaz la pérdida en peso de las astillas, tanto en determinaciones de laboratorio como en simuladores de pilas (Hulme y Hatton 1976a, b), pero en la práctica se obtienen algunos resultados irregulares (Hulme y Shields 1973).

El pH óptimo para los hongos destructores de la madera está entre 5 y 6 y es posible aumentar el pH con álcalis o disminuir el pH con ácidos. Se han aplicado productos químicos tales como la lejía verde kraft (mezcla de sulfuro de sodio y carbonato de sodio), la lejía blanca y el hidróxido de sodio. Los ensayos de laboratorio y los resultados a partir de simuladores de pilas de astillas, con la aplicación de lejía verde, son relativamente prometedores (Springer y otros, 1969, 1971, Feist y otros, 1974). Un experimento realizado por Springer y otros (1974) sobre el tratamiento previo de las astillas de *pinus taeda* con lejía verde dio un promedio de pérdida de madera del 2,7 por ciento debido al tratamiento, pero se produjeron

pérdidas inapreciables durante los dos primeros meses de almacenaje (Springer y otros, 1974). Sin embargo, se produjeron pérdidas después de 6 meses de almacenamiento. El tratamiento no tuvo efectos beneficiosos sobre el rendimiento total o sobre la resistencia de las pastas kraft, pero las astillas de control, sin tratar, se vieron también poco afectadas por el almacenaje. Los productos químicos que contienen sulfuros es posible que den un olor indeseable debido al ácido sulfídrico, pero este experimento no ocasionó el desprendimiento de volúmenes que constituyan un peligro de contaminación.

Las ventajas de la aplicación de productos químicos que reducen el deterioro, productos químicos que intervienen en la elaboración de la pasta, desechos de tamizado y que acortan el tiempo de tratamiento, son discutidos por Hulme y Hatton (1976a).

La aplicación de productos químicos antisépticos puede llevarse a cabo mediante inmersión de las astillas en la disolución del tratamiento y utilizando un rastrillo o un transportador de tornillo para remover las astillas. Un método más sencillo es rociar las astillas mediante una boquilla de riego insertada entre el alimentador y el soplador de un sistema de transporte neumático. Puede ser ventajoso el tratar las astillas en un depósito compensador, situado entre la astilladora y el alimentador, a fin de reducir la nube de gotitas de antiséptico en el extremo de descarga.

Con un valor de la madera de 40 dólares por tonelada seca de astillas, una pérdida de madera del 4 por ciento se equilibra con un coste de tratamiento de 1,60 dólares por tonelada. Cuando se realiza el almacenaje de astillas como medida de seguridad contra escaseces temporales en la oferta, o se necesita un almacenaje a largo plazo por otro motivo, pueden soportarse costes de tratamiento mucho más elevados.

La preservación química de las astillas de madera durante el almacenaje parece que se aplica en la actualidad en extensión muy limitada.

La protección biológica de las astillas por medio de microorganismos antagonistas, relativamente inofensivos para la madera, necesita mayor investigación antes de que tales métodos puedan ponerse en práctica.

#### VI. 4.9 Experiencias de producción de pasta con astillas almacenadas

Los principales métodos de elaboración de pasta en términos de producción son los correspondientes a la pasta al sulfato, la pasta mecánica, la pasta al sulfito y la pasta semiquímica.

El método de la pasta mecánica refinada -con o sin tratamiento químico previo- y particularmente el de la pasta termomecánica a base de astillas de madera, está recibiendo una atención considerable, debido sobre todo a los mayores rendimientos y a la menor polución que en el caso de la pasta química. Pocos informes se ocupan del almacenaje de las astillas para la producción de pasta mecánica, pero una recomendación general es la de elaborar las astillas con un mínimo de retraso, particularmente para evitar pérdidas en la blancura.

La investigación básica sobre una elaboración previa de la pasta mediante sistema biológico o la elaboración de la pasta con aplicación de microorganismos, ha dado resultados interesantes (Eriksson 1974, Ander y Eriksson 1975a, b), pero no todavía en su aplicación práctica. Sin embargo, varias industrias producen alcohol o proteínas a partir de los residuos industriales, mediante procesos biológicos.

##### VI. 4.9.1 Proceso al sulfito

El tratamiento de astillas almacenadas no difiere mucho del de la madera almacenada en trozos. Un largo tiempo de almacenaje, a una temperatura elevada, puede ocasionar, sin embargo, la condensación de la lignina, lo que se traducirá en un tiempo más largo de cocido y

también en una cierta reducción en el rendimiento. Las astillas de madera muy deterioradas darán también, normalmente, un rendimiento algo reducido. La pérdida real de pasta debida al almacenaje es consecuencia de la pérdida de densidad de la madera y de la pérdida del rendimiento en pasta. No obstante, el rendimiento en pasta basado en la entrada en el digestor no cambia generalmente de modo importante, tal como se presenta en el ejemplo del Cuadro 3. Estos datos proceden de tres experimentos distintos de almacenamiento con pícea (Dillner 1972).

Cuadro 3. Rendimientos en pasta y propiedades de la pasta de pícea verde y almacenada

Datos de pastas de papel al sulfito a partir de pícea verde y almacenada

Meses de almacenamiento	Pasta sin blanquear, Roe nº 5			Pasta blanqueada		
	Rend. % madera	Resina %	Blancura % SCAN	Rend. % mad.	Resina %	Blancura % SCAN

A. Pastas de laboratorio (10)

Madera verde	0	52,2	1,30	64	49,1	1,30	92,5
Madera almacenada en astillas	1	52,3	0,86	55	48,6	0,63	93,5
- " -	4	51,8	0,82	50	49,3	0,47	92,5
- " -	13	52,6	0,73	48	48,1	0,48	93,5
Madera almacenada en trozas	12	51,9	1,00	62	49,2	0,55	93,0
- " -	24	52,4	0,67	61	49,2	0,50	92,5

B. Pastas industriales (Billeruds Bruk 1971)

Madera verde	0-1	1,45	65	1,39	87,4
Madera almacenada en astillas	2-3	1,04	57	0,96	86,1
Madera almacenada en trozas	ca 12	1,09	63,5	0,97	84,0

1) Extractos de etanol en parte A  
DCM " " " B

Sin embargo, hay un cambio importante en la rápida disminución de la blancura de la pasta sin blanquear, Fig. 97 (Croon y Frisk 1972). Esta disminución es demasiado grande para ser aceptable para la pasta sin blanquear, pero ésta no ocasiona ninguna dificultad para su blanqueo.

El cambio más importante es la rápida disminución del contenido de resina, en las pastas sin blanquear y, especialmente, en las blanqueadas. Esto es resultado, por una parte, de la disminución de resina en la madera y, por otra, de los cambios químicos de la resina remanente, que hacen a ésta parcialmente soluble en los procesos de cocido y blanqueo. El cambio durante el almacenamiento, del contenido de resina, en la pasta de viscosa blanqueada al sulfito, puede verse en la Fig. 98 (Dillner 1972).

Además de la reducción cuantitativa del contenido en resina de la pasta, durante el almacenaje de la madera, existe un efecto cualitativo. Debido a la oxidación de los ácidos grasos habrá una menor tendencia a la cloración de la resina. Este es un factor importante tanto para la calidad de la pasta de viscosa, como para la producción de papel. En la pasta de viscosa, la resina clorada producirá partículas perjudiciales y en las industrias de papel la resina muy clorada, que es muy pegajosa, será responsable en gran medida de los problemas del alquitran (Dillner 1972).

En el Cuadro 4 se presentan algunos resultados con frondosas, de experimentos de elaboración de pasta al sulfito y al sulfito neutro de alto rendimiento (Dillner 1972). La disminución de la blancura de la pasta se reduce muy drásticamente con el aumento del tiempo de almacenaje de las astillas, pero no se observaron problemas en el blanqueado de la pasta. Se produjeron incluso ahorros bastante considerables en las necesidades de productos químicos para el blanqueado.

