

Publicación Miscelánea No. 59

LAS INDUSTRIAS

QUIMICAS

DE LA MADERA

H. W. SANDERMANN

ORGANISMO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

1968



214i 1968

575.16.504.1

LAS INDUSTRIAS QUIMICAS DE LA MADERA
Y
ECONOMIA DE ESTAS INDUSTRIAS EN AMERICA LATINA

Apéndice: LA QUIMICA DE LA MADERA

por

H. W. SANDERMANN

Prof. titular de la Universidad de Hamburgo
Instituto de Química y Tecnología de la Madera
Hamburg - Reinbek, Alemania

Consejero de la FAO

Curso dictado en el

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Oct. - Dic. de 1967

Turrialba, Costa Rica
1968



11 CA
PM-59

P R O L O G O

Los recursos naturales forestales de los países latinoamericanos son un factor importante para la economía política. Tal reserva necesita un aprovechamiento racional para que contribuya con éxito al desarrollo económico y social. Por eso los ingenieros forestales, los tecnólogos de madera y demás responsables para este sector requieren sólidos conocimientos en el campo de los productos forestales.

Según mis experiencias hechas durante una misión en México, Costa Rica y Venezuela, la falta de publicaciones apropiadas sobre productos forestales escritos en castellano, es un grave obstáculo para la capacitación del personal.

La obra presente es el manuscrito de un curso, dictado en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas desde el 12 de octubre hasta el 15 de diciembre de 1967. Por razón del poco tiempo disponible, el manuscrito tiene sólo carácter de una introducción, una introducción en mi propio campo de trabajo: la tecnología química de la madera.

En escribir este tratado, resultó muy difícil emplear los términos técnicos exactos, porque muchas veces existen varias versiones en castellano. Por lo tanto, estaré muy agradecido a los lectores por correcciones que me ayudarán, a dedicar en el futuro un libro mejorado y ampliado a este campo de la ciencia.

La historia del aprovechamiento químico de la madera se trata en un corto resumen, dando preferencia a los productos más importantes en la actualidad. Una sinopsis sistemática de la utilización química de la madera forma la transición entre la historia y la descripción detallada de la fabricación de los productos forestales y de la industria relacionada.

El capítulo sobre la economía de las diferentes ramas industriales se agregó para que se señalen las dimensiones y la importancia de la fabricación de productos forestales de hoy y en el futuro.

Al lector poco perito en la química de madera sería favorable estudiar de antemano el capítulo sobre dicha materia.

El autor deja constancia de sus agradecimientos a las siguientes

II

tes personas:

Al Dr. G. Budowski, Jefe del Programa Forestal, por su estímulo y por su ayuda prestada para la obtención de fondos que hicieron posible la preparación y publicación de este trabajo.

Al Dr. H.J.Tillmanns, Dasónomo Adjunto, por su aporte en la traducción, corrección e impresión del texto.

Además al Ing. R. Camargo y al Sr. J. von Salfeld por su colaboración en traducir y corregir algunos capítulos.

Finalmente al Ing. H. J. van der Slooten, Oficial de la FAO, quien me ha atendido durante mi permanencia en Turrialba.

W. Sandermann

Turrialba/Costa Rica, 14 de diciembre de 1967.

III

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. El desarrollo histórico del aprovechamiento químico de la madera.	1
2. Sinopsis sistemática del aprovechamiento químico de la madera.	12
3. Las industrias madereras particulares.	15
3.1 La industria de pulpa y papel.	15
3.11 El procesamiento de la materia prima.	15
3.12 La pasta mecánica.	19
3.13 Los procesos de la pasta química.	21
3.131 El proceso al sulfito.	23
3.132 El proceso al sulfato.	24
3.14 La pasta semiquímica.	26
3.15 El blanqueo de las pastas.	28
3.16 El papel.	29
3.161 La teoría de la formación de la hoja de papel.	29
3.162 La técnica de la producción de papel.	32
3.17 El agua.	35
3.2 La fabricación de tableros.	39
3.21 Tableros de fibra.	39
3.22 Tableros de partículas.	43
3.23 Fabricación de materiales del sistema maderera-cemento.	48
3.3 Fibras de celulosa y otros derivados.	51
3.4 Hidrólisis de la madera y procesos de fermentación.	56
3.5 Utilización de las sustancias extractivas.	59
3.6 Utilización de la lignina.	60
4. Economía de las industrias madereras en América Latina.	61
4.1 Demanda y producción de productos forestales.	61
4.2 La materia prima de las industrias madereras.	64
4.3 Los costos de la industrialización.	69

IV

	<u>Pág.</u>
4.4 Las fuentes de financiación.	71
4.5 Demanda de técnicos para las industrias forestales.	74
5. Química de la madera.	76
5.1 Historia.	76
5.2 La estructura de la celulosa y sus derivados.	77
5.3 Las hemicelulosas.	83
5.4 La lignina.	84
5.5 Las sustancias extractivas.	87
6. Literatura.	88

1.

El desarrollo histórico del aprovechamiento químico de la madera.

La madera representa una de las materias más antiguas, conocidas por el hombre. No sólo le sirvió de combustible, sino que llegó a utilizarla en otros usos múltiples como la construcción de viviendas, puentes, barcos, muebles, utensilios de uso doméstico, artículos para las artes mecánicas y la industria, materia prima para obras de arte, etc.

Hace 10.000 años aproximadamente, en el norte de Europa, las puntas de piedra eran pegadas a la lanza de madera con pez. Este pez se obtenía calentando corteza de abedul.

Tiempos atrás, las resinas y la pez, de madera y corteza, se usaban como preservativo de la madera, como cola y masilla. Así, Noé usó para la impermeabilización de su arca pez de pino.

Los ingleses, suecos y otros pueblos usaron durante la Edad Media grandes cantidades de pez de pino para sus flotas navales, siendo Suecia uno de los principales proveedores de pez.

En los Estados Unidos, se aprovechaban cantidades grandes de tocones, que sobraban de la explotación de los bosques de pino, para la destilación. Luego, se resinaban los pinos en pie, para obtener colofonia y trementina. Estos productos se necesitaban en primer lugar para la industria de jabón y barniz.

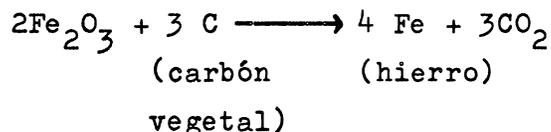
También los mayas, aztecas e incas hicieron uso de las resinas, tal como inciensos o como desinfectantes para heridas. Se sabe que los incas efectuaban operaciones complicadas tales como cesáreas y trepanaciones, siendo esto solamente posible mediante desinfectantes.

Otra industria importante basada en la madera, era la de la ceniza de madera (potasa, K_2CO_3), que era fundida con ácido silícico y calcio para obtener vidrio. Por este motivo, las fábricas de vidrio se situaban cerca de los bosques. Debido al bajo costo que representaba la obtención de la potasa, se

desvastaron grandes bosques, motivo por el que en Francia se llegó a cobrar un impuesto por la instalación de vidrios. A demás se llegó a usar la potasa en la industria textil, que, con agregados de cloro se obtiene un baño para blanquear, de muy buenas propiedades, para el algodón.

Debido a la demanda continua de potasa, el gobierno francés emitió una recompensa por un proceso sustitutivo para la potasa. Tal proceso desarrolló LE BLANC, produciendo soda a bajo costo a base de sal gema, ácido sulfúrico y carbón. Esta llegó a desplazar la potasa desde entonces.

Durante milenios, se practicaba la carbonización de la madera. Carbón vegetal servía en primer lugar para la producción de hierro. Por medio de la reducción del óxido ferroso, se obtiene en base a la siguiente reacción el hierro:



Para la obtención de una tonelada de hierro, se necesitaban 120 m³ de madera. Debido a este enorme consumo de madera para la industria férrica, Inglaterra llegó a despoblar la mayor parte de sus bosques. La solución llegó a darse con la invención de la fundición por medio de coque, descubierta por el escocés ROEBUCK.

En un grado menor, se siguió con la carbonización de la madera, ya que ofrece una serie de compuestos químicos importantes: carbón vegetal, ácido acético, acetona, alcohol metílico, formaldehído.

Hoy en día estos compuestos se obtienen más económicamente por medio de la petroquímica. Sin embargo para algunos países tropicales, la carbonización de la madera es de interés industrial, cuando no se dispone de carbón de piedra para la obtención de hierro, o para la fabricación de resinas de urea y resinas fenólicas.

Los procesos industriales descritos arriba, destruyen la ma-

yor parte de los componentes de la madera. Al contrario, los procesos modernos permiten un aprovechamiento integral.

Cuando en Europa y América empezó la industrialización, en el siglo pasado, empezó asimismo la era de los ferrocarriles, electrificación y telegrafía; con esto inició la demanda creciente en durmientes y postes. Igualmente aumentaba la necesidad de preservar la madera contra insectos y hongos. Como medio efectivo resultó la brea, producto de la destilación del carbón. Luego se desarrollaron otros medios protectores tales como fluoruro de sodio, arseniatos y mezclas de esta sal con cromatos de sodio, conocidos por "Sales WOLMAN" y "Sales Boliden". Luego siguieron compuestos orgánicos, como cloronaftalina, pentaclorofenol y otros.

Una de las industrias más importantes es la de la fabricación de celulosa y papel. La importancia de este producto para la civilización y cultura se refleja en la opinión dada por el conocido inventor EDISON, para el cual el papel representaba el invento más importante de la humanidad. Sin duda, la industria maderera es de importancia vital para este ramo de la técnica moderna. Los antecedentes del papel son muy interesantes. Es un hecho que las civilizaciones desarrolladas están ligadas con la escritura, la cual se verifica lo más fácil sobre una materia lisa, como es el papel.

Los babilónicos y asirios usaban tablas de arcilla que eran cocidas, mientras los hindúes escribían sobre hojas de palma y corteza. El material más antiguo es el pergamino, obtenido de pieles de animales. Otro material en la antigüedad fue el papiro, planta vegetal, usado por los egipcios. Del nombre papiro se deriva nuestro concepto de papel, aunque técnicamente no tienen nada en común. Podemos comparar el papiro con madera contraenchapada delgada, mientras el papel es una malla irregular de fibras.

El propio papel es un invento chino, que data del año 105 D. C., y fue verificado por el ministro Ts'ai Lun. Ya unos 300 años A. C. los chinos usaban seda para escribir. Debido

al alto costo de esta seda, se usaban los desechos de la seda para producir una pasta, la cual era colada para obtener un nuevo producto que se parecía al actual papel. Ts'ai Lun lo gró obtener esta pasta de corteza de árbol, vestidos viejos y cuerdas. Dicha pasta era pasada por un tamiz de bambú e hilos de seda (fig.1). De una vez quedaba sobre el cedazo u na hoja de papel. Esta hoja podía retirarse de inmediato, ya que la criba era movible y se la podía enrollar, o sea, se podía trabajar con una criba en un proceso continuo. Esto es análogo al proceso moderno de fabricación de papel.

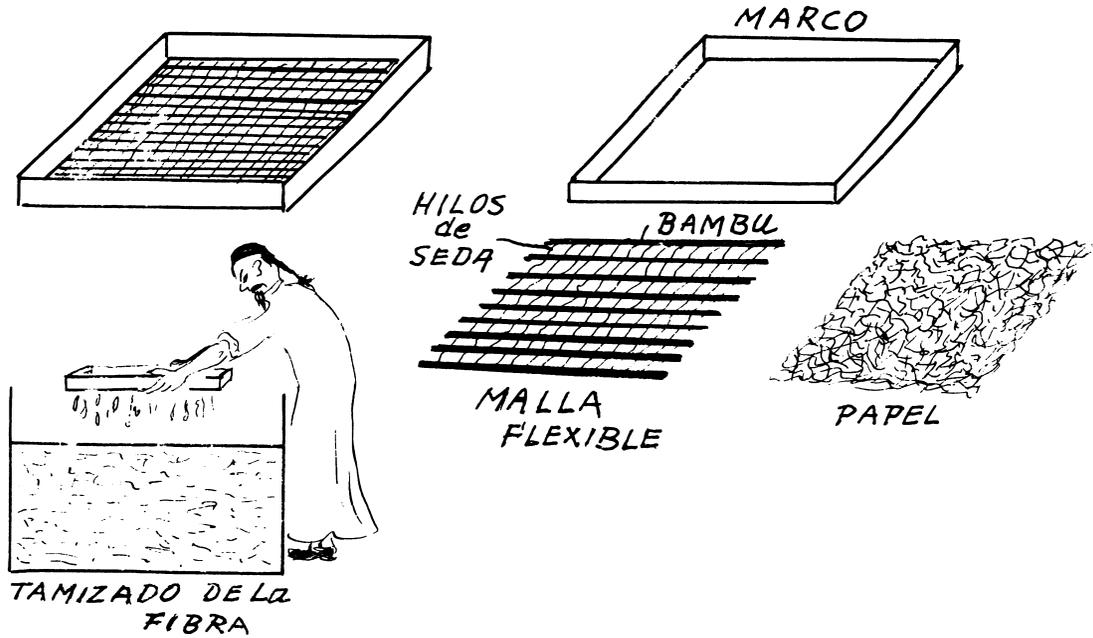
El invento chino llegó en el siglo VIII hasta los árabes, de allí a Europa por España. En el año 1.100 D. C. existía en Valencia un taller de papel. Los españoles llevaron la nueva técnica en el año 1575 a México, siendo en Culhuacán producido el primer papel siguiendo el método chino. En los Es tados Unidos se instaló la primera fábrica en 1690, en Germantown.

Hay que mencionar que antes de la llegada de los españoles en México y Guatemala se conocía el papel.

Así los conquistadores encontraron en los almacenes del emperador MOCTEZUMA alrededor de 1/2 millón de hojas de papel. En la zona de los mayas, Yucatán, y también en México, los españoles encontraron bibliotecas con libros plegados; fueron destruidos poco después. Hoy día se conocen solamente tres códices de los mayas. Estos están hechos de pseudo-papel preparado de la corteza interior de una especie de higuera (amatl). Aún hoy día, la tribu de los otomíes produce este mismo tipo de papel. El proceso es como sigue: La corteza es cocida con ceniza de leña y luego puesta y cruzada sobre una tabla. Después, la corteza es golpeada con un mazo de piedra acanalado hasta que está desfibrada (fig.1). Esta técnica de los indios, nos manifiestan las piedras ocasionalmente.

La industria papelera europea necesitaba cada vez de mayor cantidad de trapos como materia prima. La demanda creció

FABRICACION DE PAPEL EN LA ANTIGUA CHINA



PSEUDO-PAPEL DE LOS OTOMIS MAYAS y MEXICANOS



This One



A8UZ-T6X-TDRG

aún más a partir del momento en que GUTENBERG inventó la imprenta en 1440. Alrededor de 1880 el francés ROBERT inventó la máquina de papel. Después de la revolución francesa, el número de periódicos creció fabulosamente, sin embargo todavía faltaba la materia prima para este enorme consumo.

En esta situación precaria, el sajón KELLER hizo en el año 1843 un muy importante invento. Por medio de un molino primitivo o sea un mollejón, raspando sencillamente la madera con mucha agua, produjo una fibra conocida hoy día como "pasta mecánica de la madera" (fig.2). Rápidamente se construyeron industrias para esta materia prima de papel. En el año 1870, una industria de este tipo tenía una capacidad de 100 a 700 Kg/día. Hoy día, la capacidad es de 50.000 Kg/día y más.

La pasta mecánica tiene desventajas por su contenido de lignina. Por eso se buscó un proceso para eliminar la lignina. Primero fue inventada la pasta química al bisulfito, al mismo tiempo por EKMAN en Suecia, y por MITSCHERLICH en Alemania. La materia prima era el abeto, el cual, calentado con una solución ácida de bisulfito de magnesio o calcio, daba una pasta química clara. Mediante este proceso se obtuvo grandes cantidades de celulosa. Se mostró sin embargo que el pino no podía ser elaborado por medio de este procedimiento, debido a que éste contiene el fenol pinosilvino, el cual evita la separación de la lignina ya que está presente en una concentración de sólo 0.2%.

Con el proceso al sulfato inventado por DAHL en 1884, se podía usar el pino sin dificultad. Se obtuvo una pasta oscura, empleada para la producción de un papel muy fuerte, el papel "Kraft". Mucho más tarde, se llegó a blanquear la pasta al sulfato. El proceso al sulfato tiene la ventaja de que casi toda clase de madera, también maderas tropicales con alto porcentaje de extractivos, puede usarse.

A partir de 1925 se obtuvo la primera pasta semiquímica. Se

trata de un método con alto rendimiento en fibras, para el cual se puede utilizar también madera de especies latifoliadas. Esta materia se usa ante todo para cartón corrugado aunque también para papeles. En los últimos años se desarrollaron nuevos procesos para la obtención de pasta mecánica, pasta semiquímica y pasta química. Estos se describen más adelante.

La construcción de máquinas hizo progresos grandes. Las máquinas de papel llegaron a ser más grandes y rápidas. Las más potentes tienen casi 10 metros de ancho y su velocidad es de 1.000 m/min. La producción total y mundial en papel y cartón sobrepasa los 100 millones de toneladas anuales (fig. 4).