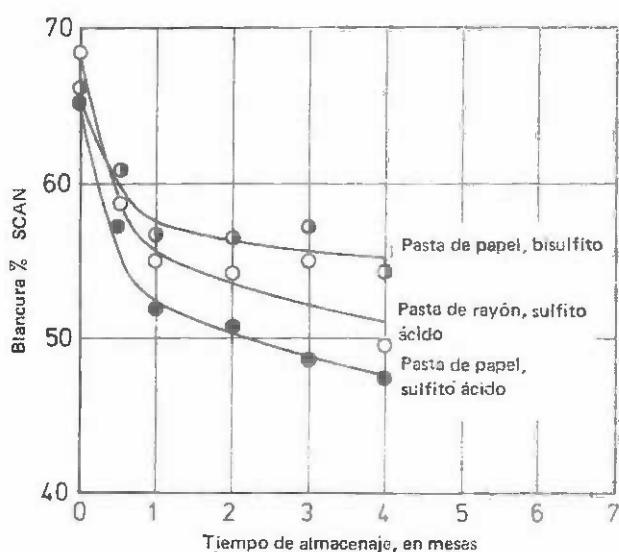


Fig. 97. Disminución de la blancura como consecuencia del tiempo de almacenaje.

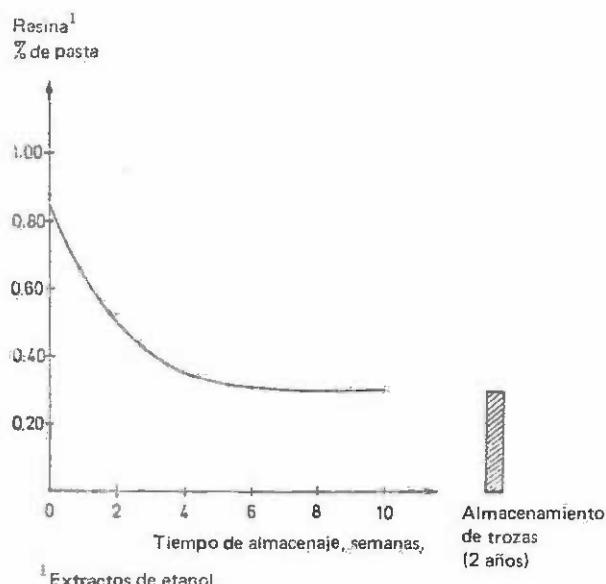


Fig. 98. Almacenamiento al aire libre de astillas de pícea. Influencia del tiempo de almacenaje sobre el contenido de resina de pastas de viscosa blanqueadas al sulfito.

Las investigaciones sobre las propiedades de resistencia de las pastas al sulfito no son muy definitivas, pero la conclusión general parece ser que las pastas no se ven muy afectadas por unas condiciones razonables de almacenamiento.

Cuadro 4. Comparación de pastas de laboratorio al sulfito a partir de abedul verde y almacenado

Meses de almacenamiento	Pasta sin blanquear			Pasta blanqueada		
	Rendimiento % madera	Resina %	Blancura % SCAN	Rend. %mad.	Resina %	Blanco. % SCAN
<b>A. Pasta viscosa al sulfito</b>						
Madera verde	0	43,5	4,30	56	39,5	2,70 93,0
Madera almacenada en astillas	1	45,0	2,65	34	38,3	0,40 96,6
- " -	1,5	45,0	2,55	40	38,9	0,10 96,8
Madera almacenada en trozas	12-24	45,0	1,90	40	39,1	0,20 96,5
<b>B. Pasta NSSC, 83% de rendimiento</b>						
Madera verde	0		0,50	53		
Madera almacenada en astillas	1		0,15	44		
- " -	1,5		0,10	39		
1) Extractos de etanol en parte A						
DCM	- " -	- " -	B			

Una parte de industrias escandinavas de pasta al sulfito han instalado recientemente silos de astillas para maduración artificial de la resina. Se introduce aire caliente en el silo y se controlan la temperatura, la humedad y el contenido de oxígeno. El tiempo de retención de las astillas en el silo es normalmente de 2 a 4 días. Los resultados preliminares parecen ser muy prometedores. Tal tratamiento de las astillas llevará probablemente a una menor necesidad de almacenamiento de la madera en rollo o de las astillas.

#### VI. 4.9.2 Proceso al sulfato

De acuerdo con investigaciones realizadas en Norteamérica y Escandinavia (Bergman y Nilsson 1966, 1967, 1968, Hatton y Hunt 1972) el rendimiento en pasta kraft, basado en el peso de la madera secada a la estufa, introducida en el digestor, permanece prácticamente sin alterar después de 2 ó 3 meses de almacenaje de las astillas al aire libre. Un almacenaje más prolongado, por ejemplo de unos 6 a 9 meses, ha dado normalmente para la pícea un rendimiento ligeramente inferior, mientras que los rendimientos de pinos y frondosas han mostrado normalmente pequeños cambios ( $\pm 1$  por ciento). Incluso no puede descartarse un ligero aumento en el rendimiento en pasta. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a la pérdida de resina, que se disuelve en su mayor parte durante el proceso de elaboración de la pasta.

Las astillas de maderas frondosas tropicales mixtas, almacenadas durante 2 a 4 meses en Papua Nueva Guinea, dieron pastas NSSC y kraft que se apartaron relativamente poco en cuanto a rendimientos y a calidad de las pastas a base de astillas sin almacenar. Una excepción la constituyeron las astillas de las zonas húmedas próximas a la superficie de las pilas (Phillips y Logan 1973).

Un almacenaje prolongado de las astillas -24 meses- redujo el rendimiento en pasta aproximadamente del 2 al 5 por ciento. Sin embargo, se produjeron grandes variaciones dentro de la pila de astillas; se registraron rendimientos tamizados tan bajos como el 37,7 por ciento para la pícea y el 30,1 por ciento para el pino. Los valores correspondientes para astillas sin almacenar fueron el 47,7 por ciento y el 43,6 por ciento respectivamente (Hatton y Hunt 1972). Las astillas de Alnus rubra almacenadas durante seis meses en simuladores de pilas de astillas han tenido pérdidas globales de rendimiento en pasta de aproximadamente el 12 por ciento, y disminuciones importantes en cuanto a su resistencia al estallido y al desgarre (Springer y otros 1975a).

Experimentos de laboratorio demuestran que las astillas esterilizadas, almacenadas a temperaturas elevadas, pueden ser deterioradas fuertemente por la acción del calor y de la humedad. Después de tres meses de almacenamiento a 65°C los rendimientos en pasta pueden haberse reducido en más del 20 por ciento, junto con una reducción en la calidad de la pasta (Feist y otros 1973, 1974). Sin embargo, el almacenaje temporal de astillas frescas, sin esterilizar, de frondosas a temperaturas próximas a 60°C es otro experimento (Hulme y Hatton 1976b) que ha demostrado que se mejoran los rendimientos globales tamizados del digestor al acondicionar las astillas y hacerlas más fáciles para la producción de pasta.

En el proceso kraft, el almacenaje de las astillas tiene un efecto desfavorable sobre el rendimiento de productos secundarios tan valiosos como el aguarrás y el aceite de pino ("tall oil") (Hajny 1966). El contenido en aguarrás de las astillas de pino almacenadas en el Sur de Carolina se redujo a aproximadamente hasta un 25 por ciento después de dos meses de almacenamiento (Springer y otros, 1974).

En una investigación sueca el rendimiento en "tall oil" disminuyó rápidamente, tal como se ilustra en la Fig. 99 (Dillner 1972). También Springer y otros (1974, 1975b) informan sobre considerables reducciones en el rendimiento en "tall oil".

La disminución de la producción de aceite de pino es consecuencia no sólo de la desaparición de la resina de la madera, sino también de los cambios químicos en la resina remanente, que se hace más soluble en agua después de la oxidación y no puede separarse de la lejía negra después del cocido kraft.

Sin embargo, el contenido en resina de las pastas kraft, no disminuye necesariamente cuando se utilizan como materia prima astillas almacenadas. En la pasta de abedul se observa una ligera disminución de resina, pero en la de pino el cambio es a la inversa (Dillner 1972).

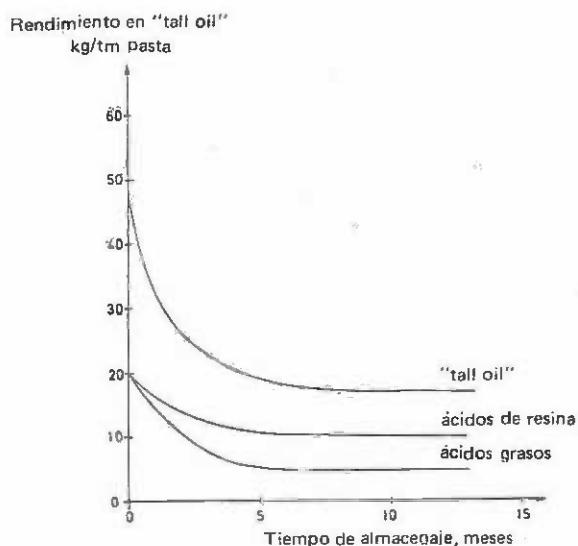


Fig. 99. Almacenamiento de astillas de pino al exterior. Influencia del tiempo de almacenaje sobre el rendimiento en "tall oil" del cocido kraft.

Las propiedades de resistencia de la pasta kraft disminuyen normalmente algo al aumentar el tiempo de almacenaje de las astillas. En Suecia se ha encontrado una disminución de un 10 por ciento aproximadamente en la resistencia al desgarre cuando las astillas se almacenaban durante varios meses a una temperatura de 24 a 30°C. Otras propiedades de resistencia disminuyeron sólo de un 5 a 7 por ciento (Bergman y Nilsson 1966). En Norteamérica un período de almacenaje de 24 meses ha producido una gran variación dentro de la pila, en cuanto a resistencia de la pasta. Las reducciones de la resistencia al estallido y al desgarre fueron hasta del 10 al 15 por ciento para la pícea y del 25 por ciento para el pino (Hatton y Hunt 1972). En el sur de los Estados Unidos, las reducciones medias en cuanto a resistencia fueron de un 5 por ciento mensual (Hajny 1966).

En consecuencia, parece prudente llegar a la conclusión de que en la producción de pasta kraft el almacenaje de las astillas al aire libre no produce ventajas en el rendimiento de pasta o en su calidad. Por el contrario, las reducciones en rendimiento y calidad tienen que sopesarse frente a las ventajas en la manipulación y el transporte.

#### VI. 4.10 Consideraciones económicas

Cada operación industrial es única, y la reducción al mínimo del coste de materia prima por unidad de producto terminado exige un análisis separado y más o menos continuo para cada industria.

El almacenaje de madera es sólo uno de los muchos eslabones en la cadena de manipulación y transporte que va del bosque hasta el producto terminado, pero un eslabón realmente importante. Se necesita una comprensión clara sobre los factores que motivan cambios en la cantidad y calidad de la materia prima madera. La industria debe reconocer y tratar de determinar las pérdidas ocasionadas por deterioro durante la manipulación y el transporte.

En el Cuadro 5 se da una indicación de las consecuencias económicas de una calidad insuficiente de las astillas (Croon y Frisk 1972).

Cuadro 5. Consecuencias económicas estimadas de la baja calidad de las astillas, en comparación con astillas "perfectas".

		\$/tm	pérdida de tonelaje
Manipulación deficiente:	tamices, transporte llenado insuficiente del digestor	0 - 0,2	0 - 1 0 - 3
Elaboración deficiente (obturación de tamices, etc.):	digestor discontinuo kamyr (digestor continuo)		0 - 3 2 - 10
Desechado de elementos finos		0 - 1	
Bajo rendimiento debido a:	astillas sin cocer - tamices astillas cocidas en exceso	0,4 - 4 0 - 3	0 - 10
Malas propiedades de resistencia de la pasta:	pasta para el mercado pasta para uso propio	0 - 1 0 - 3	
Limpieza insuficiente:	mayores costes de producción reclamaciones y descalificaciones	0 - 0,4 0 - 1	0 - 3
		0,4 - 12,6	2 - 27

Cuando se estima la pérdida de rendimiento en pasta debida al almacenaje, ésta debe basarse tanto en el rendimiento en pasta de la madera almacenada como en la reducción del peso de la madera durante el almacenaje, ya que es posible experimentar grandes pérdidas en uno sin que existan grandes pérdidas en el otro. Otros factores que deben evaluarse incluyen los cambios en la capacidad del proceso, los cambios en la calidad del producto y el rendimiento de productos secundarios.

El manejo de las astillas en el patio de la industria normalmente ahorra espacio, ahorra trabajo y es más barato en comparación con la manipulación de madera en rollo.

Algunos costes de manipulación de las astillas los dan Croon y Frisk (1972).

Los costes totales de manipulación de las astillas desde el depósito de recepción al emplezamiento del digestor, en cinco industrias diferentes de Suecia, dieron una media de 0,70 dólares por tonelada de astillas secas (ver Cuadro 6). Cifras comparables para el almacenamiento de madera en rollo ascendieron a 1,50 dólares, lo que significa que los costes directos de manipulación de las astillas fueron alrededor de la mitad que para la madera en rollo. Desde entonces se han desarrollado también métodos más eficaces para la manipulación de los troncos y su almacenamiento, por ejemplo, grúas para trozas que almacenan éstas en un círculo o en dos hileras semicirculares.

El coste de instalación para un sistema completo "de almacenaje de astillas al aire libre" en una industria de 600 toneladas diarias es de 600 000 a 900 000 dólares. De esta cantidad se estima un coste de 35 000 dólares para la base de la pila de astillas, excluyendo la base misma. El hormigón, de 6 pulgadas de grueso, completado con una malla, cuesta 13,00 dólares por metro cuadrado. El asfalto, sobre 4 pulg. de macadam, sobre una base de 6 pulg. de grava, cuesta 7,00 dólares por  $m^2$ . Un buen sistema de transporte neumático hasta la pila, en la misma pila y desde ella, cuesta 250 000 a 400 000 dólares y los dispositivos para la recogida de astillas desde la pila, de una construcción segura cuestan alrededor de 40 000 dólares.

Cuadro 6. Coste de manipulación de astillas en cinco industrias suecas, en centavos por t de madera seca.

Indus- tria	Coste sin depreciación						Deprecia- ción e intereses	Total
	Salarios	Arrenda- miento de tractor	Material	Mantenimiento	Energía eléctr.	Total		
A	9,5	12,0	0,7	5,6	5,6	33,4	55	88
B	19,0	10,0	6,0	6,5	1,5	43,0	23	66
C	9,0	1,0	3,0	7,0	9,0	29,0	27	56
D	13,3	2,2	6,7	4,4	15,5	42,1	49	91
E	3,9	0,4	1,9	5,5	1,8	13,5	36	50
								70 ± 20

El seguro para el almacenaje de astillas al aire libre se estima en un tercio del que correspondería para la madera en rollo.

Una industria al sulfito de tamaño medio, almacenando madera para el secado de la resina, puede disminuir su inventario a menos de la mitad mediante la introducción del almacenaje de astillas. Esto significa que quizás se podrían liberar 5 millones de dólares para otras inversiones. Además, los costes de los intereses se reducen aproximadamente en un 50 por ciento.

La reducción de los costes de transporte y manipulación deben ponderarse frente a la mayor pérdida posible en el rendimiento y calidad de la pasta. Para industrias de pasta kraft las pérdidas de aguarrás y de aceite de pino deben tomarse también en cuenta.