La historia de las industrias de los derivados de la celulosa se ha desarrollado junto con el conocimiento de la química en general. Para concebir los detalles, es necesario conocer la materia química de la celulosa.

La celulosa es un polímero natural en forma de cadena, cuyos eslabones constan del monómero glucosa que ha perdido 2 H y 1 O = agua en el momento del enlace. Cada unidad de celulosa contiene tres grupos hidroxílicos (fig.52). Por consecuencia de la transformación de los grupos hidroxílicos resultan los derivados, por ejemplo ésteres y éteres (fig.3) .

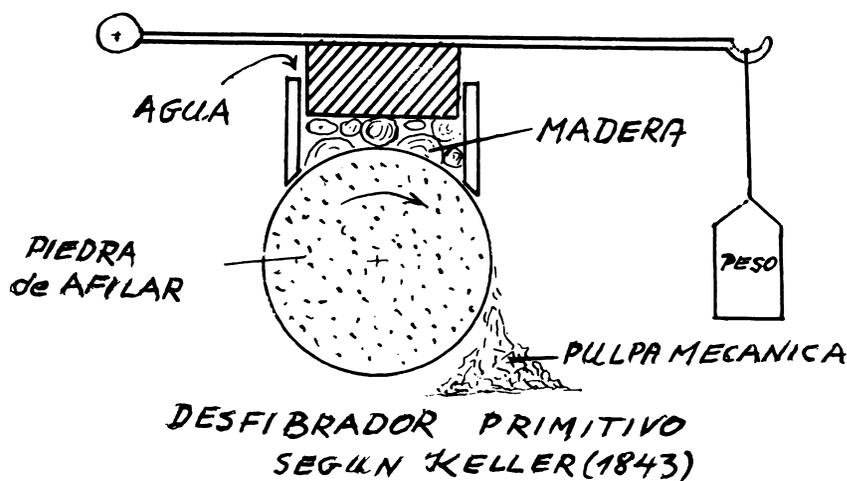
El primer derivado, la nitrocelulosa, fue inventado por SCHOENBEIN en el año 1845. Es un producto de enorme importancia. La materia prima para celuloide se obtiene de la seda artificial según CHARDONNET (1883), de la dinamitagoma (NOBEL) y de las nitro-pinturas.

Las películas de celuloide eran muy peligrosas, ya que en caso de combustión producían gases venenosos como cianhídrico y óxido de carbono. Estas películas fueron sustituidas por acetato de celulosa, de difícil combustión. Este acetato sigue usándose para fibras y como plástico para moldeo.

El proceso más importante en la técnica de la celulosa es el llamado método de CROSS y BEVAN (1892). En este proceso la

ALGUNOS DATOS SOBRE LA HISTORIA
DE LA FABRICACION DE PULPA Y DE PAPEL.

- 105 ^{J. Chr.} despues Invención del papel por los chinos (TS'AI LUN).
LA Ruta de esta invención: Japon (600), Bagdad (794),
Cairo (siglo 10), España (siglo 11), Mexico (Culhuacan: 1575)
- Siglo 8 (?) Papel de los Mayas
- 1440 Invención del arte tipográfico por GUTENBERG (ALEMANIA)
- 1799 Invención de la maquina de papel por ROBERT (FRANCIA)
- 1844 INVENCION de la pasta mecánica por KELLER (ALEMANIA)
- 1874 Invención del procesamiento de pulpa química
al bisulfito por EKMAN (Suecia) y MITSCHERLICH
(ALEMANIA)
- 1879 Invención de la pasta química al sulfato por
DAHL (ALEMANIA)
- 1925 Los procesos semiquímicos (NSSC, "cold caustic soda",
y de la pasta mecánica de discos, proceso Magnéfite,
ahoy y otros procesos al sulfito modificados, nuevos métodos
de cocción, desfibración, blanqueo, formación de la
hoja etc.



celulosa con hidróxido de sodio es transformada en álcali-celulosa, una solución coloidal viscosa. Luego de hilar, en una solución ácida se producen fibras u hojas de celofán. Estas están compuestas de celulosa regenerada. A las fibras largas se les llama "rayon"; y a la fibra hilada de fibras cortas, se llama "lana celulosa".

En los últimos años se han confeccionado vestidos y trajes de baño de papel (non woven fabrics). Existen además éteres y unos ésteres de la celulosa que son usados como colas y plásticos.

La celulosa también se hidroliza a glucosa por medio de ácidos minerales. Existen cerca de 200 diferentes procesos para la hidrolización de la madera, sin embargo, sólo dos de ellas son de interés técnico.

El proceso según SCHOLLER efectúa la hidrólisis con ácido sulfúrico (0.2-0.4%) y percolación a presión. Este proceso alemán se modificó en Norteamérica.

El proceso de la empresa RHEINAU trabaja con ácido hidrocórico concentrado y sin aplicar presión.

El inventor SCHOLLER trabajó con unos aparatos muy sencillos. Sus beneficios de hidrólisis fueron pequeños debido a la descomposición de la glucosa en su autoclave. SCHOLLER usó un dispositivo que le servía para separar la solución de glucosa antes de que ésta volviera a descomponerse. Esta solución de azúcares era fermentada para obtener alcohol. de 100 Kg de coníferas se obtienen 50 Kg de glucosa para fermentar y 30 Kg de lignina y también pentosas. Con el proceso RHEINAU se obtiene azúcar en forma de cristales.

No es posible obtener alcohol a base de pentosas. Sin embargo con la levadura Torula utilis dan estas pentosas y también otros azúcares, grandes cantidades de levadura. Esta contiene 50 % de proteína, 23-25% de hidratos del carbono, 5% de ceniza y 6% de grasa. También es posible llegar a cultivar una levadura con 25% de proteína y 30% de grasa.

Durante la Segunda Guerra Mundial y aún hoy en día, se obtienen grandes cantidades de levadura de la lejía residual del proceso al sulfito. Esta levadura se usa como alimento para el ganado o para obtener esterinas, materia prima para hormonas sexuales y vitamina D.

Con ayuda de ácidos minerales es posible transformar las pentosas en furfurool, siendo ésta una de las materias primas para la fabricación del nylon.

La lejía residual, sobrante de la obtención de pulpa, representa aproximadamente la mitad de la masa total de madera empleada, dependiendo la composición de la lejía del proceso empleado.

La lejía residual del proceso al bisulfato se compone principalmente de ácido lignosulfónico solubilizado y de diferentes azúcares. Estos son empleados del mismo modo como la obtención del azúcar por hidrólisis, por ejemplo la fermentación para alcohol o levadura. Del ácido lignosulfónico se obtiene el aroma de vainilla.

En la lejía residual del proceso al sulfato, todos los azúcares son destruidos por el alcalino, pues fermentaciones no son posibles. Sin embargo, resulta una mezcla de resinas y de ácidos grasos, empleando coníferas. Este producto se llama "tall oil" (aceite de tall). La producción mundial asciende a un millón de toneladas por año.

Sería también un producto valioso en la América Latina, donde se emplean coníferas como materia prima en el proceso al sulfato. Otros productos residuales son el dimetilsulfóxido (DMSO) y carbón activo. Cantidades pequeñas de lignina al sulfato son usadas para diferentes productos, pero no existe un método de utilización satisfactorio para la lignina. Así se pierden 50 millones tt/año en lignina (fig.4). Estas cantidades llegan a ser combustibles o contaminan las aguas. En fin, el uso de la lignina es un problema grave para las técnicas de madera en el futuro.

En el pasado, los extractos de la madera tuvieron una gran importancia, tal como es el caso de colorantes, sustancias o doríficas, quinina, chicle, alcanfor, goma árabe, resinas farmacéuticas, etc.

Sin duda, la mayoría de estos productos han sido sustituidos por sintéticos.

Hoy en día, solamente la obtención de caucho, resina, aceite de trementina y materia curtiente resulta económico. Pero aún en este caso se tiene que contar con un cambio a corto tiempo. Así se verifica una síntesis química la cual, me diante catalizadores produce un caucho, idéntico al caucho natural.

Además, los compuestos de la trementina y resina son productos adicionales del proceso al sulfato. El tanino es una sus tancia importante para la manufactura del cuero. Sin embargo, se cree que el cuero dentro de unos 15 años será sustituido por productos sintéticos, tales como el "corfam" de la compa ñía DUPONT de NEMOURS.

No hay duda, que en muchos sectores la madera será sustituida por materia sintética, cemento y otros productos. Por otro lado la madera es la materia prima para muchos usos nuevos (figs.3 y 4).

El desarrollo de productos en forma de tableros ofreció a la madera nuevas perspectivas.

Por el año 1923 el americano MASON, en el laboratorio del co nocido inventor EDISON, inventó un proceso para la desfibra- ción de la madera, llegando a ser este proceso de gran impor- tancia para la industria maderera mundial.

El experimento para llegar a obtener el efecto deseado era muy sencillo. MASON llenaba un tubo hermético con partículas de madera y calentaba el contenido por 30 o 40 segundos hasta una temperatura de 210°C y luego durante unos cinco segundos a 285°C. Al abrir la válvula, sucedía un estallido que pare

cía el disparo de un cañón. Junto con el vapor de agua eran expeditas fibras delgadas.

Este método para la desfibración de la madera está conocido bajo el nombre de "proceso de cañón" o "proceso de MASON" (fig.23).

Las fibras obtenidas por el proceso de cañón utilizaba MASON para producir el primer tablero de fibra (fig.23), formando una esterilla de fibras, deshidratándola y comprimiéndola a temperaturas altas (160-180°C).

MASON no sólo fue un inventor hábil, sino que también un buen comerciante. Fundó en 1923 la "MASONITE CORPORATION" que llegó a ocupar el monopolio de la producción de tableros de fibra. A partir de 1926, esa compañía produjo 200.000 tt de tableros por año, al precio alto de \$0.62 por m².

ASPLUND, sueco, fue uno de los asistentes de MASON. Por medio de la invención de un desfibrador, llamado por su nombre, éste llegó a quebrar el monopolio mantenido por MASON.

Este aparato consta de una cámara en la cual las astillas de madera son calentadas a 175°C, y de dos discos de muelas entre los cuales las astillas son desfibradas (figs.23 y 24).

En los siguientes años, el principio de este proceso fue modificado. Por ejemplo, el desfibrador según BAUER tiene dos discos de muelas, los cuales giran en sentidos opuestos. La máquina trabaja a una temperatura de unos 80°C, y produce una fibra fina y uniforme, también para la producción de pasta semiquímica.

La desfibración según BIFFAR, es tal que las astillas son puestas en una especie de autoclave, durante 6 a 8 horas a una presión de 5 a 6 atmósferas, en donde son ensuavizadas y luego desfibradas en el molino BIFFAR.

Hoy día, la desfibración se efectúa principalmente con el desfibrador de ASPLUND, BAUER o BIFFAR.

Cuando las colas sintéticas de resina ya eran bien conocidas y en uso, el tablero de partículas se desarrolló rápidamente. La primera fábrica que llegó a producir tales tableros fue TORFIT-WERKE en Bremen, Alemania, en 1941. El principio de la fabricación es el siguiente:

Las partículas, cortadas de rolas de madera o desperdicios, se echan en moldes después de encolarlas. Los moldes, llena dos con cierto volúmen de partículas, son prensados en una prensa de 10 a 20 pisos.

Para el encolado se usa 8-10% de colas sintéticas. En zonas tropicales de condiciones húmedas y calientes, la resina fenol-formaldehído es más apta que la urea-formaldehído.

Los tableros de madera mineralizada fueron producidos por primera vez en el año 1925 en Europa. El proceso de fabricación es como sigue:

Las rolas de madera, después de descortezarlas, se cortan con una máquina especial para viruta, pajilla o lana de madera. La viruta de madera se baña en una solución de mineralizantes o se la rocía con la misma (cloruro de magnesio o calcio, por ej.). Después de esta "mineralización" se mezcla la viru ta con el conglomerante hidráulico (cemento, magnesita, ye- so). La mezcla se coloca en moldes para prensar o se la pren sa en forma continua (proceso HERAKLITH).

El uso del yeso se propuso en una patente en 1880. La prime ra aplicación de la magnesita como conglomerante tuvo lugar en el año 1944 por la casa HERAKLITH. Sin embargo, el cemen to corriente es el conglomerante más usado para el sistema de madera mineralizada.

El tablero de viruta de madera y cemento tiene una aplicación amplia en la construcción.

Otro producto del sistema madera-cemento son los bloques prensados de viruta y cemento de la casa DURISOL. La misma casa ha desarrollado grandes elementos prefabricados para la construcción de edificios altos hasta de 20 pisos.

2. Sinopsis sistemática del aprovechamiento químico de la madera.

El aprovechamiento químico de la madera supone una desintegración de la materia prima de grado en grado por medios mecánicos y químicos. Así se puede calificar los diversos grados, desde una pura desintegración mecánica hasta la disolución o extracción de los componentes, siendo éstos principalmente la celulosa, las hemicelulosas, la lignina y las sustancias extractivas.

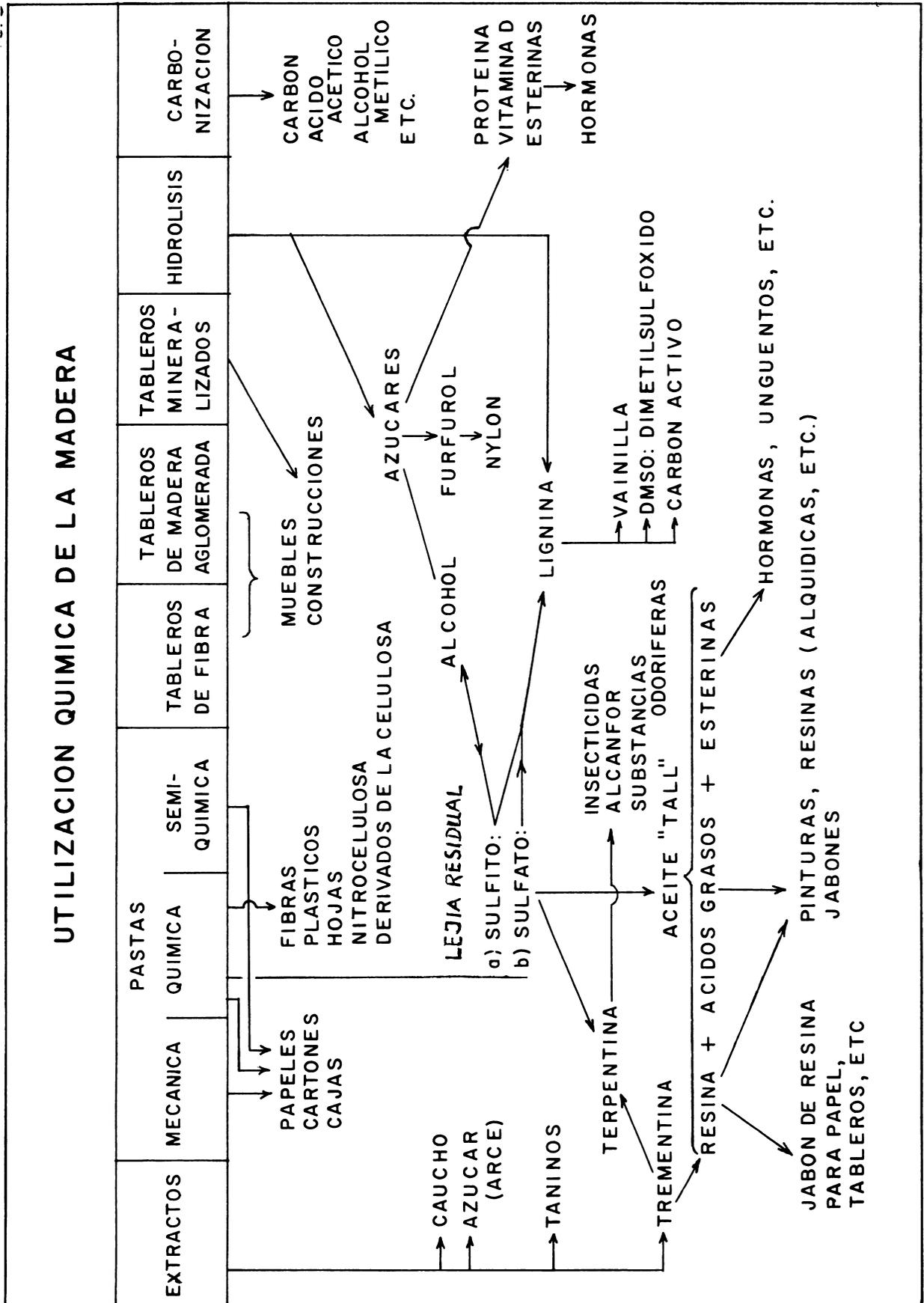
La figura 3 muestra los productos particulares. A base de este diagrama se explican los diferentes grados de la desintegración.

1.- La elaboración de partículas y el prensado de éstas junto con un conglomerante resinoso da como producto la tabla de partículas o madera aglomerada.

2.- La elaboración de partículas, viruta, paja, pajilla o lana de madera y el prensado de éstas con un conglomerante hidráulico produce bloques o tablas de madera mineralizada.

3.- La desfibración mecánica de la madera en forma de rolas o astillas da como resultado la pasta mecánica. La desfibración significa una separación de las fibras de madera mediante la destrucción de la capa media de la pared celular, la cual se compone principalmente de lignina. La temperatura elevada y el agua efectúan cierto cambio en la composición química de la fibra durante el procedimiento. Además la separación no es completa. La pasta mecánica mezclada con un conglomerante sirve para la producción de tablas de fibra, papeles y cartones.

4.- El tratamiento de las astillas de madera con lejía antes de desfibrarlas, da como resultado la pasta semiquímica. La lejía disuelve la lignina y parte de las hemicelulosas, efectuando una separación completa de las fibras. La pasta semiquímica y conglomerante son los componentes de pa-



peles y cartones.

5.- La pasta química se obtiene por medio de una cocción de las astillas con lejía. La desfibración se desarrolla durante la cocción sin tratamiento mecánico. La fibra resultante contiene más de el 90% de celulosa. El resto se compone de hemicelulosas y lignina. La lignina se reduce por medio del blanqueo hasta un mínimo. La pasta química o pulpa sirve como materia prima para papeles, fibras y derivados de la celulosa.

6.- La lejía residual de los distintos procesos para obtener pastas o pulpa contiene sustancias valiosas. Se las aprovecha como sigue:

a) La lejía residual del proceso al sulfito contiene a zúcares reductores los cuales se pueden fermentar. Así se obtienen alcohol y levadura.

b) La lejía residual del proceso al sulfato se compone principalmente de trementina y aceite de tall. Por medio de la destilación se obtienen resinas, ácidos grasos, etc.

c) El aprovechamiento de la lignina todavía es un problema grande. Sin embargo, existen numerosos modos de utilizarla, para la producción de vainilla, carbón activo, etc. Las ligninas técnicas son ácido lignosulfónico del proceso al sulfito y lignina alcalina del proceso al sodio y al sulfato.

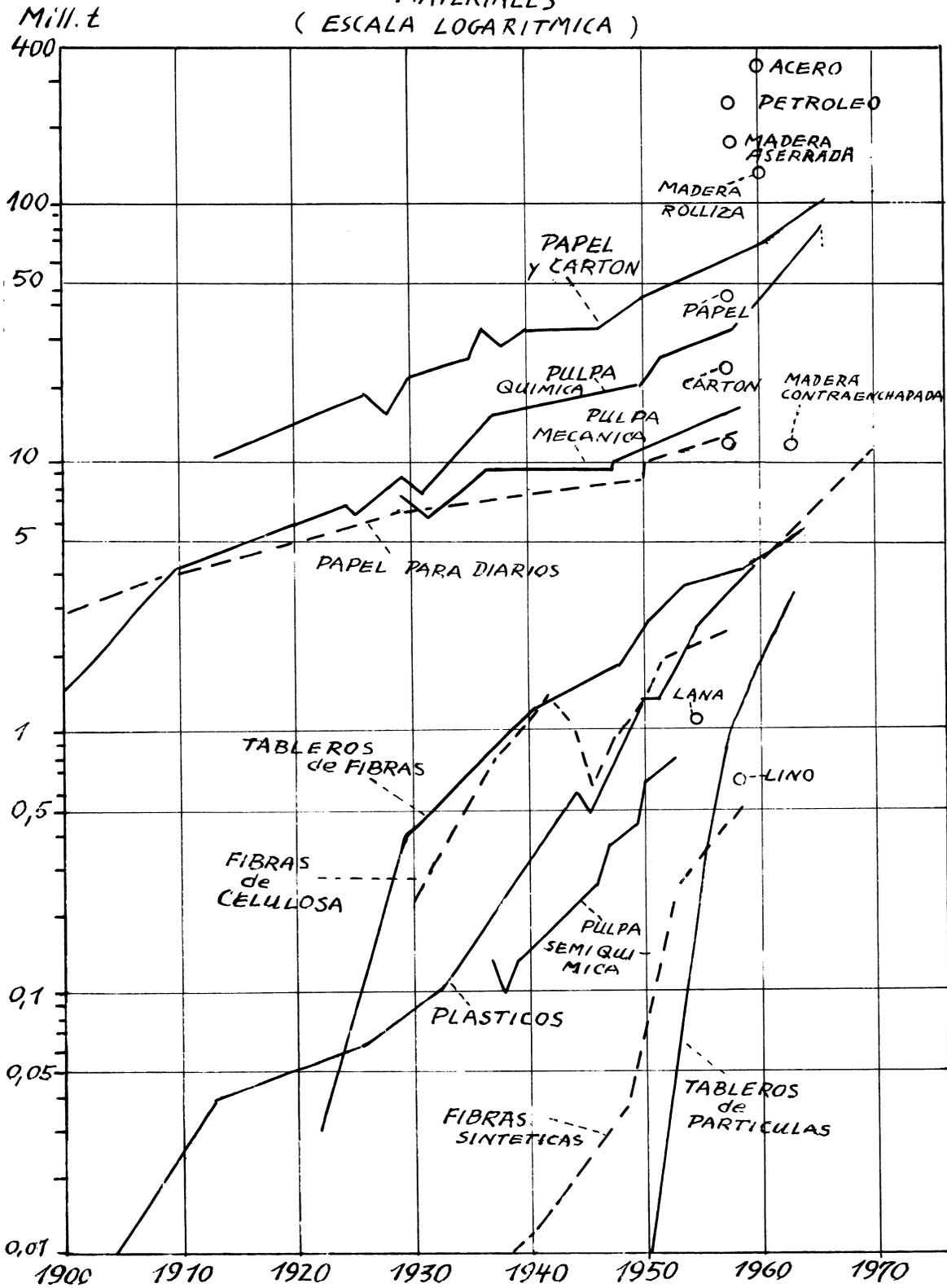
7.- La hidrólisis de la madera o sacarificación mediante ácidos produce azúcares reductores (véase 6o.).

8.- La carbonización de la madera es de interés inferior hoy en día. La madera se descompone a altas temperaturas y produce sustancias líquidas y gaseosas, convirtiéndose a carbón de leña.

9.- La madera y la corteza de muchas especies, sobre todo las de las zonas tropicales, contienen sustancias ex-

tractivas de distintas clases químicas. Estas sustancias, o se las saca del árbol en pie, o se las extrae del árbol cortado. Los extractivos más importantes hoy en día son el caucho, el curtiente, la resina y la trementina.

PRODUCCION MUNDIAL DE PRODUCTOS FORESTALES Y OTROS MATERIALES (ESCALA LOGARITMICA)



SA

3. Las industrias madereras partien- do de la madera.

En los capítulos siguientes se trata en primer lugar la tecnología de los procesos que son los más usados y prospectuosos. Para facilitar el entendimiento de los procedimientos químicos es preferible estudiar el capítulo 5 de antemano.

3.1 La industria de pulpa y papel.

Este complejo inmenso se puede dividir en tres partes respecto al lugar y al tiempo:

1. La preparación de la madera.
2. La elaboración de la pulpa o pasta.
3. La manufactura del papel.

3.11 El procesamiento de la materia prima.

Este sector incluye el volteo de los árboles, el descortezamiento, el almacenaje, la elaboración de las astillas y el transporte.

El trabajo en el bosque se ha mecanizado en alto grado. En los países escandinavos, se desarrolló un equipo mecanizado de apariencias muy modernas. Está representado en la fig.5. Los troncos con ramas son llevados por tractores a la estación. Aquí el árbol es introducido a la desramadora por un cargador de horquillas. Luego sigue la clasificación de los troncos.

En los Estados Unidos existe, para un propósito similar, un aparato de la empresa BELOIT. Se trata de un tractor con un agregado capaz de desramar al árbol en pie, de despuntarlo y talarlo.

El transporte de la madera del bosque a la fábrica, se efectúa por medio del ferrocarril, vehículo o flotación. La flotación sólo es posible con coníferas ya que la madera latifo

liada, con algunas excepciones, absorbe el agua y por consecuencia se hunde. Aquellas especies latifoliadas flotables a veces se reúnen en balsas con las demás especies.

En Escandinavia, una vez talado el abedul, es dejado en el suelo con el follaje. De este modo la evaporación del agua del tallo se efectúa por las hojas. Una vez seco, el árbol es despuntado y ambos extremos del tallo son sellados herméticamente con una resina especial. Un abedul tratado de este modo es flotable. La flotación del abeto con corteza es desfavorable, debido al tanino que pasa de la corteza a la madera, lo que imposibilita la aplicación del proceso al bisulfito.

El descortezamiento inmediato en el mismo bosque es de gran ventaja, ante todo en los bosques tropicales, para evitar que la madera sea afectada por elementos dañinos como son los insectos y los hongos.

En último tiempo el transporte por vehículo ha aumentado, aún en aquellas regiones en las cuales existe la posibilidad de flotación.

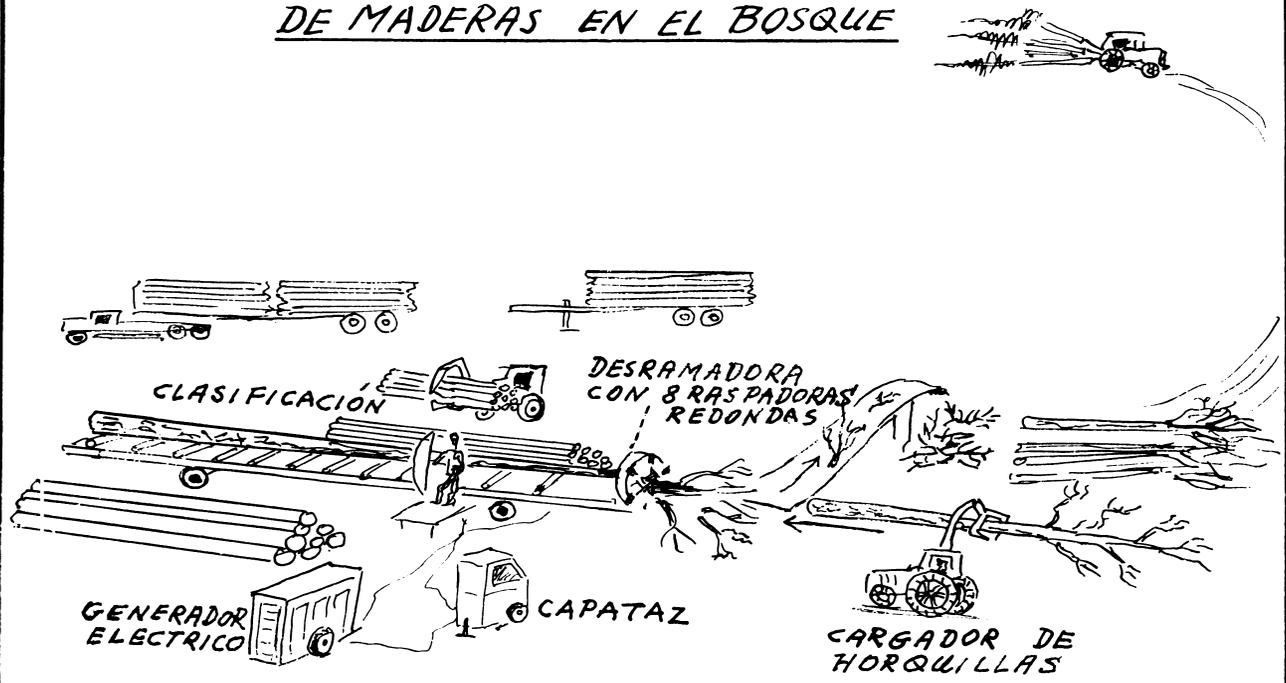
En la fig.9 se muestran algunos tipos de descortezadoras. El tipo TAMBOR tiene un diámetro de 3 m y su longitud es de 9-14 m. El accionamiento se efectúa por medio de las ruedas portadoras del tambor o por cadenas de suspensión. Debido a la rotación constante del tambor, los troncos se raspan en las paredes de éste y también entre sí, es decir, los árboles se descortezan por medio de fricción.

En el tipo CAMBIO, el tronco es introducido entre raspadores dentados.

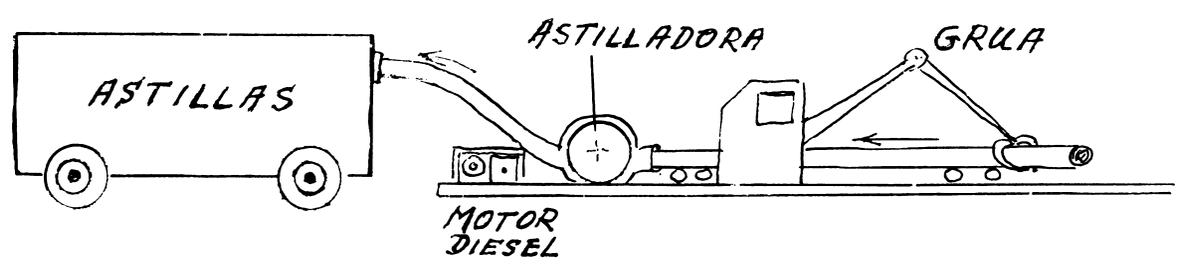
Algunos tipos de descortezadoras utilizan chorros de agua a alta presión (50 Kg/cm^2) y luego rodillos cortantes para remover la corteza.

Dificultades para el descortezamiento ofrecen fustes delgados o desperdicios de aserraderos que contienen corteza. El