## VII. A L G U N O S T E R M I N O S U T I L I Z A D O S E N E L C O M E R C I O D E A S T I L L A S D E M A D E R A

### Unidad "bone dry" (totalmente seca)

La unidad bone dry (BDU) es una unidad de transacción para el transporte de astillas por barco. Una BDU es igual a 2 400 libras de madera seca (secada hasta el 0 por ciento de humedad a 103°C durante 24 horas).

Una BDU no está relacionada con el peso original en verde ni con el volumen de las astillas necesarias para componer las 2 400 libras de peso seco. Las especies con una densidad específica elevada requerirán normalmente menos volumen que las especies más ligeras. La BDU proviene de un método común anterior para la compra de residuos de aserradero y se dice que es equivalente a una cuerda de costeros de aserradero, apilados, de abeto Douglas.

### Tonelada "bone dry" (totalmente seca)

Una tonelada "bone dry" (BDT) es una tonelada de madera seca (secada hasta el 0 por ciento de humedad a 103°C durante 24 horas). Debe establecerse claramente si se refiere a tonelada métrica, a tonelada corta, o a tonelada larga.

$$1 \text{ tonelada métrica} = 1,1023 \text{ t cortas} = 0,9842 \text{ t largas} = 1\,000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ tonelada corta} = 0,8929 \text{ t largas} = 0,9072 \text{ t métricas} = 2\,000 \text{ lbs.}$$

$$1 \text{ tonelada larga} = 1,0160 \text{ t métricas} = 1,12 \text{ t cortas} = 2\,240 \text{ lbs.}$$

### Contenido de humedad

Hay dos formas de determinar el contenido de humedad, según que se calcule sobre la base del peso seco o del peso en verde:

$$1) H = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

$$2) H = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso en verde}} \cdot 100$$

Cuando se discute el contenido de humedad, debe aclararse sobre qué base se ha calculado. Normalmente, la industria de pasta y papel lo calcula sobre la base del peso en verde, mientras que la industria transformadora de madera utiliza el peso seco.

### Densidad básica

La densidad básica es el peso secado a la estufa dividido por el volumen en verde, expresado frecuentemente como  $\text{kg/m}^3$ .

### Compactación

$$C = \frac{BDU \cdot 200 \cdot 100}{\text{pies cúbicos disponibles}}$$

100 por ciento de compactación significa 1 BDU por 200 pies cúbicos de espacio.

### Volumen sólido relativo

El volumen sólido relativo de las astillas (o trozas) es el volumen sólido de las astillas dividido por su volumen aparente de madera. El volumen sólido relativo puede expresarse también en tanto por ciento, a veces denominado el coeficiente de compactación.

### Factor de esponjado

El "factor de esponjado" es  $f = \frac{\text{volumen total ocupado}}{\text{volumen de madera sólida}}$

$f = 2,5 - 2,8$  para astillas "esponjadas" sin compactar y  $2,1 - 2,3$  para astillas bien cargadas. El volumen sólido relativo =  $1/f$ .

### Factor de almacenaje

El factor de almacenaje puede definirse mediante la fórmula siguiente:

$$Sf = 22,4 \cdot (V/V_W) \cdot (100 - M)/d$$

donde, Sf es el factor de almacenaje en pies cúbicos por tonelada larga

V es el volumen total ocupado por las astillas

$V_W$  es el volumen de madera sólida

M es el contenido de humedad en tanto por ciento del peso en verde

d es la densidad básica en lb/pie cúbico (peso en seco/volumen en verde),

Una explicación más sencilla es que el factor de almacenaje es la capacidad total de bodega ocupada, en pies cúbicos, por el almacenaje de la tonelada larga de una carga (por ejemplo astillas).

VIII. L I S T A D E R E F E R E N C I A S P O R C A P I T U L O S

II. La demanda y la oferta de materias primas procedentes del bosque

- FAO 1975a. Yearbook of forest products. Review 1962-1973. Rome. 371 p.
- FAO 1975b. An assessment of pulp and paper production and demand trends, 1975-79. FO: PAP/75/Inf. 5/Rev. 1.
- Glesinger, E. 1949. The coming age of wood. Simon and Schuster, Inc. New York. 279 p.
- Keays, J.L. 1975. Projection of world demand and supply for wood fiber to the year 2000. Tappi 58 (11): 90-5.
- Keays, J.L. and Hatton, J.V. 1975. The implication of full-forest utilization on worldwide supplies of wood by year 2000. Pulp & Paper International 17 (6): 49-52.
- Persson, R. 1974. World forest resources. Review of the world's forest resources in the early 1970:s. Stockholm. Rapp. Inst. Skogstaksering, Skogshögsk. 17: 265 p.
- Persson, R. 1975. Forest resources of Africa. An approach to international forest resource appraisals. Part I: Country descriptions. Stockholm. Rapp. Inst. Skogstaksering, Skogshögsk. 18: 294 p.
- Segerström, G. 1971. Observations on the flow pattern of forest products trade. FAO/SWE/TF 53: 52-61.
- Seip, H.-K. 1972. FAO/NORAD Symposium on production, handling and transport of wood chips. Keynote speech. FAO/NOR/TF 83: 5-8.
- Stone, R.N. and Saeman, J.F. 1976. Future world demands and cost of supply of timber products. XVI IUFRO World Congress, Proc. Division V: 11-23.
- Thune-Larsen, E. and Luhr, F. 1972. A comparison between utilizing wood from industrial countries (Scandinavia) and plantation forests (eucalyptus). FAO/NOR/TF 83: 80-93.
- Young, H.E. 1974. Complete-tree concept: 1964-1974. Forest Prod. J. 24: 13-6.

III. Comercio internacional de astillas de madera

- Anonymous. 1972. Impressive start to Tamar woodchip project. Appita 26: 88-9.
- Forestry Commission. 1976. Woodchip Symposium Papers. 47th ANZAAS Congress, Tasmania.
- Lembke, C.A. 1974. New era for PNG forest industries. Repr. Australian Forest Industries Journal 40 (7): 19 p.
- Marstrand, T. 1972. Cheap chips by ships to the Japs. Norsk Skogind. 26: 271-2.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 1973. "Basic plan regarding forest resource" and "long range prospect regarding demand and supply of important forest products". Japan. 56 p.
- Nordin, A.L. bin and Ismail, H. bin. 1970. Utilization of rubber wood and waste from primary wood-based industries for chips. The Malayan Forester XXXIII (4): 334-41.
- Ruderman, F.K. 1976. Production, prices, employment, and trade in northwest forest industries. 1st quarter 1976. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon. 52 p.
- Seip, H.-K. 1972. FAO/NORAD Symposium on production, handling and transport of wood chips. Keynote speech. FAO/NOR/TF 83: 5-8.
- Warner, D.W. 1975. Current and future trends in North American marine transportation. In: Transport and handling in the pulp and paper industry. Volume 1. Proc. first PPI International Symposium. Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco. 336 p.
- White, V.S. 1972. Japan's search for more fiber has impact around the world. World Wood. 13 (11): 42-6.
- Yoshida, M. 1972. The wood chip industry in Japan and the present status and prospects of the wood chips trade. FAO/NOR/TF 83: 308-13.

IV. Transformación en astillas

- Arola, R.A., Sturos, J.A. and Mattson, J.A. 1976. Research in the quality improvement of whole-tree chips. Tappi 59 (7): 66-70.
- Auchter, R.J. 1976. Prospectus for research and development proposals. Tappi 59 (7): 6-8.
- Binns, W.O. 1975. Whole tree utilization - consequences for soil and environment - experience and opinion in Britain. Konferens SK 2, Elmia 75, Jönköping, Sweden. 18-25.