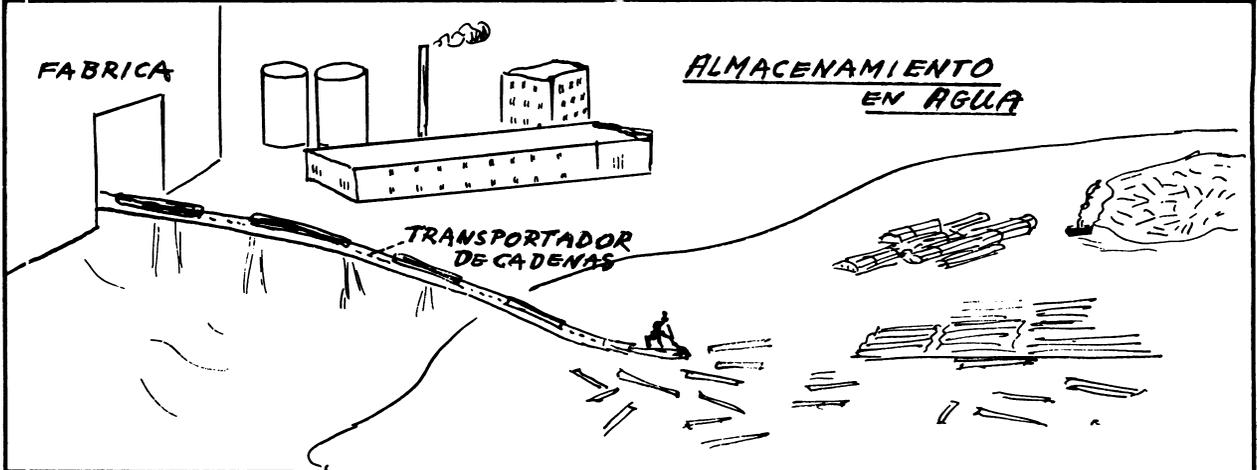
DESRAEME Y CLASIFICACION
DE MADERAS EN EL BOSQUE



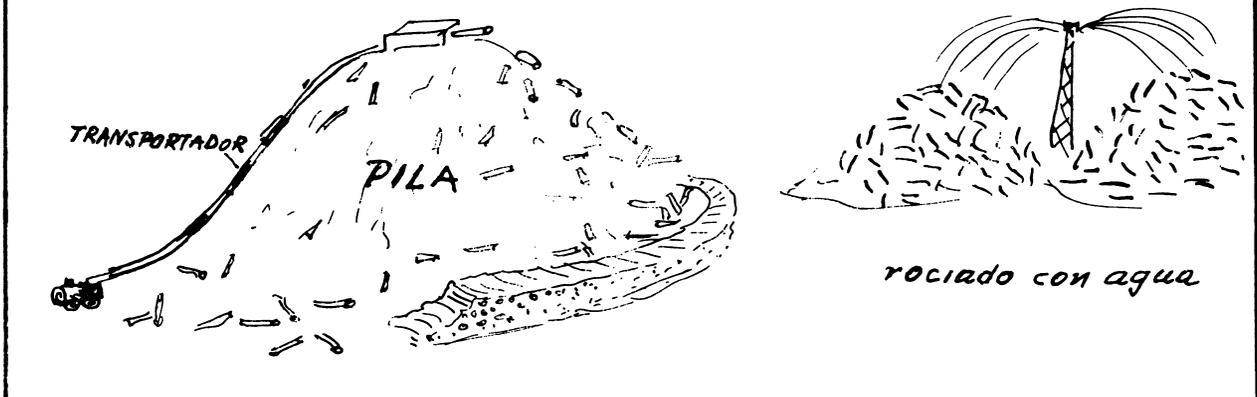
ELABORACION DE ASTILLAS
EN EL BOSQUE



DIFERENTES METODOS DE ALMACENAMIENTO DE LA MADERA

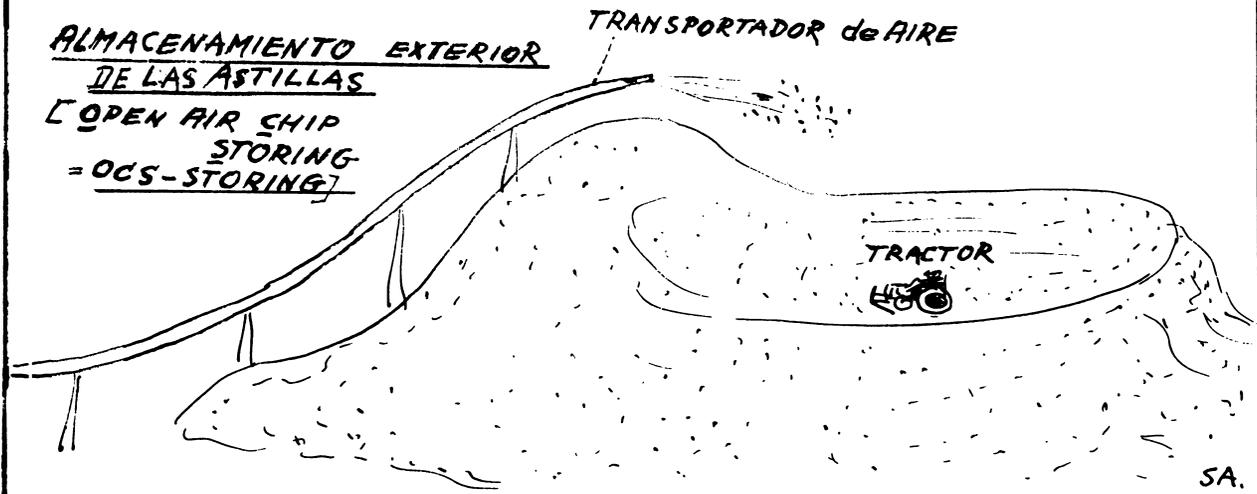


ALMACENAMIENTO EN TIERRA



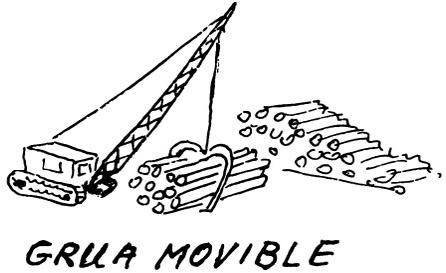
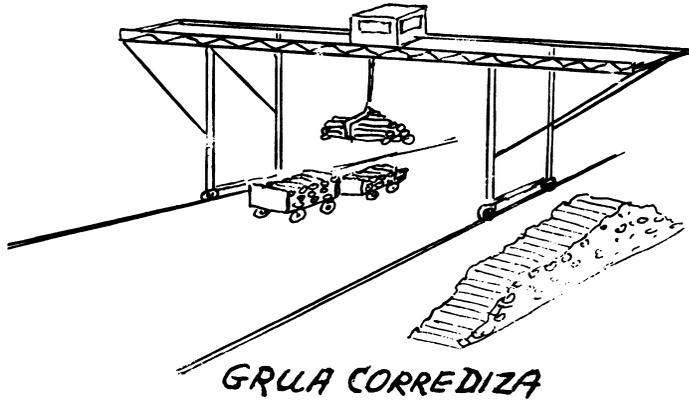
ALMACENAMIENTO EXTERIOR DE LAS ASTILLAS

[OPEN AIR CHIP STORING = OCS-STORING]

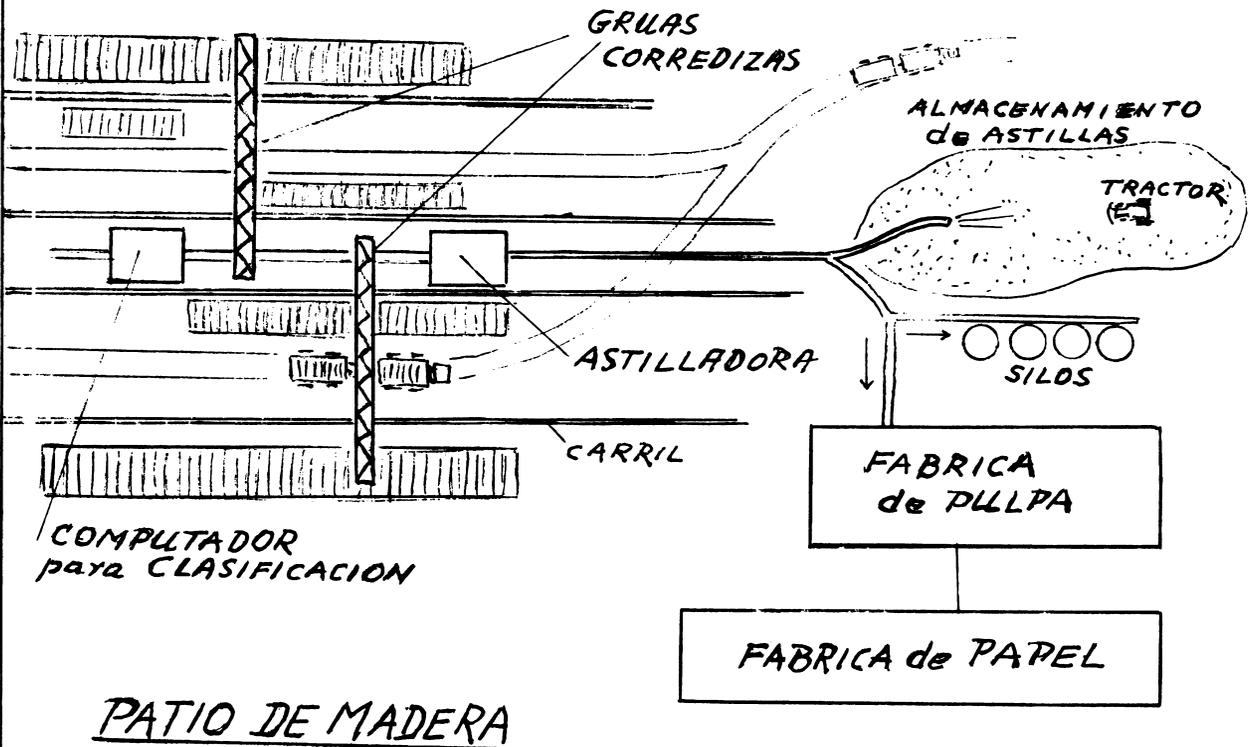


SA.

PATIO DE MADERA I

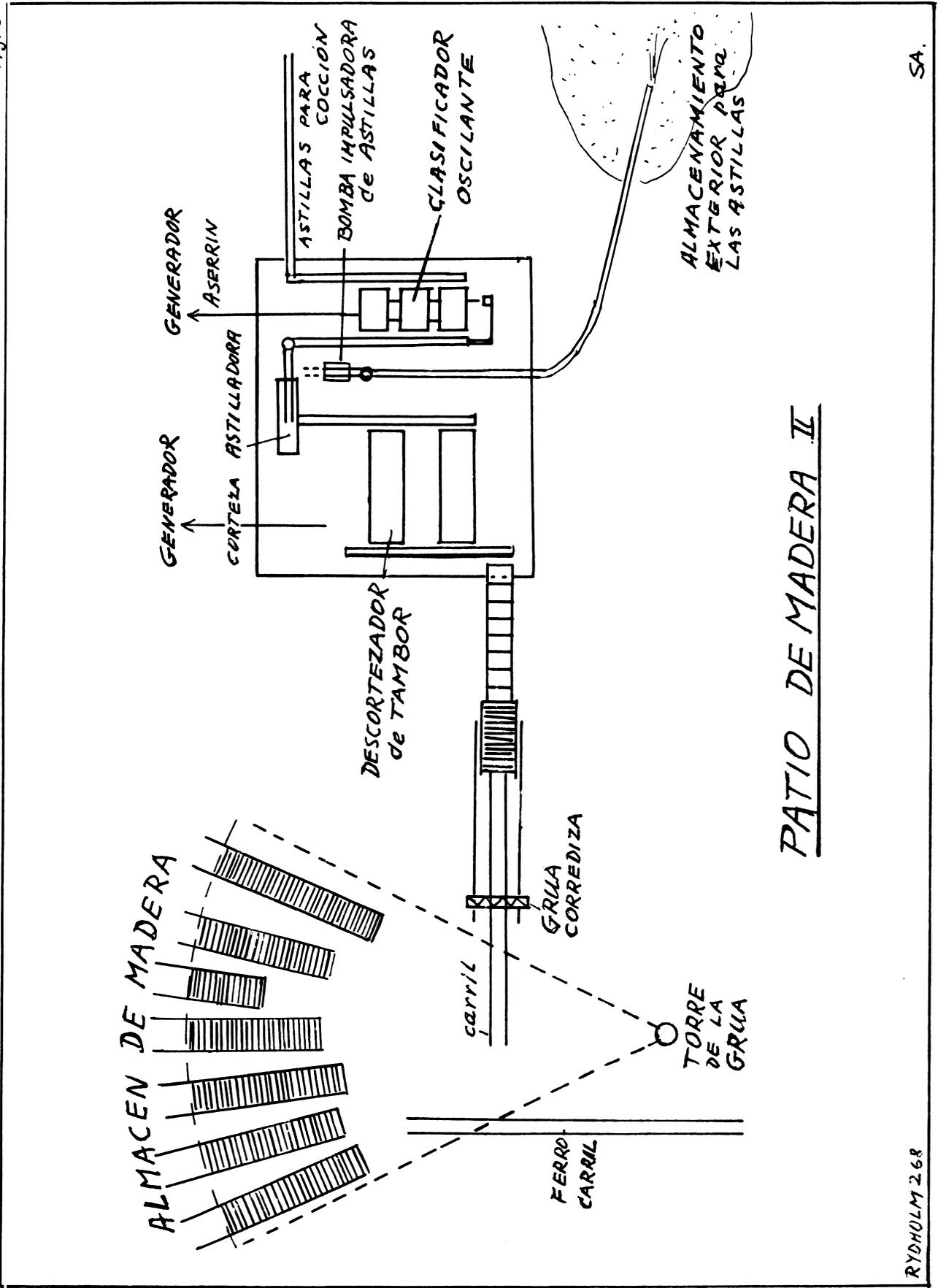


GRUA MOVIBLE



PATIO DE MADERA

Fig. 8

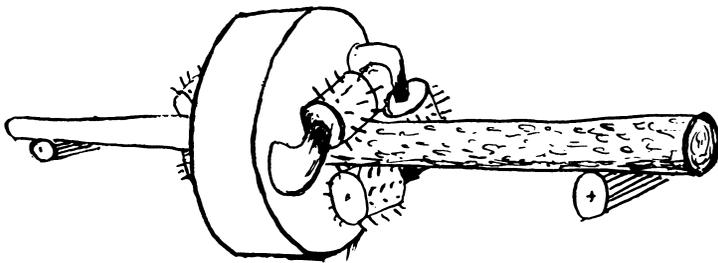
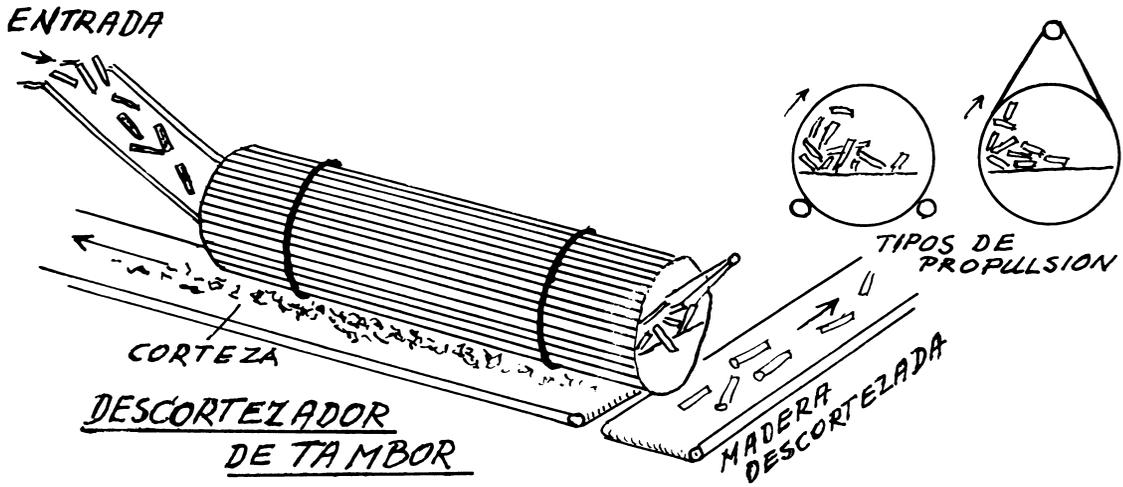


PATIO DE MADERA II

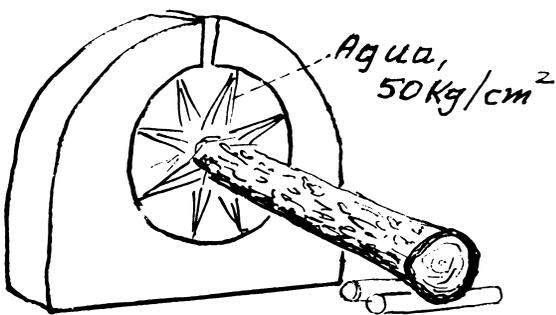
SA.

RYDHOLM 268

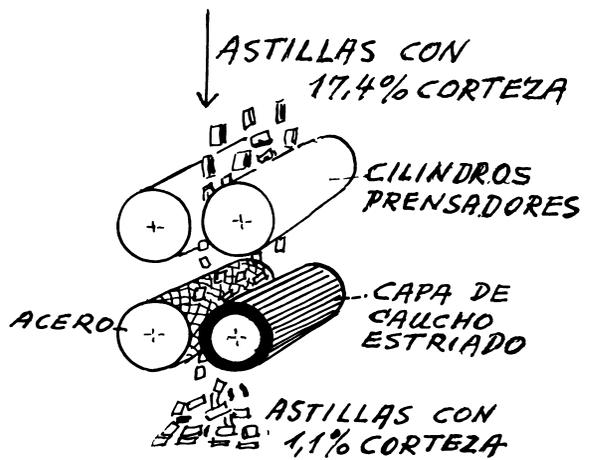
DESCORTEZADORES



DESCORTEZADOR del TIPO "CAMBIO"



DESCORTEZAMIENTO POR GOLPE DE AGUA



DESCORTEZADO DE LAS ASTILLAS

proceso es tal, que la materia prima es astillada y de las astillas se separa la corteza, sucediendo que a veces ésta ya se afloja durante el astillamiento. Hay un método mediante el cual las astillas pasan por cilindros, de los cuales uno está cubierto de caucho ranurado. Así, el porcentaje de corteza se reduce desde 17.4% hasta el 1.1%.

Para el almacenamiento de madera en el suelo existen varias posibilidades, mostradas en la fig.6. Se puede apilarla en montones grandes. Para el almacenamiento en el patio de madera se han construido varias máquinas, por ejemplo, grúas móviles, grúas correderas, grúas de torre y otras. Últimamente se han construido patios de madera de dimensiones amplias para empresas grandes (fig.7), los cuales poseen dos grúas correderas que cubren un ancho de 140 m, y pueden sacar directamente la carga de los camiones y transportarla en sentido transversal o longitudinal. Una computadora IBM mide y registra las dimensiones de los troncos que llegan, anota la especie y calcula el consumo de madera de la fábrica. De allí, pasa la madera a la astilladora que tiene una capacidad de 700 m³/día. Las astillas pasan luego por un sistema neumático hacia la fábrica, los silos o el patio de astillas.

Un almacenamiento de la madera adecuado es de gran importancia para la fabricación de pulpa o pasta. Particularmente dañinos son los numerosos hongos, cuyo desarrollo llega a su óptimo en temperaturas y humedad medias, como se presentan en el ambiente del bosque. Para proteger la madera contra el ataque de hongos, hay que guardarla muy seca o muy húmeda, lo mejor es bajo agua, ya sea en lagos o depósitos artificiales.

En todos los procesos de producción de pasta o pulpa se emplea madera en forma de astillas. La astilladora común consta de un disco-rotor pesado con 10 o más cuchillas. La capacidad productora es de 40-100 m³/h. El acceso de troncos es oblicuo desde arriba o también horizontal en el extremo inferior. Los cortes de madera son desmenuzados entre los

dientes que se encuentran en la parte movедiza del disco y los dientes fijos de la máquina (fig.10). La máquina efectúa entre 3.000 y 6.000 cortes por minuto. Debido a que las cuchillas golpean con alta energía el tronco, las astillas son comprimidas y dañadas de otros modos entre sí. La explotación y la calidad de la pasta química sufren bajo este efecto.

Para evitar estas desventajas se desarrolló la astilladora de tambor. Su parte principal consta de un tambor con dos tipos de cuchillas. Un frente de cuchillas pequeñas corta ranuras, de modo que una vez desmenuzadas estas franjas se obtienen astillas paralelas. Los detalles se muestran en la fig. 10.

La astilladora según NICHOLSON lleva varias cuchillas sobre un tambor con dos superficies inclinadas hacia adentro. En la práctica este tipo no se ha aceptado tanto como la astilladora de tambor.

Ultimamente se han desarrollado astilladoras móviles, para transformar los troncos en astillas en el mismo bosque. Tal aparato es accionado por un motor diesel. Requiere un trabajador para su manejo, que introduce los troncos en la máquina mediante una grúa. Las astillas son transportadas de una vez a un vehículo de carga, el cual las lleva a la fábrica. En el Canadá se piensa llevar la astilla del bosque a la fábrica directamente por medio de tubos de transporte.

Las astillas en general son muy irregulares y contienen muchas partículas grandes. Para reducir su tamaño, las astillas son pasadas por un molino martillador. Luego se efectúa una clasificación por medio de un clasificador oscilante, siendo la mayor parte de las astillas aceptables. Las piezas grandes son pasadas por una reastilladora para reducir su tamaño. Estas son pasadas de nuevo por el clasificador oscilante, mientras que los nudos junto con el aserrín son llevados al generador para ser quemados (fig.11).

ELABORACION DE ASTILLAS

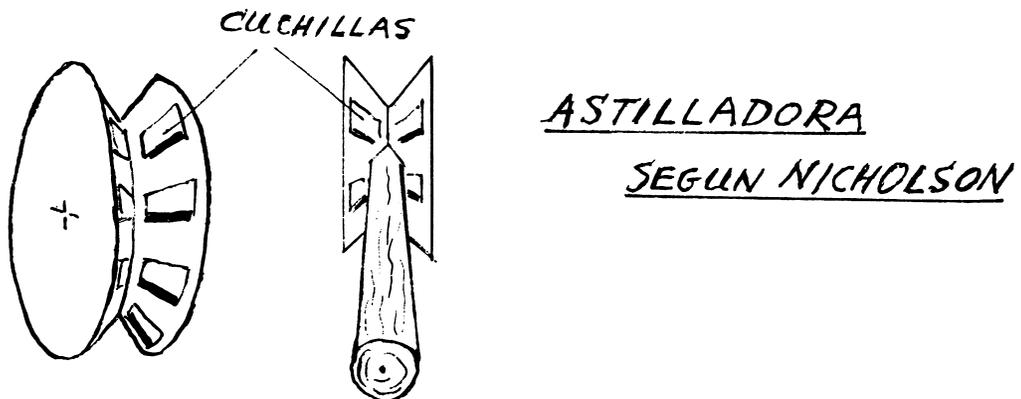
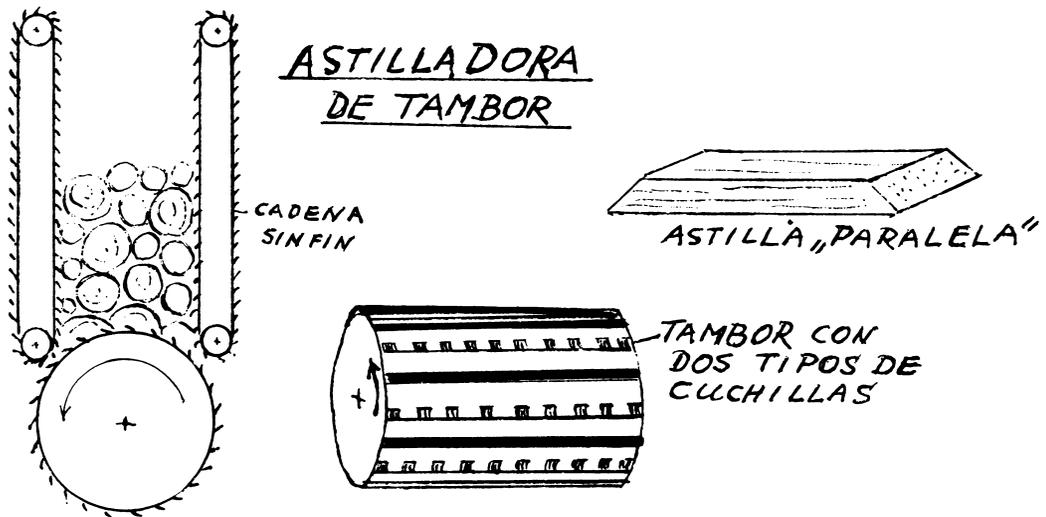
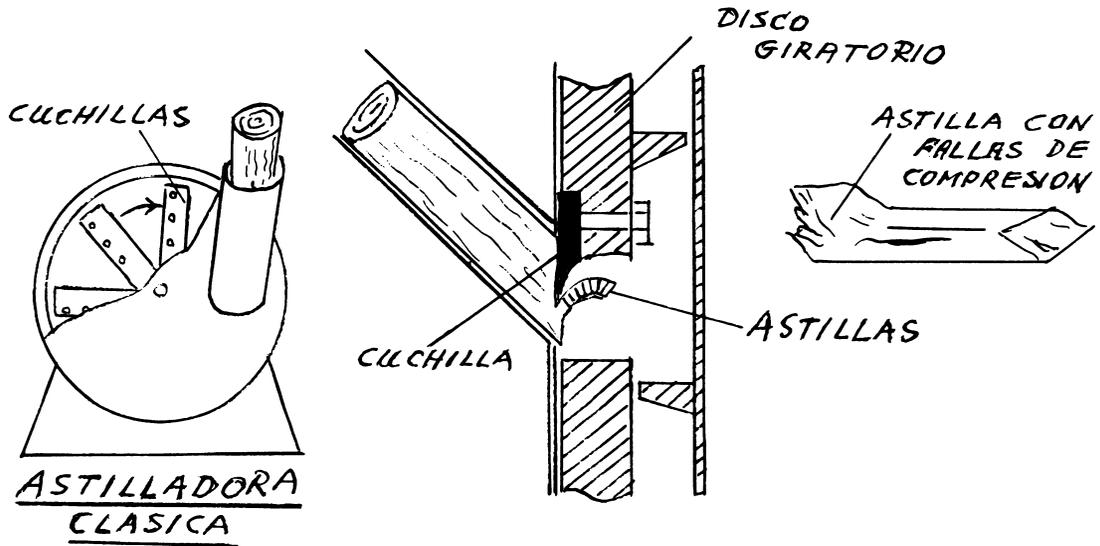


Fig. 11

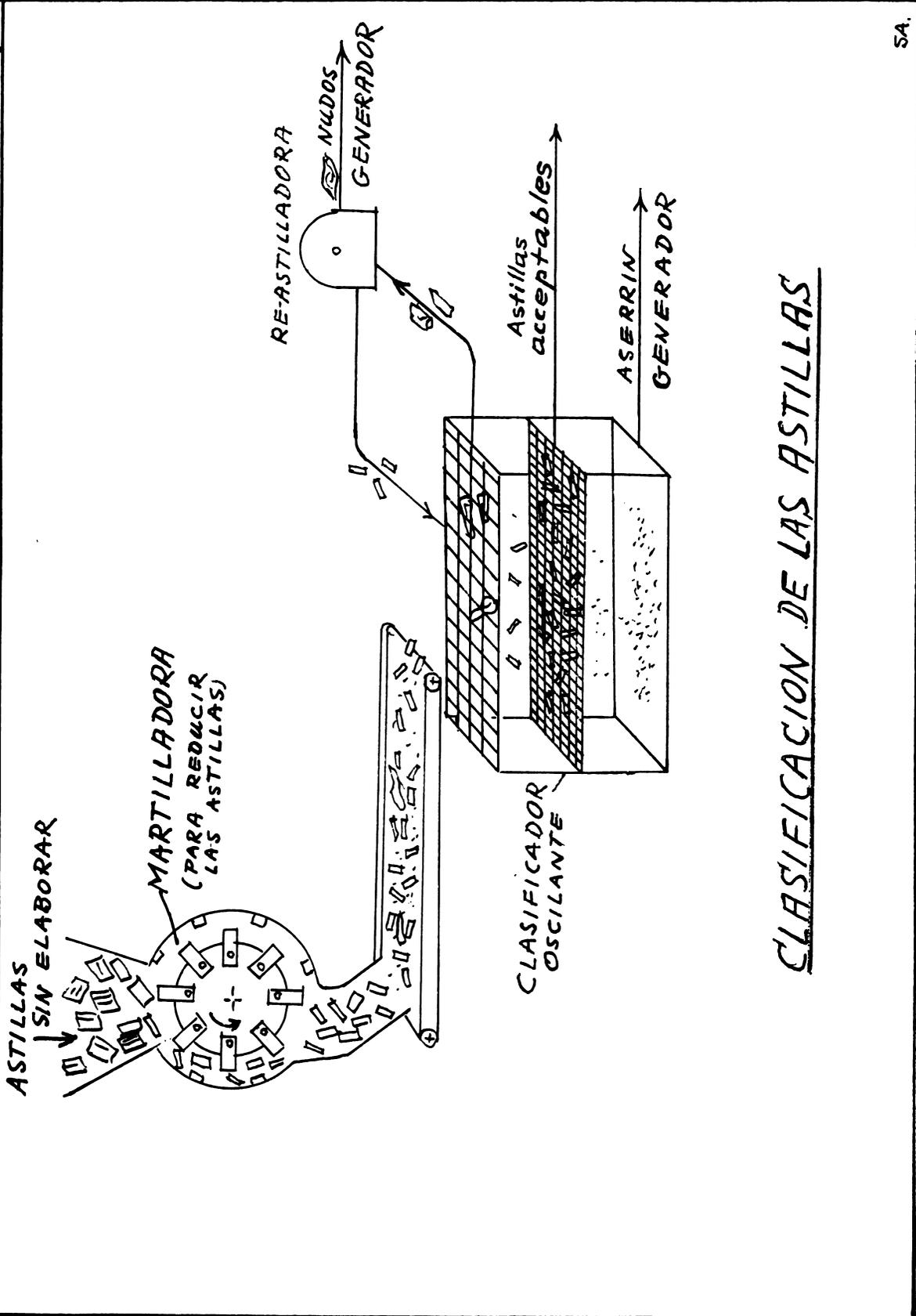


FIG. 11

SA.

CLASIFICACION DE LAS ASTILLAS

Una técnica nueva es el almacenamiento de astillas al aire libre, el cual fue llevado a cabo por primera vez en los Estados Unidos y luego también en otros países. En los países anglosajones se conoce este método bajo el nombre de "outside chip storing (OCS)". En el interior del montículo de astillas se desarrolla, debido a la oxidación, una temperatura de 50-60°C. Esta reacción es provechosa para el proceso al bisulfito, en cambio, el proceso al sulfato sufre una disminución de rendimiento del aceite tall. Sin embargo, la aplicación de este método en los trópicos aún no es conocida y debe ser planeada con cuidado, ya que debido a la actividad de los hongos puede perderse materia prima.(fig.6).

Las astillas representan hoy en día una nueva forma de materia prima. En algunos países se han establecido patios maderos independientes que compran residuos de pequeños aserraderos y otras industrias. La industria de pasta del Japón piensa construir buques para el transporte de astillas desde Australia. Con éstos el transporte de astilla sería similar al de petróleo en buques grandes.

3.12 L a _ p a s t a _ m e c á n i c a .

En la producción clásica de la pasta mecánica, las rolas de madera descortezadas son prensadas contra una muela, la cual gira a unas 250 r.p.m. El proceso consume una gran cantidad de agua como lubricante y refrigerante.

La fig.12 muestra los desfibradores con detalles de construcción. Estos son usados corrientemente en la industria:

1. Desfibrador con prensas.
2. Desfibrador con depósito.
3. Desfibrador de cadenas (tipo VOITH).
4. Desfibrador de anillo (tipo ROBERT).
5. Desfibrador tipo NORTON.

Los desfibradores tienen capacidades de 90 tt/día. Una fábrica moderna de papel para periódicos dispone de 6 a 8 de estas máquinas. El consumo de energía es de hasta 1.500 kWh. El rendimiento de pasta es de 95-98%.

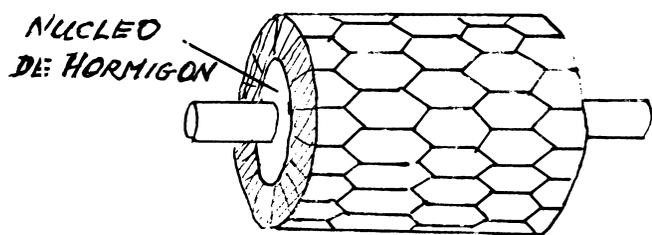
Se cuenta con que la pulpa se obtendrá en el futuro por medio de refinadores de disco (fig.14). Las astillas son puestas directamente o una vez tratadas con vapor en un PRESSAFINER en el cual el aire dentro de las astillas es eliminado por presión mecánica. De allí pasan a refinadores BAUER, u otro tipo semejante. La fibra obtenida es clasificada por el método usual y luego depurada. Esta pulpa tiene mejores propiedades que aquélla obtenida con desfibradores.

El tratamiento final de la pasta química depende de su uso previsto. La mezcla en bruto es puesta primero en un clasificador vibratorio para eliminar componentes demasiado grandes o pequeños. Después las partículas cribadas pasan a un refinador para desmenuzarlas de nuevo. El bien obtenido que ha pasado el clasificador con un contenido de 0.4-0.7% de fibras, pasa de nuevo a una clasificación en el clasificador centrífugo. Las partículas gruesas son llevadas al refinador, y de éste el material tratado es llevado de nuevo al ciclo. Otras sustancias contaminantes se eliminan en una batería de depuradores centrífugos.

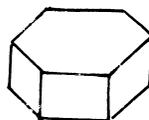
Si la fabricación de pulpa mecánica está integrada con una fábrica de papel, el concentrado pasa a un filtro espesador y llega con un porcentaje de 1.5-4.5 en fibras por medio de tubería a la fábrica de papel.

Si por otro lado la pasta debe venderse, ésta se entrega en forma sólida. Hoy en día es posible secar la pasta mecánica sin causar daño a la calidad del papel elaborado. El secado se efectúa en secadores longitudinales, en los cuales la pasta pasa por el canal de secado varias veces por planos paralelos. La pasta en forma de cartones gruesos es atada a un paquete. Un tipo completamente diferente es el secador