- Boyle, J.R. 1976. A system for evaluating potential impacts of whole-tree harvesting on site quality. *Tappi* 59 (7): 79-81.
- Boyle, J.R., Phillips, J.J. and Ek, A.R. 1973. "Whole tree" harvesting: nutrient budget evaluation. *J. For.* 71 (12): 760-2.
- Christensen, E. 1976. Advancing the state-of-the-art in screening bark-free and non-bark-free chips. *Tappi* 59 (5): 93-5.
- Croon, I. and Frisk, E. 1972. Handling of logs and chips at pulp mills. FAO/NOR/TF 83: 227-32.
- Deal, E.L. 1976. Whole tree harvesting by chipping methods in North America. ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. TIM/EFC/WP. 1/ SEM. 3/R. 5. 13 p.
- Erickson, J.R. 1972a. Field chipping: problems and solutions. FAO/NOR/TF 83: 128-38.
- Erickson, J.R. 1972b. The status of methods for debarking wood chips. *Tappi* 55: 1216-20.
- Erickson, J.R. 1976. Sorting whole-tree and branch chips for industrial use. ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. TIM/EFC/WP. 1/ SEM. 3/R. 4. 8 p.
- FAO. 1959. Catalogue of portable wood chippers. *Forestry Equipment Notes*. Rome. 27 p.
- FAO/ECE/LOG/98. 1962. Portable and semiportable wood chipping machines. Part I. Uses of chipping machines and wood chips.
- FAO/ECE/LOG/161. 1965. Portable and semi-portable wood chipping machines. Part II. Information on chipping and the yield and cost of chipping.
- FERIC. 1975. Progress report on work program.
- FO - FAO/ECE/LOG/162. 1966. Symposium on mechanical barking of timber.
- Gislerud, O. 1974. Whole tree utilization. II. Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch, and alder. NISK, Skogtekn. avd. Rapport 6/74. 59 p.
- Gislerud, O. and Tveite, B. 1973. Whole tree utilization. I. A literature study on raw material quantities and raw material properties of spruce, pine and birch with particular weight on smallsized trees. NISK. 74 p.
- Grantham, J.B. 1974. Status of timber utilization on the Pacific Coast. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-29. 42 p.
- Grantham, J.B., Estep, E.M., Pierovich, J.M., Tarkow, H. and Adams, T.C. 1974. Energy and raw material potentials of wood residue in the Pacific Coast States - a summary of a preliminary feasibility investigation. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-18. 37 p.

- Hakkila, P. 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Comm. inst. for. fenn. 67.6. 37 p.
- Hakkila, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Comm. inst. for. fenn. 75.1. 60 p.
- Hakkila, P., Kalaja, H. and Mäkelä, M. 1975. Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. Folia Forestalia 240. 78 p.
- Harrison, R.T. 1975. Slash-equipment and methods for treatment and utilization. USDA Forest Service. ED & T Report 7120-7. 47 p.
- Hartler, N. 1972. Chips for industrial use. FAO/NOR/TF 83.
- Hartler, N. 1975. Rapport om flisrenning i Nordamerika 1975. Projekt Helträdsutnyttjande. Stockholm. 29 p.
- Jorgensen, J.R., Wells, C.G. and Metz, L.J. 1975. The nutrient cycle: key to continuous forest production. J. For. 73 (7): 400-3.
- Keays, J.L. 1971a. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part I: Unmerchantable top of bole. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-69. 98 p.
- Keays, J.L. 1971b. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part II: Foliage. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-70. 94 p.
- Keays, J.L. 1971c. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part III: Branches. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-71. 67 p.
- Keays, J.L. 1971d. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part IV: Crown and slash. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-77. 79 p.
- Keays, J.L. 1971e. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part V: Stump, roots and stump-root system. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-79. 62 p.
- Kreutzer, K. 1975. The effect of economizing on nutrient economy in central European forests. Konferens SK 2, Elmia 75, Jönköping, Sweden.
- Kreutzer, K. 1976. Effect on growth in the next rotation (regeneration). ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 15, 12 p.

- Lapointe, J.A. 1973. Chip quality improvement program. The design and operation of disc chippers. Domtar Research Centre. Senneville, Quebec. 30 p.
- Mattson, J.A. 1975. Debarking chips from whole trees in the Lake States. USDA For. Serv. Res. Pap. NC-115. 9 p.
- McKenzie, W.M. 1970. Choosing your chipper. Chipping for pulp production. Div. For. Prod. Repr. CSIRO, Aust. No. 834. 21-31.
- Mälkönen, E. 1975. Whole tree utilization - consequences for soil and environment. Experiences from Finnish research and practice. Konferens SK 2, Elmia 75, Jönköping, Sweden. 26-30.
- Mälkönen, E. 1976. The effect of fuller biomass harvesting on soil fertility. ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 6. 9 p.
- Nykvist, N. 1974. Växtnäringsförluster vid helträdsutnyttjande. En samanställning av undersökningar i gran- och tallbestånd. Rapp. Inst. Skogsteknik, Skogshögsk. 76. 74-93.
- Palenius, I. 1976. The state of whole-tree utilization in Scandinavia. Tappi 59 (7): 72-4.
- Papworth, R.L. and Erickson, J.R. 1966. Power requirements for producing wood chips. Forest Prod. J. 16 (10): 31-6.
- Parker, F. 1975. Recognized disk chipper design and chip production differences - milliard chippers compared to mobile field chippers. 1975 TAPPI Alkaline Pulping Conference. 81-3.
- Plummer, G.M. 1976. Uses and potential productivity of whole-tree chippers. Tappi 59 (7): 64-5.
- PPRIC. 1975. The separation and segregation of bark from chips. Logging research progress report. No. 46: 1-4.
- Ranhagen, G. 1973. Influence of chip quality on pulp quality. Good chips for good paper pulp and how to achieve it. Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Werkstad. 13 p.
- Ranhagen, G. 1974. Influence of chipper geometry on chip quality and resulting pulp. Paper Trade J. 158 (4): 20-3.
- Ribe, J.H. 1973. Puckerbrush weight tables. Agr. Exp. Sta., Univ. of Maine. Misc. Rep. 162. 92 p.
- Snow, R.W. 1976. Chip washing. TAPPI Annual Meeting. Preprint. 27-8.
- Tamm, C.O. 1975. Losses of plant nutrients and other adverse effects of full tree logging. Konferens SK 2, Elmia, Jönköping, Sweden. 5 p.

- Thommesen, O. 1972. Evaluation of investments and returns by employing different chip production systems. FAO/NOR/TF 83: 322-34.
- USDA. 1972. Report of close timber utilization committee. Forest Service. 73 p.
- USDA. 1975. Stretching the Nation's timber. Forest Service. Current Information Report No. 15. 14 p.
- Weiner, J. and Pollock, V. 1972. Barkers and barking of pulpwood. The Institute of Paper Chemistry. Bibliographic Series, Number 190, supplement II. 56 p.
- Young, H.E. 1975. Utilization of forest residues - a segment of the complete tree concept. Complete Tree Institute, Univ. of Maine. 6 p.
- Young, H.E. 1976. A summary and analysis of weight table studies. XVI IUFRO World Congress, Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass, S 4.01. 30 p.
- Young, H.E. and Carpenter, P.M. 1967. Weight, nutrient element and productivity studies of seedlings and saplings of eight tree species in natural ecosystems. Agr. Exp. Sta., Univ. of Maine. Tech. Bull. 28. 39 p.
- Young, H.E. and Guinn, V.P. 1966. Chemical elements in complete mature trees of seven species in Maine. Tappi 49 (5): 190-7.

V. Sistemas de Transporte

- Appert, E. 1972. Organization of national markets of by-products of wood. FAO/NOR/TF 83: 139-44.
- Bjerkreim-Hansen, T. 1972. Definitions of technical and economic terms. FAO/NOR/TF 83: 30-47.
- Croon, I. and Frisk, E. 1972. Handling of logs and chips at pulp mills. FAO/NOR/TF 83: 227-32.
- Evensen, T.B. 1972. Long-distance transport of logs, wood chips and pulp. FAO/NOR/TF 83: 168-77.
- Evensen, T.B. 1975. Rationalizing the shipment of wood, Unasylva 27 (108): 15-9.
- Haas, L.E. and Kalish, J.E. 1975. Transport and handling in the pulp and paper industry. Volume 1. Proc. first PPI International Symposium. Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco. 336 p.
- Hanaya, M. 1975. Ocean transport of woodchips - specialized ship design and handling facilities. In: Transport and handling in the pulp and paper industry. Volume 1. Proc. first PPI International Symposium. Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco. 336 p.