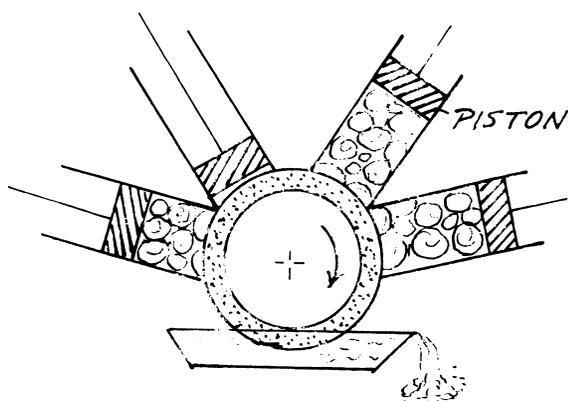
DESFIBRADORES USADOS EN LA FABRICACION DE PULPA MECANICA



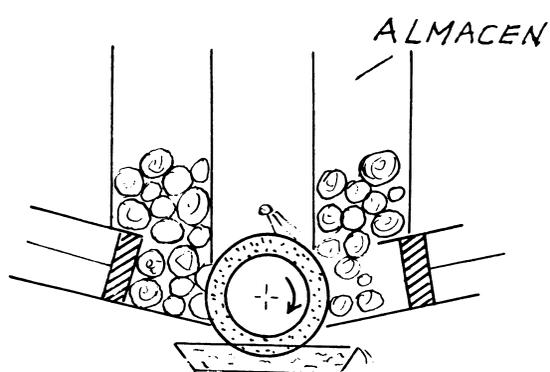
MUELA DE SEGMENTOS



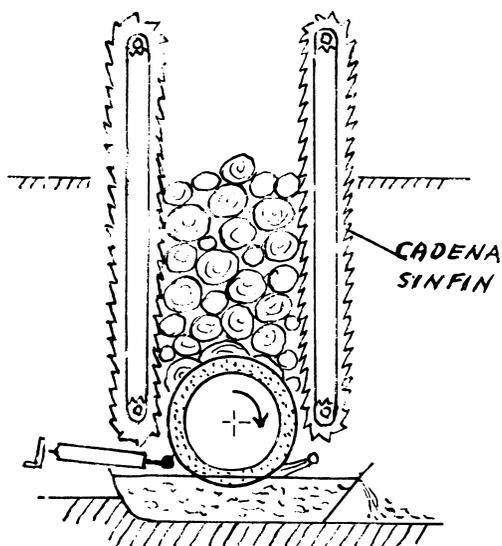
SEGMENTO DE PIEDRA ARTEFICIAL



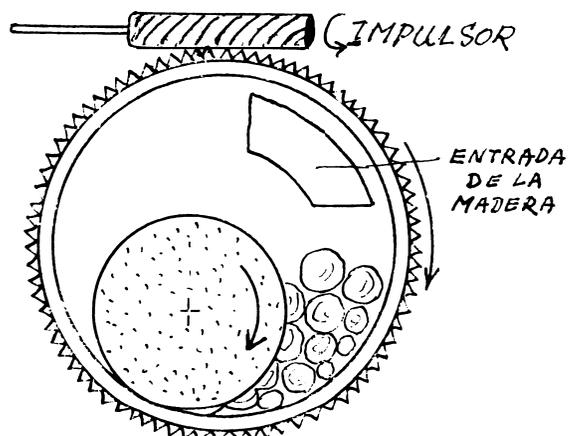
DESFIBRADOR CON PRENSAS



DESFIBRADOR DE ALMACEN



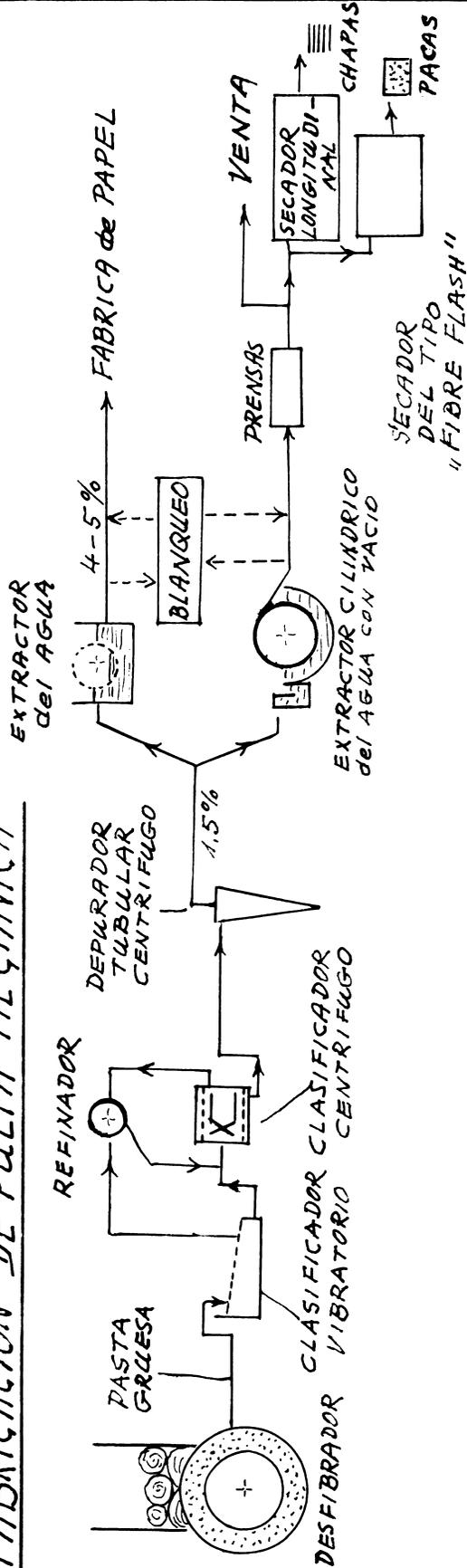
DESFIBRADOR CONTINUO SEGUN VOITH



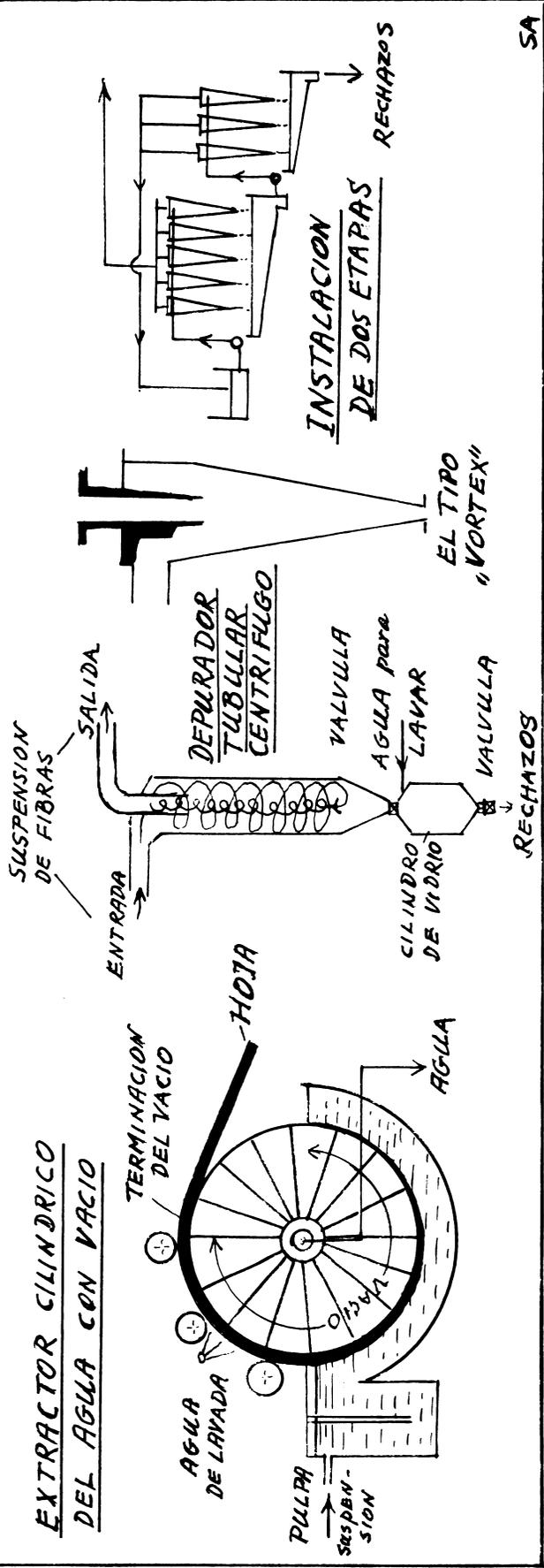
DESFIBRADOR de ANILLO SEGUN ROBERTS

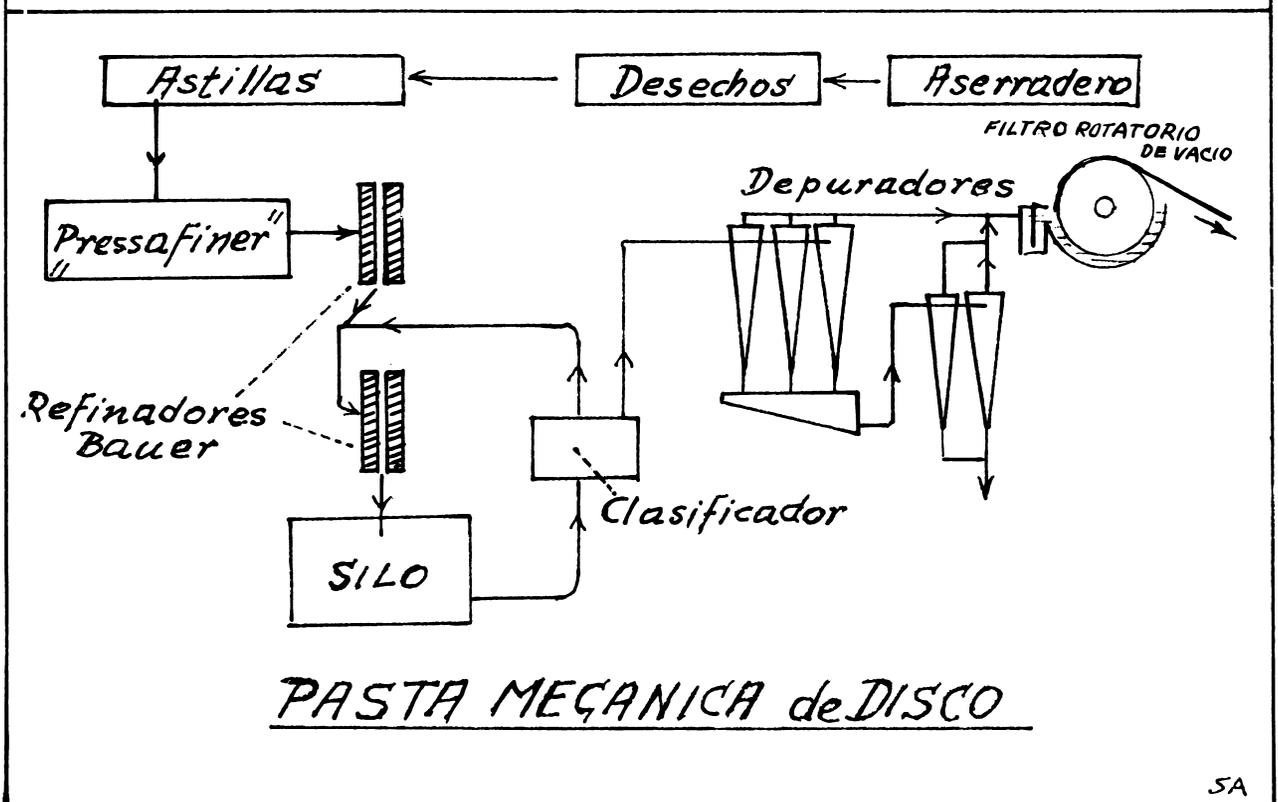
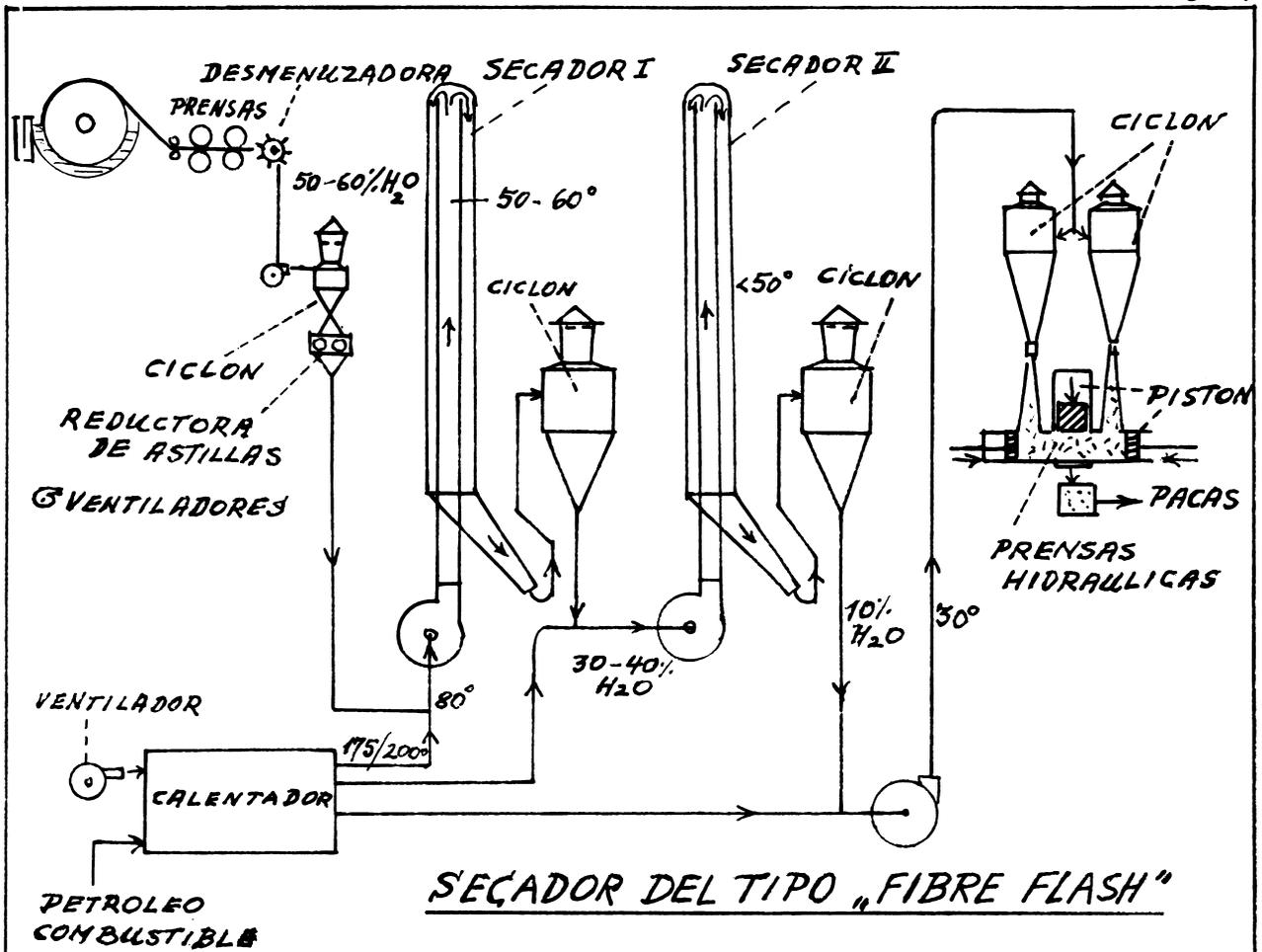
Fig 13

FABRICACION DE PULPA MECANICA



EXTRACTOR CILINDRICO DEL AGULLA CON VACIO





FIBRE FLASH. Este método de secado lleva pacas enteras con un peso específico de 0.8.

Las figs. 13 y 14 demuestran detalles de algunas máquinas mencionadas más arriba.

La producción mundial de pasta mecánica es de 15 millones tt/año. La mayor cantidad se obtiene del abeto (*Picea abies*). Pinos no son aptos en general por su contenido de resina. Una vez tratada con vapor, la madera suministra una pulpa de color pardo oscuro. En Chile se producen grandes cantidades de pasta mecánica para papel de periódicos, de pinos jóvenes sin duramen, evitando así el problema de la resina. En Argentina se usa en menor escala el álamo y el sauce. El eucalipto se puede aprovechar cuando ha pasado la edad de 200 años, como se ha demostrado en Australia. Las especies tropicales de peso específico bajo, son de interés para la pasta mecánica; p.ej. Ceiba, Balsa, Cecropia.

3.13 Los procesos de la pasta química.

En primer lugar se distingue entre procesos ácidos y alcalinos. Los datos característicos se presentan en la tabla 1.

El proceso clásico es el de bisulfito de calcio. En él, no es posible recuperar las sustancias químicas de la lejía; el pino y otras maderas no son apropiadas. En resumen, el proceso de concentrar la lejía residual presenta dificultades. Estas dificultades se evitan por los procesos modificados (STORA, MAGNEFIT, bisulfito de amonio). De estos procesos han logrado imponerse el proceso STORA y MAGNEFITO.

En éstos, el calcio es sustituido por sodio o magnesio. La lejía en el proceso MAGNEFIT se deja quemar con facilidad. Se obtiene después $SO_2 + MgO$ con lo que se puede hacer de nuevo una lejía.

El proceso al sulfato es más universal en vez de los procesos al bisulfito y modificados. Apropiado para todas las espe-

cies, inclusive aquéllas de los trópicos, que contienen gran cantidad de extractos. Asimismo es posible procesar residuos de aserraderos con restos de corteza. Otra ventaja es que es posible quemar la lejía residual, proceso con el cual se vuelven a recuperar las sustancias químicas y además se obtiene energía para toda la empresa. Adelantos notables ha hecho el blanqueo de la pasta química al sulfato, y debido a esto ha conquistado un mercado amplio.

TABLA 1: Los procesos de la pasta química.

Proceso	Maderas apropiadas	Rendimiento %	Sustancias químicas necesarias y condiciones del proceso	Recuperación	
				Calor	Sustancias químicas
Bisulfito de calcio	abeto falso	45-50	$\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ SO_2 12h, 125°C	+	-
STORA (dos etapas)	todas las coníferas, inclusive	53	1) Na_2SO_3 2) NaHSO_3 SO_3	+	+
MAGNEFIT	el pino, algunas especies de	51-58	$\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$ 3-4h, 166°C 5h, 180°C	+	+
Bisulfito de amonio	hoja ancha	45	$(\text{NH}_4)\text{HSO}_3$ SO_2	+	$\text{SO}_2 + \text{NH}_3$ difícil.
Sulfato	Especies coníferas y de hoja ancha	43-52	NaOH Na_2S (Na_2SO_4)	+	+

La técnica y química de la obtención de la pasta química es bastante amplia, de modo que en los párrafos siguientes se dará sólo una idea general de estas técnicas.

3.131 El proceso al sulfito.

La lejía de cocción se compone primordialmente de bisulfito de calcio, $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$. Se lo obtiene mediante la reacción del dióxido de azufre sobre calcio. El proceso es tal que el azufre es quemado en un quemador para obtener SO_2 . El dióxido de azufre (SO_2) es enfriado y pasado a la torre de lejía que tiene una altura hasta de 40 m. La torre está llena hasta arriba con piedra caliza. Además baja desde arriba el agua. El dióxido de azufre que entra por la parte inferior reacciona con el calcio para formar bisulfito de calcio. La lejía cruda es aclarada en un tanque y luego depositada en otro tanque, en el cual se elimina el exceso de dióxido de azufre por medio de una cocción completa (fig.15).

La cocción de las astillas con la lejía se verifica en un lejiador vertical. En fábricas grandes existe una batería de estos lejiadores, teniendo una capacidad de hasta 300 m^3 cada uno. Para la protección contra la lejía agresiva, los lejiadores están revestidos interiormente con cerámica a prueba de ácidos o piedra de carbón especial. El llenado de los lejiadores con astillas se hace desde un silo que se encuentra encima del mismo lejiador.

El lejiador es calentado indirectamente, es decir, una bomba bombea la lejía a través de un calentador, logrando de tal manera una cocción uniforme, cuya duración es de 12 horas a 125°C . Terminada la cocción, el contenido del lejiador sale por la válvula inferior y pasa a un tanque lavador para librarlo de la mayor parte de la lejía.

Luego las fibras pasan por un clasificador de astillas y a un filtro cilíndrico en el cual son libradas del resto de la lejía. Después de pasar otro clasificador, la sustancia fibrosa es concentrada en un filtro de células al vacío. Como ya se había dicho bajo la producción de pasta mecánica, es posible pasar una suspensión de 2-6% directamente a la fábrica de papel. De otro modo, la suspensión de la pasta química

ca se deshidrata hasta que quede un contenido de agua de 10%, luego formada en planchas gruesas y últimamente empacada y distribuída en forma de fardos grandes.

La lejía residual de la pasta química contiene azúcar. Después de neutralizar y aclararla, se obtiene de ella alcohol por medio de fermentación. Luego la lejía residual es puesta en una batería de evaporadores y concentrada hasta 50-60% de constituyentes sólidos. Este concentrado es rociado dentro del generador para ser quemado. (figs.15 y 17)

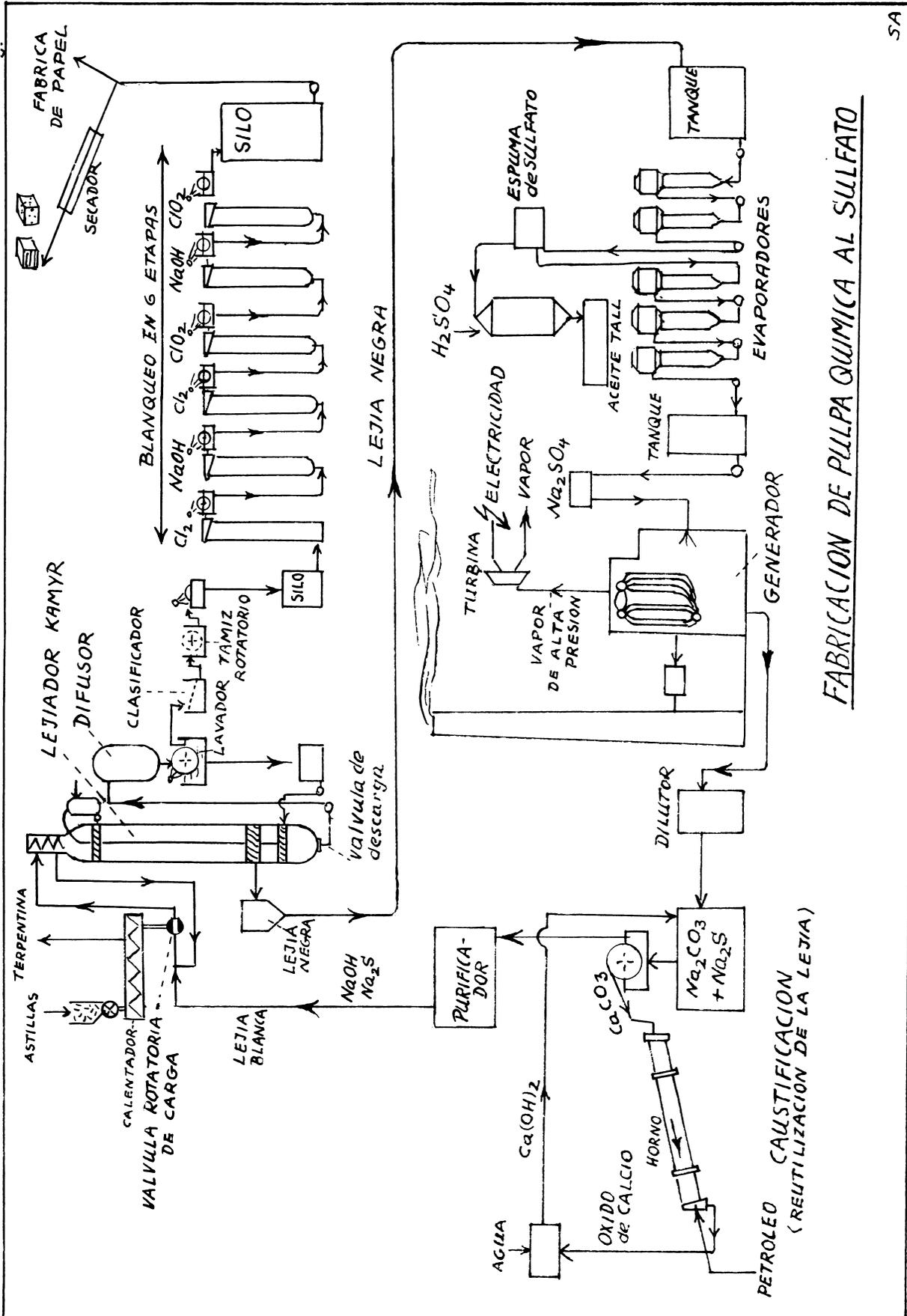
3.132 El proceso al sulfato.

La cocción se lleva a cabo durante 4-5 horas a 170-175°C, en lejiadores estacionarios, hechos de hierro corriente ya que éste no es atacado por los alcalinos, con una capacidad de 70-150 m³. La lejía contiene aproximadamente 12% de NaOH, 3-4% de carbonato sódico y 2-4% de Na₂S. En empresas modernas casi solamente se usa el lejiador continuo KAMYR. El proceso al sulfato se demuestra en la fig.16, además la tabla 2 indica el consumo de material y energía.

Las astillas pasan del silo por una válvula rotativa a un calentador. En este paso se puede destilar la trementina de las coníferas. Luego las astillas son llevadas al lejiador por un rotor de carga, en el cual entra también la lejía como medio de transporte. En este lejiador, las astillas andan desde arriba hacia abajo. En la parte inferior son retirados por una válvula de descarga. Para efecto de retirar la lejía y la recuperación de las sustancias químicas, las fibras deben ser lavadas con cuidado. La suspensión de fibras pasa por un difusor y de allí a un filtro centrífugo (lavador) en el cual se separa la lejía negra. El proceso continúa como se describe en la pasta el bisulfito (fig.16).

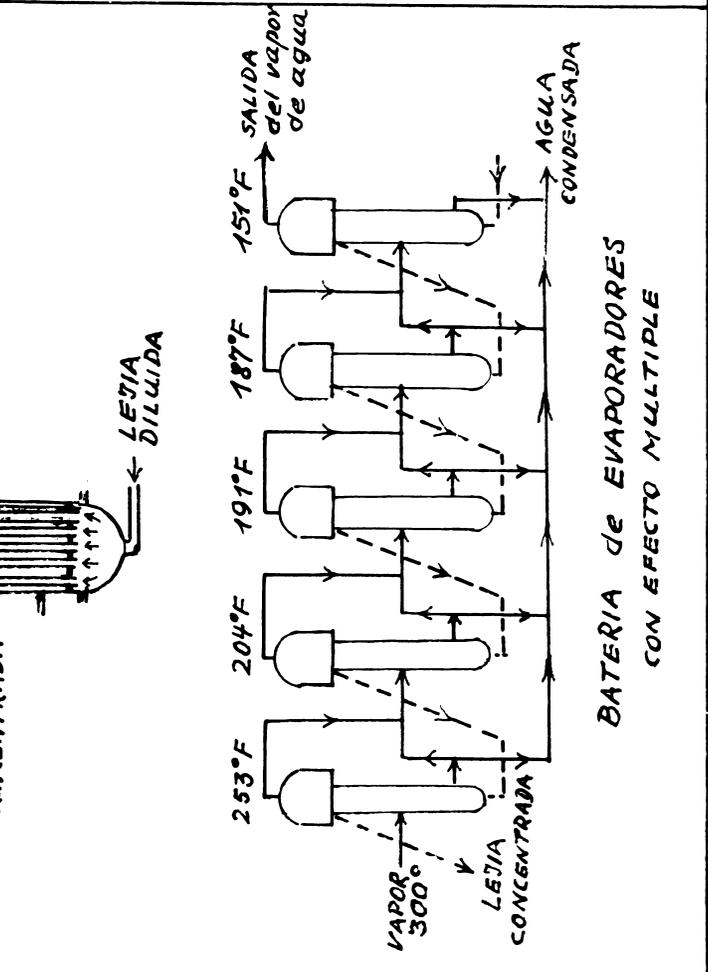
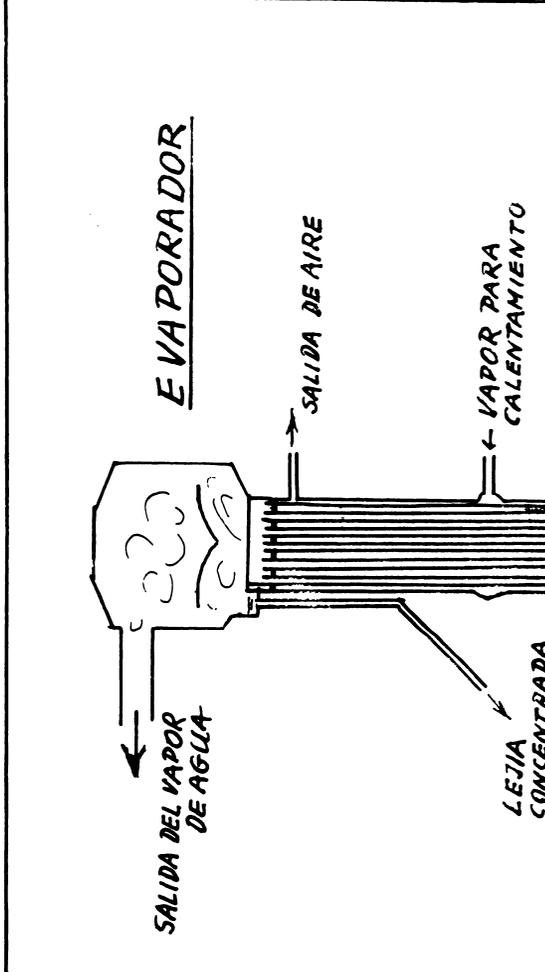
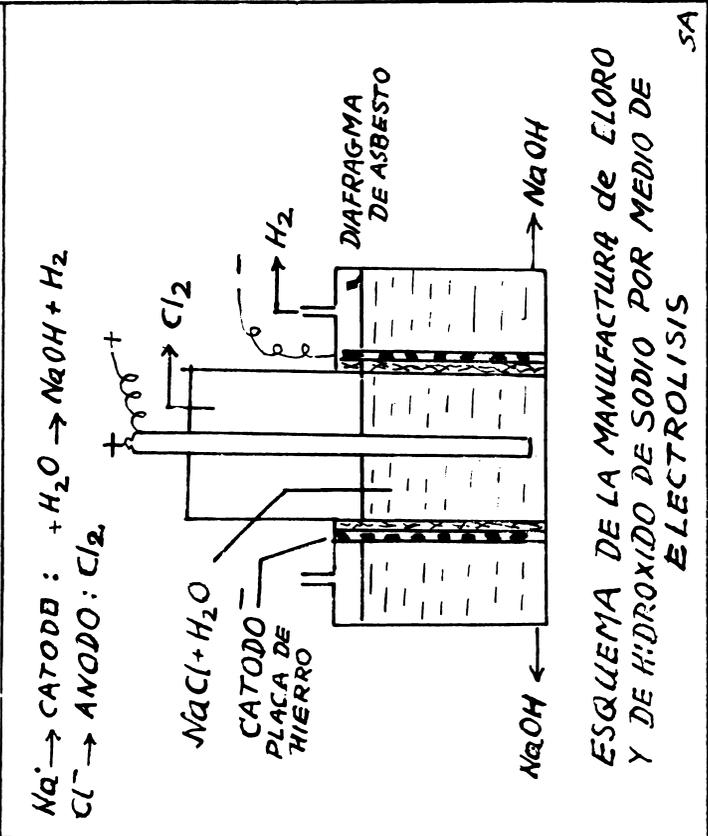
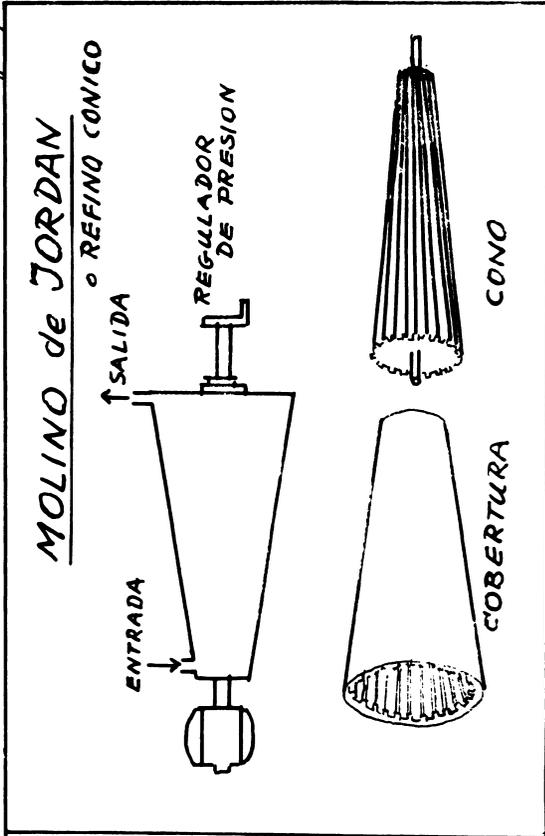
La lejía negra es concentrada a un 50% en el evaporador, un proceso en el cual es retirada la espuma que, tratada con ácido sulfúrico, forma el aceite tall. La lejía concentrada es tratada con sulfato de sodio y rociada dentro del generador.

Fig. 16



FABRICACION DE PULPA QUIMICA AL SULFATO

Fig. 17



El vapor de alta presión, producido de tal manera, pasa a una turbina para generar electricidad y vapor de baja tensión. De este modo se suministra la energía para toda la fábrica con excepción del blanqueo.

Después de la combustión, queda en el generador el fundido de las sustancias químicas. Este contiene gran cantidad de soda, la cual tiene que transformarse en hidróxido de sodio: El fundido es diluido en agua y removido con cal apagada.



Como producto derivado se produce carbonato de sal insoluble. Este es separado en un filtro centrífugo y transformado en cal viva en una caldera rotativa.

Como productos secundarios en el tratamiento de pino se obtiene trementina, metilmercaptano, dimetilsulfido y ácido sulfhídrico. Las materias sulfurosas producen un olor tan desagradable que no se debieran instalar fábricas de pasta química al sulfato cerca de ciudades. Sin embargo, últimamente se llegó a disminuir estos olores, oxidando la lejía residual mediante aire y cloro y dióxido de cloro.

Dado el caso de encontrarse dificultades en el establecimiento de una fábrica debido a los malos olores, se recomienda comprobar el proceso MAGNEFIT o STORA.

Para obtener del proceso al sulfato una pasta soluble (celulosa para la producción de fibras) es recomendable efectuar una hidrólisis con ácido diluido o agua caliente. Este procedimiento destruye las hemicelulosas, cuya presencia debe evitarse en la producción de fibras.

TABLA 2: Consumo de material y energía por tonelada de pasta química al sulfato.