- Haug, B. 1972. Pipelines for wood chips. FAO/NOR/TF 83: 156-65.
- Ishii, M. 1972. Design and technical features of specialized wood chip carriers. FAO/NOR/TF 83: 178-208.
- Lembke, C.A. 1974. New era for PNG forest industries. Repr. Australian Forest Industries Journal 40 (7): 19 p.
- Lindahl, H. 1971. Logistics. FAO/SWE/TF 53: 73-81.
- Lindgren, F. 1972. Internal transport of wood chips. FAO/NOR/TF 83: 209-20.
- Lund, H. 1972. Chip transport. FAO/Billerud.
- Rydholm, S. 1972. Transport of wood chips at mill. FAO/Billerud.
- Sanvictores, B.F. 1975. Moving away from log exports. Unasylva 27 (108): 10-4.
- Segerström, G. 1971. Observations on the flow pattern of the forest products trade. FAO/SWE/TF 53: 52-61.
- Segerström, G. 1972. Fibre logistics. FAO/NOR/TF 83: 120-7.
- Sundberg, U. 1972. Opening-up forests through efficient planning of logging and road network. FAO/NOR/TF 83: 114-9.
- Wibstad, K. 1972. Transport by rail. FAO/NOR/TF 83: 145-9.

VI. Las astillas de madera como materia prima para las industrias

- Alestalo, A. 1973. On the possibilities of the utilization of needles and bark. IUFRO, Division 4, Subject Group 1, Working Group on Forest Biomass, Paper No. 6. 12 p.
- Auchter, R.J. and Horn, R.A. 1973. Economics of kraft pulping of unbarked wood. Paper Trade J. 157 (26): 38-9.
- Ander, P. and Eriksson, K.-E. 1975a. Influence of carbohydrates on lignin degradation by the white-rot fungus *Sporotrichum pulverulentum*. Svensk PappTidn. 78: 643-52.
- Ander, P. and Eriksson, K.-E. 1975b. Mekanisk massa från forrötad flis - en inledande undersökning. Svensk PappTidn. 78: 641-2.
- Appert, E. 1972. Organization of national market of by-products of wood. FAO/NOR/TF 83: 139-44.
- Back, E.L. and Lundqvist, K.E. 1975. Egenskaper hos skivor av bark. Svensk PappTidn. 78: 199-205.
- Barton, G.M. 1975. Foliage. Part II. Foliage chemicals, their properties and uses. Canadian Forestry Service, Western Forest Products Laboratory. 41 p.

- Bergman, Ö. 1972a. Deterioration and protection of wood chips in outside chip storage. FAO/NOR/TF 83: 267-87.
- Bergman, Ö. 1972b. Wood substance losses in some chip storage experiments. IUFRO. Wood in storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 83.
- Bergman, Ö. 1974. Thermal degradation and spontaneous ignition in outdoor chip storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 91. 18 p.
- Bergman, Ö. and Nilsson, T. 1966. On outside storage of pine chips at Lövholmen's Paper Mill. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 53. 40 p.
- Bergman, Ö. and Nilsson, T. 1967. On outside storage of aspen chips at Hörnefors' Sulphate Mill. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 55. 60 p.
- Bergman, Ö. and Nilsson, T. 1968. On outside storage of birch chips at Mörrum's Sulphate Mill. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 60. 56 p.
- Bois, P.J., Flick, R.A. and Gilmer, W.D. 1962. A study of outside storage of hardwood pulp chips in the Southeast. Tappi 45 (8): 609-18.
- Brown, C.L. 1976. Forests as energy sources in the year 2000: what man can imagine, man can do. J. For. 74 (1): 7-12.
- Chase, A.J., Hyland, F. and Young, H.E. 1971. Puckerbrush pulping studies. Agr. Exp. Sta., Univ. of Maine. Tech. Bull. 49. 64 p.
- Chase, A.J., Hyland, F. and Young, H.E. 1973. The commercial use of puckerbrush pulp. Agr. Exp. Sta., Univ. of Maine. Tech. Bull. 65. 54 p.
- Chen, T.-Y., Paulitsch, M. and Soto, G. 1972. On the suitability of the biological surface mass from spruce thinnings as raw material for particle board. Holz Roh- u. Werkstoff 30: 15-8.
- Croon, I. and Frisk, E. 1972. Outside chip storage (QCS). FAO/NOR/TF 83: 253-66.
- Dadswell, H.E. 1972. The anatomy of eucalypt woods. CSIRO Aust. Div. Applied Chem. Technol. Pap. No. 66.
- Dillner, B. 1972. Outside stored chips as raw material for pulping. FAO/NOR/TF 83: 288-301.
- Djerf, A.C. and Volkman, D.A. 1969. Experiences with water spray wood storage. Tappi 52: 1861-4.
- Dutrow, G.F. 1971. Economic implications of silage sycamore. USDA For. Serv. Res. Pap. SO-66. 9 p.

- Edberg, U., Engström, L. and Hartler, N. 1971. Så sållas sågverksflis. Sågverken/Trävaruindustrien 7: 451-3.
- Einspahr, D.W. 1976. The influence of short-rotation forestry on pulp and paper quality. XVI IUFRO World Congress, Proc. Division V: 145-57.
- Eriksson, K.-E. 1974. Mikroorganismer och enzymer som redskap i en ny utveckling inom skogsindustriens. Norsk Skogind. 28: 125-31.
- Eskilsson, E. and Hartler, N. 1973. Whole tree pulping. Part 2. Sulphate cooking. Svensk PappTidn. 76: 63-70.
- Eskilsson, S. 1974. Whole tree pulping. Part 3. Pulp properties. Svensk PappTidn. 77: 165-74.
- Eslyn, W.E. 1973. Evaluating chemicals for controlling biodeterioration of stored wood chips. Forest Prod. J. 23 (11): 21-5.
- Eslyn, W.E. and Laundrie, J.F. 1973. How anaerobic storage affects quality of Douglas-fir pulpwood chips. Tappi 56 (7): 129-31.
- Eslyn, W.E. and Laundrie, J.F. 1975. Effect of anaerobic storage upon quality of aspen pulpwood chips. Tappi 58 (6): 109-10.
- FAO. 1973. Guide for planning pulp and paper enterprises. FAO Forestry and Forest Products Studies No. 18. 379 p.
- Farkas, J. and Farkasova, V. 1975a. Influence of bark on pulping and properties of beech kraft pulp. Papir a Cellul. 30 (7-8): V 40-4.
- Farkas, J. and Farkasova, V. 1975b. Beech bark in kraft pulping. Papir a Cellul. 30 (7-8): V 21-4.
- Feist, W.C., Springer, E.L. and Hajny, G.J. 1971. Encasing wood chip piles in plastic membranes to control chip deterioration. Tappi 54: 1140-2.
- Feist, W.C., Hajny, G.J. and Springer, E.L. 1973. Effect of storing green wood chips at elevated temperatures. Tappi 56 (8): 91-5.
- Feist, W.C., Springer, E.L. and Hajny, G.J. 1974. Storing wood chips at elevated temperatures - effect of alkali pretreatment. Tappi 57 (8): 112-4.
- Galloway, D. 1976. Hardboard spent liquor product edges wood toward multi-billion food market. Forest Industries 103 (3): 62-3.
- Gislerud, O. 1974. Whole tree utilization. V. Storing of whole tree chips. NISK, Skogtekn. avd. Rapport 5/74. 29 p.
- Gislerud, O. 1976. Storage of whole-tree chips. NISK, Skogtekn. avd.

- Günther, B., Götze, H., Luthardt, H. and Schulze-Dewitz, G. 1972. Eigenschaften und Verwertung des Astholzes von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). 3. Mitt. Holztechnologie 13 (2): 80-7.
- Götze, H. Günther, B., Luthardt, H. and Schulze-Dewitz, G. 1972. Eigenschaften und Verwertung des Astholzes von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). 2. Mitt. Holztechnologie 13 (1): 20-8.
- Hajny, G.J. 1966. Outside storage of pulpwood chips. A review and bibliography. Tappi 49 (10): 97A-105A.
- Hakkila, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Comm. inst. for. fenn. 75.1. 60 p.
- Hakkila, P. 1972a. Industrial utilization of waste wood. FAO/NOR/TF 83: 233-8.
- Hakkila, P. 1972b. Mechanized harvesting of stumps and roots. Comm. inst. for. fenn. 77.1. 71 p.
- Hakkila, P. 1974. Harvesting of stump and root wood. Metsäteho Report 332. 19 p.
- Hakkila, P. 1975a. Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. Folia Forestalia 224. 14 p.
- Hakkila, P. 1975b. Whole-tree utilization in the USA by the end of 1973 - and possibilities for its application in Finland. Rapp. Inst. Skogsteknik, Skogshögsk. 82. 57 p.
- Hannus, K. and Pensar, G. 1970. Ekstraktivämnen i barr. Institute of Wood Chemistry and Cellulose Technology, Åbo Akademi. 40 p.
- Hannus, K. and Pensar, G. 1973. Silvichemicals in technical foliage. I. Water steam distilled oil from pine material. Paperi Puu 55: 509-16.
- Harries, E.D., Levy, C.R. and Phillips, F.H. 1973. Outside storage of tropical hardwood chips. I. Establishment and control of pilot scale chip piles. Appita 26: 273-7.
- Hartler, N. 1972. Chips for industrial use. FAO/NOR/TF 83.
- Hartler, N. and Stade, Y. 1975. Krav på cellulosaflis och sätt att uppfylla dem. Sågverken 8: 585-91.
- Hatton, J.V. 1970. Precise studies on the effect of outside chip storage on fiber yield: white spruce and lodgepole pine. Tappi 53: 627-38.
- Hatton, J. 1975a. WFPL chip quality analytical procedure: Effect of test parameters on screening efficiency and analysis time. Pulp Pap. Can. 76 (7): 79-81.

- Hatton, J. 1975b. WFPL chip quality analytical procedure: Effect of chipper, wood species and season on production of pin chips and fines. *Pulp. Pap. Can.* 76 (8): 64-70.
- Hatton, J.V. 1976. Chip quality evaluations. *Pulp Pap. Can.* 77 (6): 61-8.
- Hatton, J.V. and Hunt, K. 1972. Effect of prolonged outside chip storage on yield and quality of kraft pulps from *Picea glauca* and *Pinus contorta* chips. *Tappi* 55: 122-6.
- Hatton, J.V. and Keays, J.L. 1973. Effect of chip geometry and moisture on yield and quality of kraft pulps from western hemlock and black spruce. *Pulp Pap. Can.* 74 (1): 79-87.
- Helge, K. 1976. The use of whole tree chips in the production of fibre building board. The Norwegian Pulp and Paper Research Institute. 12 p.
- Helge, K. and Rødland, G. 1976. Heltreutnyttelse - trefiberplater. The Norwegian Pulp and Paper Research Institute. 7 p.
- Hemingway, R.W., Nelson, P.J. and Hillis, W.E. 1971. Rapid oxidation of the fats and resins in *Pinus radiata* chips for pitch control. *Tappi* 54: 95-8.
- Horn, R.A. and Auchter, R.J. 1972. Kraft pulping of pulpwood chips containing bark. *Paper Trade J.* 156 (46): 55-9.
- Hosia, M. and Kortelainen, V.-A. 1971. Investigations on utilizing softwood branches as pulp and hardboard raw material II. *Paperi Puu* 53: 721-7.
- Hosia, M., Lindholm, C.-A., Toivanen, P. and Nevalainen, K. 1971. Investigations on utilizing softwood branches as pulp and hardboard raw material I. *Paperi Puu* 53: 49-66.
- Howard, E.T. 1974. Needleboards - an exploratory study. *Forest Prod. J.* 24 (5): 50-1.
- Hulme, M.A. and Shields, J.K. 1973. Treatments to reduce chip deterioration during storage. *Tappi* 56 (8): 88-95.
- Hulme, M.A. and Hatton, J.V. 1976a. Increased kraft pulp fiber yields by chip treatment before outside storage: a laboratory assessment. *Tappi* 59 (1): 108-11.
- Hulme, M.A. and Hatton, J.V. 1976b. Influence of high temperatures during chip pile storage on hardwood fiber yields. *Tappi* 59 (1): 154-5.
- Ievins, I.K., Galvans, U.I., Daugavietis, M.O. and Kevins, J.J. 1973. Utilization of needles and leaves in the USSR. IUFRO, Division 4, Subject Group 1, Working Group on Forest Biomass, Paper No. 2. 7 p.

- Ievins, I.K. 1975. Die Verwendung der Holzgrünmasse in der UdSSR. Konferens SK 1, Elmia 75, Jönköping, Sweden.
- Jett, J.B. and Zobel, B.J. 1975. Wood and pulping properties of young hardwoods. Tappi 58 (1): 92-6.
- Keays, J.L. 1971a. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part I: Unmerchantable top of bole. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-69. 98 p.
- Keays, J.L. 1971b. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part II: Foliage. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-70. 94 p.
- Keays, J.L. 1971c. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part III: Branches. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-71. 67 p.
- Keays, J.L. 1971d. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part IV: Crown and slash. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-77. 79 p.
- Keays, J.L. 1971e. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part V: Stump, roots and stump-root system. Canadian Forestry Service. Forest Products Laboratory. Information report VP-X-79. 62 p.
- Keays, J.L. 1974. Full-tree chips for kraft - yield, quality and economics Pulp Pap. Can. 75 (9): 43-7.
- Keays, J.L. 1975. Foliage. Part I. Practical utilization of foliage. Canadian Forestry Service. Western Forest Products Laboratory. 42 p.
- Keays, J.L. and Hatton, J.V. 1971. Complete-tree utilization studies. II. Yield and quality of kraft pulp from the components of *Picea glauca*. Tappi 54: 1721-4.
- Keays, J.L. and Hatton, J.V. 1975. The effect of bark on wood pulp yield and quality and on the economics of pulp production. Canadian Forestry Service. Western Forest Products Laboratory. Information report VP-X-126. 20 p.
- King, K.F.S. 1975. It's time to make paper in the tropics. Unasylva 27 (109): 2-5.
- Koch, P. 1976. New technique for harvesting southern pines with tap-root attached can extend pulpwood resources significantly. XVI IUFRO World Congress, Project Group P 3.01. 20 p.

Koch, P. and Coughran, S.J. 1975. Development of a puller-buncher for harvesting southern pines with taproot attached. Forest Prod. J. 25 (4): 23-30.

Latvian Scientific Research Institute of Forestry Problems and Problem Laboratory for utilization of tree living elements, Leningrad Forest-Technical Academy. 1973. Ispolzovanie biologicheskikh aktivnykh veshchestv dereva (Utilization of biological active substances in trees). Riga 1973. 152 p.

Liiri, O., Kivistö, A. and Laine, L. 1972. Branches and whole trees as raw material for particle board. Paperi Puu 54: 593-609.

Lönnberg, B. 1975a. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 1. General aspects. Paperi Puu 57: 443-7.

Lönnberg, B. 1975b. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 2. Wood raw material. Paperi Puu 57: 507-16.

Lönnberg, B. 1976a. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 3. Chemical pulping. Paperi Puu 58: 113-23.

Lönnberg, B. 1976b. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 4. Effects of bark upon chemical pulping. Paperi Puu 58: 181-97.

Lönnberg, B. 1976c. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 5. Bleached pulps; fine papers. Paperi Puu 58: 455-72.

Lönnberg, B., Palenius, I. and Saxena, V.B. 1975. Short-rotation hardwood as a raw material for absorbent pulp. Paperi Puu 57: 721-7.

Marton, R., Amidon, T., Brown, A., Granzow, S. and Koepicus, R. 1975. Whole-tree utilization in pulping. ESPRA.

Ministry of Forestry and Forest Industry in the Latvian SSR, Latvian Scientific Research Institute of Forestry Problems. 1975. Kompleksnaya mekhanizatsiya rubok ukhoda (Complex mechanization of stand treatment). Riga 1975. 191 p.

Moran, J.S. 1975. Kraft mill experience with whole tree chips. TAPPI Annual Meeting, New York. Manuscript. 10 p.

Nilsson, T. 1972. Microorganisms in chip piles. IUFRO. Wood in storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 83.

Nordlinder, B.G. and Tufvesson, M.I. 1975. Helträdsutnyttjande för fiber och spånskivor. Projekt Helträdsutnyttjande, Stockholm. 42 p.

- Nyholm, P. 1976. Separate harvesting of fresh stumps and roots, handling of stumpwood at the mill. ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 8. 9 p.
- Nylinder, P. 1972. Measuring of wood chips. FAO/NOR/TF 83: 243-52.
- Okstad, T. 1972. Methods of scaling wood chips. FAO/NOR/TF 83: 239-42.
- Paulitsch, M. 1976. Verarbeitung von Astholz, Rinde und Nadeln/Blättern zu Spanplatten. XVI IUFRO World Congress, Congress Group V. 4. 8 p.
- Peters, W. 1976. Herstellung von Spanplatten aus Ganzbaum - Waldhackschnitzeln. FESYP. 6 p.
- Phillips, F.H. and Logan, A.F. 1973. Outside storage of tropical hardwood chips. II. Pulping and papermaking potential of chips after storage. Appita 26: 355-60.
- Preikschat, F.K., Preikschat, E. and Pope, D.F. 1974. Factors affecting automatic wood chip moisture measurement. Paper Trade J. 158 (30): 21-5.
- Projekt Helträdsutnyttjande. 1976. Stubbagen 1976-03-09. Stockholm. 104 p.
- Ribe, J.H. 1974. A review of short rotation forestry. Agr. Exp. Sta. Univ. of Maine. Misc. Rep. 160. 52 p.
- Rogers, I.H., Harris, A.G. and Rozon, L.R. 1971. The effect of outside chip storage on the extractives of white spruce and lodgepole pine. Pulp Pap. Can. 72 (6): 84-90.
- Rose, D.W. 1976. The potential of short-rotation forest crops for production of fiber and energy. College of Forestry, University of Minnesota. 6 p.
- Sellæg, M. and Gislerud, O. 1972. Green chips from thinnings for use in fibreboard production. Tidsskr. Skogbr. 80: 423-32.
- Sellæg, M., Kucera, B. and Mengkrog, Ø. 1972. Chipping of birch for particle board production. Tidsskr. Skogbr. 80: 433-44
- Skjelmerud, H. 1972. Importance of residue utilization from a sawmill point of view - a Norwegian case study. FAO/NOR/TF 83: 335-52.
- Smith, R. 1972. Colonization and degradation of outside stored softwood chips by fungi. IUFRO. Wood in storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 83.
- Springer, E.L., Eslyn, W., Zoch, L.L. and Hajny, G.J. 1969. Control of pulp chip deterioration with kraft green liquor. USDA For. Serv. Pap. FPL 110. 4 p.
- Springer, E.L., Haslerud, E.J., Fries, D.M., Clark, I.T., Hajny, G.J. and Zoch, L.L. jr. 1971. An evaluation of four chemicals for preserving wood chips stored outdoors. Tappi 54: 555-60.

- Springer, E.L., Feist, W.C., Zoch, L.L. jr. and Hajny, G.J. 1973a.  
Evaluation of chemicals for preserving wood chips  
using pile simulators. Tappi 56 (6): 125-8.
- Springer, E.L., Feist, W.C., Zoch, L.L. jr. and Hajny, G.J. 1973b.  
New and effective chemical treatment to preserve  
stored wood chips. Tappi 56 (6): 157.
- Springer, E.L., Feist, W.C., Zoch, L.L. jr. and Hajny, G.J. 1974.  
Evaluation of two chemical treatments in outside chip  
piles. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 243. 15 p.
- Springer, E.L., Schmidt, F.L., Feist, W.C. and Zoch, L.L. 1975a.  
Storage of red alder chips with and without bark -  
treated and untreated. USDA For. Serv. Res. Pap.  
FPL 261. 9 p.
- Springer, E.L., Feist, W.C., Zoch, L.L. jr. and Hajny, G.J. 1975b.  
Evaluation of five treatments to prevent deterioration  
of wood chips during storage in pile simulators.  
Tappi 58 (3): 128-31.
- Stade, Y. 1975. Helträdsutnyttjande vid massatillverkning 1975. Projekt  
Helträdsutnyttjande, Stockholm. 55 p.
- Stewart, J.F. and Diaz, R.J. 1972. Use of spent stumpwood in linerboard  
production. Tappi 55 (8): 1212-5.
- TAPPI. 1954. Sieve analysis of pulpwood chips. T 16 m - 54.  
Technical Association of the Pulp and Paper Industry.  
2 p.
- Thune-Larsen, E. and Luhr, F. 1972. A comparison between utilizing wood  
from industrial countries (Scandinavia) and  
plantation forests (eucalyptus). FAO/NOR/TF 83: 80-93.
- Uusvaara, O. 1969. On density and weight of sawmill chips. Comm. inst.  
for. fenn. 67.3. 44 p.
- Uusvaara, O. 1972. On the properties of sawmill chips. Comm. inst. for.  
fenn. 75.4. 55 p.
- Uusvaara, O. 1974. Properties of sawdust utilized in industry. Comm.  
inst. for fenn. 83.1. 43 p.
- Vakomies, P.J. 1972. Wood raw materials for pulp and paper in tropical  
countries. FAO/NOR/TF 83: 221-6.
- Vethe, A. 1973. Sulfatkoking av ubarket virke. The Norwegian Pulp  
and Paper Research Institute. 13 p.
- Virkola, N.-E. 1976a. Developments and trends in industrial utilization  
of fuller biomass branchwood, foliage and stumps in  
traditional wood industry. ECE/FAO/ILO Symposium on  
the harvesting of a larger part of the biomass.  
TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 17. 16 p.

- Virkola, N.-E. 1976b. Developments and trends in industrial utilization of fuller biomass branchwood, foliage and stumps in traditional wood industry. ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the biomass. Manuscript. 9 p.
- Warren, B.R. 1972. Assessment of quality and quantity of woodchip shipments. Appita 26: 209-10.
- Wawer, A. 1975. Bark in hardwood chips - effect on mill operations. Pulp Pap. Can. 76 (7): 51-4.
- Weiner, J., Roth, L., Cowling, E.B. and Hafley, W.F. 1974. Changes in the value and utility of pulpwood, sawlogs, and veneer bolts during harvesting, transport and storage. The Institute of Paper Chemistry. Bibliographic Series, Special Number 60. 629 p.
- Wiedermann, A. 1972. Kraft pulping of several unbarked European hardwoods. Tappi 55: 1209-11.
- Wilhelmsen, G. 1972. Factors influencing and determining the necessity of wood storage in Norway. IUFRO. Wood in storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 83.
- Wilhelmsen, L.A., Preikschat, E. and Stergion, D.L. 1976. Automatic wood chip moisture - bulk density meter. Tappi 59 (8): 56-9.
- Wolf, E. 1976. Herstellung von Ganzbaumhackschnitzeln im Wald. FESYP. 5 p.
- Zielinski, M. 1972. Fungal communities in piles of birch wood chips. IUFRO. Wood in storage. Stockholm. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 83.

VII. Algunos términos utilizados en el comercio de astillas de madera

Bjerkreim-Hansen, T. 1972. Definition of technical and economic terms and figures used in the logs, wood chips and pulp trade. FAO/NOR/TF 83: 30-47.