	Madera m ³	Na ₂ SO ₄ Kg	CaO Kg	Vapor tt	Energía KWh	Agua m ³
Pulpa química al sulfato, no blanqueada	7-8	120-140	340-410	5.1-6.1	400-500	270
Pulpa química al sulfato, blanqueada	8.5	160	450	8.5	700	525

3.14 L a _ p a s t a _ s e m i q u í m i c a .

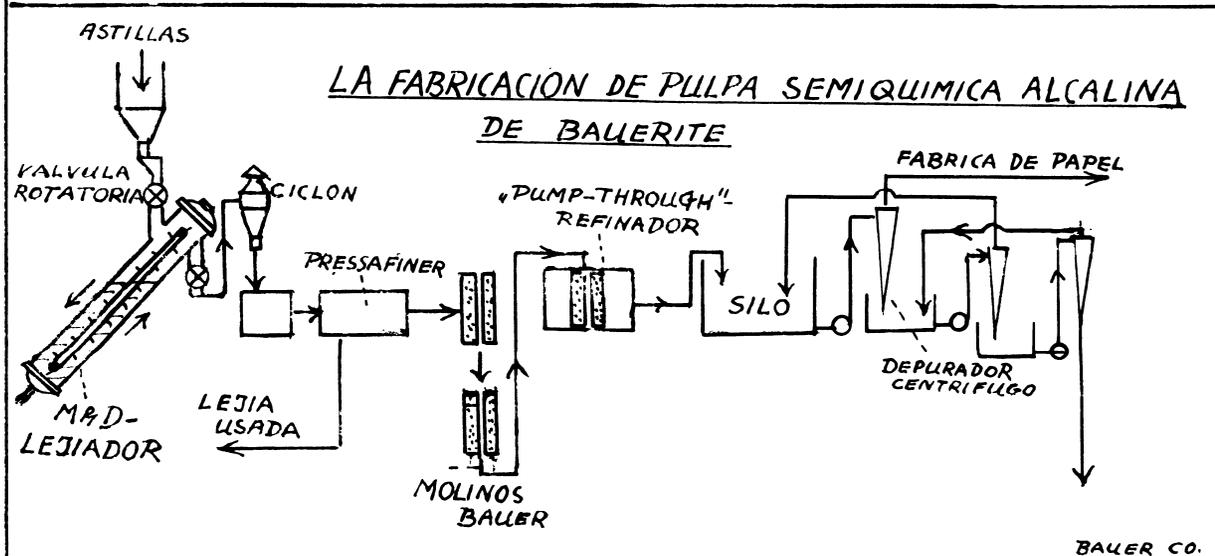
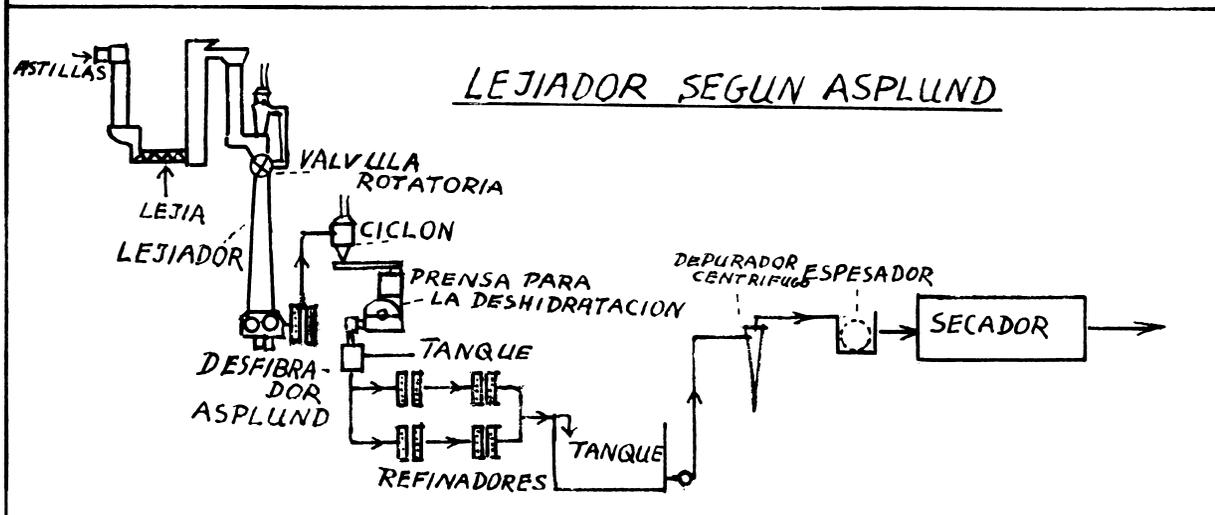
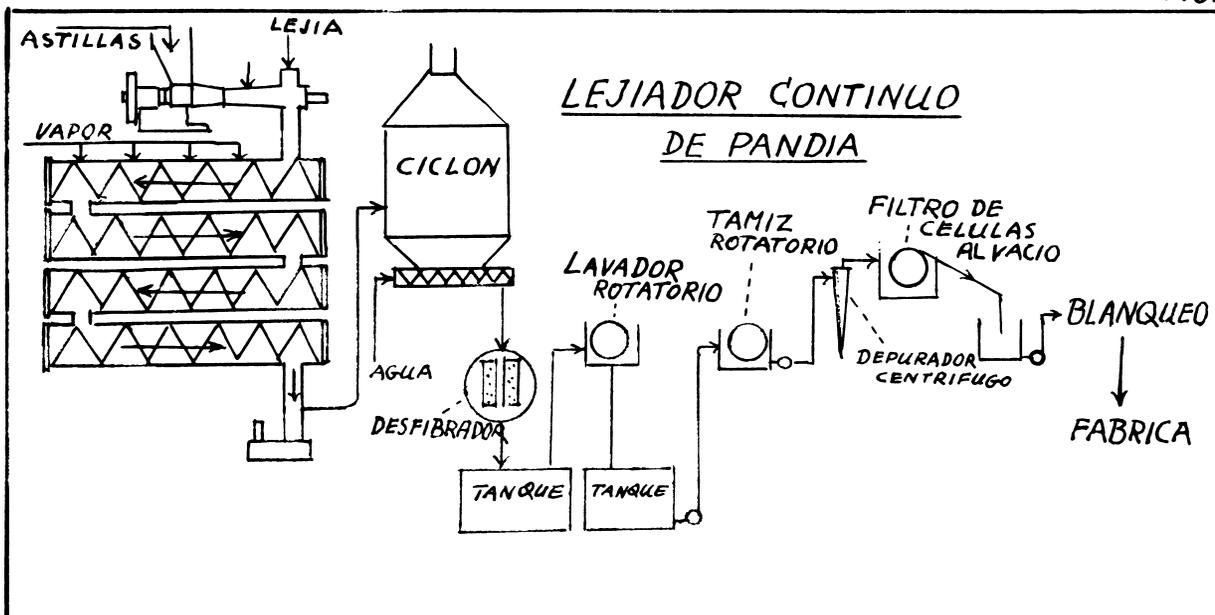
Debido a que la pasta semiquímica se obtiene de maderas latifoliadas, la fabricación de aquélla es de importancia para los países tropicales. Lo más conveniente es una empresa combinada, ya que entonces la lejía residual puede ser quemada en una fábrica de sulfato adyacente, y la pasta semiquímica puede usarse de una vez para la fabricación de papel o cartón.

La pasta semiquímica también puede usarse como aditivo a muchos papeles, y aún sustituir la pulpa de coníferas. Este desarrollo ha sido fomentado en los últimos años en el Japón.

El rendimiento de la pulpa semiquímica es por lo tanto mayor al de la pulpa química y llega hasta un 85%, después del blanqueo a un 65%. La cantidad de sustancias químicas para la cocción es reducida, eliminándose solamente una parte de la lignina. Entre los diversos procesos conocidos hoy en día, elegimos unos cuatro para describirlos.

1.- Pasta semiquímica de alto rendimiento (high yield pulp).

Estas pastas se obtienen según los métodos corrientes para la elaboración de pasta química, siendo sólo el tiempo de cocción menor, seguido por una desfibración mecánica. El



BAUER CO.

PULPA SEMIQUIMICA

SA

rendimiento es de 55 a 60%.

Así por medio del proceso al sulfato se obtiene una pasta se
miquímica que se utiliza como "Kraft-Liner" para cartón co-
rrugado.

2.- Pasta semiquímica-mecánica (chemiground wood).

Según el proceso LIBBY la madera en rollo es impregna-
da en un lejiador con una solución de diferentes compuestos.
Generalmente se usa sulfito de sodio con adición de bicarbo-
nato de sodio, pero también se usan soluciones alcalinas de
sulfito de sodio.

Las maderas impregnadas se dejan desfibrar fácilmente en el
desfibrador. El proceso es poco aplicado, p.ej. por la em-
presa GREAT NORTHERN PAPER CO.

3.- Proceso NSSC.

El proceso NSSC tiene su denominación del inglés (nneutral
sodium sulfite semichemical process). Astillas de madera, de
10-15 mm de ancho, son impregnadas con una solución que con-
tiene sulfito y bicarbonato de sodio. Luego la fabricación
de la pulpa se efectúa en la mayoría de los casos en un le-
jiador continuo, a una temperatura óptima de 170-180°C. El
rendimiento es del 85% aproximadamente.

Como lejiador continuo se puede utilizar aquel descrito en el
proceso KAMYR (fig.16). Además se desarrollaron algunos le-
jiadores especialmente para este propósito, tal como el tipo
PANDIA o ASPLUND (fig.18).

Se comprobó como muy eficiente, eliminar el aire de las ast
illas antes de la cocción para que la lejía pueda penetrar me
jor a éstas. Para tal fin fueron construídas prensas espe-
ciales para la impregnación, p.ej. del tipo BAUER. Una vez
fuera del lejiador, la astilla es desfibrada en refinadores
(BAUER, SPROUT-WALDRON) y clasificada.

Para propósitos particulares se puede blanquear la superfi-
cie con bisulfito de sodio y peróxido.

La pasta semiquímica NSSC se produce hoy día en todo el mundo con diversos métodos. Para su obtención se aprovechan solamente maderas latifoliadas. La pasta NSSC es usada en especial como "fluting" o sea para el cartón corrugado, formando el interior. Utilizando cajas de cartón corrugado en cantidades grandes para el empaque de bananos, la producción de pasta semiquímica tiene hoy día un papel importante en América Latina (fig.21).

4.- Proceso al hidróxido sódico en frío (cold caustic soda process).

Las astillas, impregnadas con una lejía de soda cáustica al 2,5%, se dejan desfibrar fácilmente en desfibradores. La impregnación se efectúa con frecuencia en prensas de hélice. Este método se ha llegado a conocer como proceso BAUERITE (fig.18). En este proceso es recomendable tratar las astillas en un lejiador durante 20 minutos a 20°C y 10 atm. antes de la desfibración. Como se había dicho, la impregnación es también posible mediante prensas específicas. La preparación de las fibras después de la desfibración se efectúa según los procesos conocidos.

La pulpa obtenida según el proceso BAUERITE puede emplearse para la fabricación de papel para periódicos, papel de empaque, cartón corrugado, papel higiénico, papel para libros y revistas, y para tableros de construcción.

3.15 E l _ b l a n q u e o _ d e _ l a s _ p a s t a s .

Los restos de la lignina en la pasta causan que el color de la misma no sea completamente blanco. Los agentes de blanqueo accionan mediante oxidación o reducción. Estos atacan la lignina, transformándola en sustancias solubles en agua, las cuales son separadas de la pasta mediante agua. Las sustancias blanqueadoras reductoras tienen un efecto de poca duración. Blanqueadores oxidantes son cloro, dióxido de cloro. El cloro y el álcali son producidos en fábricas grandes de pasta química mediante electrólisis de soluciones de sal

de cocina, NaCl (fig.17). Un proceso de blanqueo de pasta química al sulfato en varias etapas se muestra en la fig.16. El blanqueo de la pulpa, pasta química y semiquímica ha hecho grandes adelantos en los últimos años. Así fue posible sustituir la pasta química al sulfato del abeto por la pasta química al sulfato del pino en el sector de papeles para periódicos. La pasta semiquímica blanqueada sustituye la pasta mecánica y la pasta química al sulfato en los sectores de papel de imprenta y para escribir. Pastas blanqueadas sirven como materia prima para fabricar RAYON.

3.16 E l _ p a p e l .

3.161 L a t e o r í a d e l a f o r m a c i ó n d e l a h o j a d e p a p e l .

El papel es una hoja, compuesta de fibras sueltas, las cuales están ligadas por adhesión. Esta adhesión se provoca por los llamados enlaces de hidrógeno que se encuentran entre los grupos hidroxiles de la celulosa. Prácticamente son las hemicelulosas que actúan como cola entre las fibras. Por esto, las pastas químicas con bajo contenido en hemicelulosas, incluso algodón que consta casi totalmente de celulosa pura, no dan papeles fuertes.

La resistencia del papel no está influida sólo por el contenido de hemicelulosas, sino también por el tamaño de la capa adhesiva. Este depende del diámetro y del espesor de la pared de las fibras (fig.19).

La sección transversal de las fibras muestra las diferencias esenciales para la formación de la hoja de papel. Existen dos extremos con muchos intermedios. El tipo plano tiene fibras con una pared delgada y lumen ancho. El tipo tubular tiene la pared gruesa con el lumen reducido. Cuando se elabora pasta química, se elimina la lignina que forma el esqueleto de las fibras. Como consecuencia, la fibra del tipo plano se aplasta, mientras que la del tipo tubular guarda su

forma (fig.19).

Las fibras de pared gruesa y lumen angosto dan un papel de poca densidad con características de papel secante. La solidez de este papel no es alta, ya que la superficie de contacto entre las fibras es pequeña. Dentro de las fibras y en los espacios entre ellas se encuentra aire, que debido a la refracción de la luz produce un blanco intenso. Tenemos aquí el mismo fenómeno que se presenta en la espuma, por ejemplo de la cerveza, cuyo color blanco se debe al aire que está encerrado. Un papel con un alto grado de blancura es usado para ser impreso por ambos lados, ya que el negro del impreso no trasluce al otro lado de la hoja. Este comportamiento óptico favorable se le denomina opacidad.

Otro caso se presenta en las fibras de pared delgada con lumen ancho. Estas se aplastan en forma de cinta. En la formación de papel, las fibras en forma de banda se estrechan o recaen una sobre la otra (fig.19). Debido a que hay muy poco aire entre las fibras, el papel no muestra gran opacidad. Es más o menos transparente.

Para muchos papeles de imprenta se requiere papel con buena opacidad. Por lo tanto, es aconsejable hacer una mezcla que contenga cierta cantidad de fibras gruesas. En este caso se usa en primer término pasta de madera latifoliada.

La longitud de las fibras también influye sobre la consistencia del papel. En general las fibras de las coníferas son más largas que las de madera latifoliada (tabla 3).

El papel para periódicos requiere una alta cantidad de fibras largas. Las fibras largas sólo se obtienen de coníferas, aunque hasta cierto grado las fibras del bambú son también apropiadas. Por consiguiente, sólo en aquellos países latinoamericanos que disponen de bosques de coníferas o bambú se encuentran fábricas de papel para periódicos (Chile, Brasil, México, Argentina).

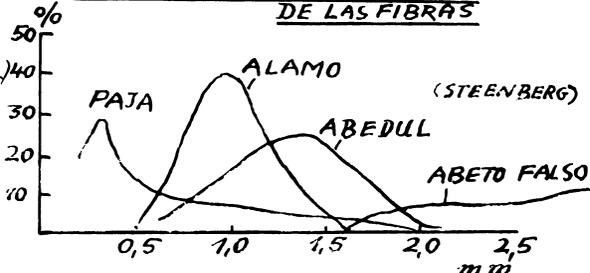
DEPENDENCIA DE LA CALIDAD DEL PAPEL DE LOS FACTORES ANATOMICOS DE LAS FIBRAS

LONGITUD DE LAS FIBRAS

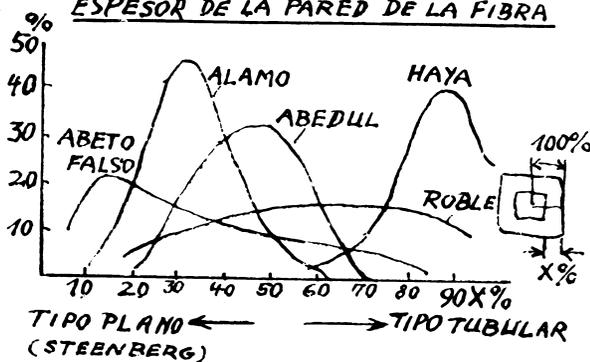
0,95	GUAYACAN (<i>Tabebuia guayacan</i>)
1,0	EUCALYPTUS GLOBULUS
1,12	COURBARIL (<i>HYMENAEA COURBARIL</i>)
1,34	LAUREL BLANCO (<i>CORDIA</i>)
1,74	MANGLE
1,89	DETERMA (<i>Ocotea rubra</i>)
BAMBUL	2,7
PINUS SYLVESTRIS	3,5
TAXODIUM DISTICHUM	6
SEQUIOIA SEMPERVIRENS, REDWOOD	7

1 2 3 4 5 6 7
mm

DISTRIBUCION DE LA LONGITUD DE LAS FIBRAS



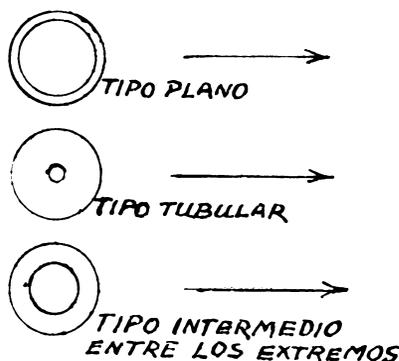
ESPESOR DE LA PARED DE LA FIBRA



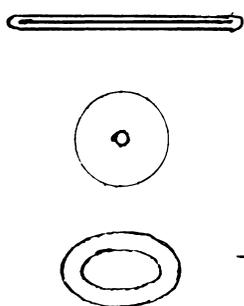
ESPESOR DE LA PARED

ESPESOR DE LA PARED	%
BALSA, y <i>Musanga Smithii</i>	<10
LAUREL (<i>Cordia</i> sp.)	26
EUCALYPTUS SALIGNA	40
COURBARIL	45
DETERMA (<i>Ocotea rubra</i>)	57
GUAYACAN (<i>Tabebuia guayacan</i>)	63
EUCALYPTUS GLOBULUS	64
GUAYACUM SANCTUM	80
EUCALYPTUS GOMPHOCEPHALA	80
MANILKARA BIDENTATA	84
MANGROVE, MANGLE	87

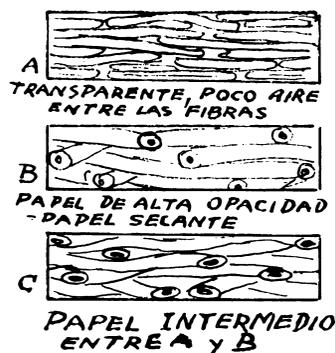
FIBRAS de la MADERA



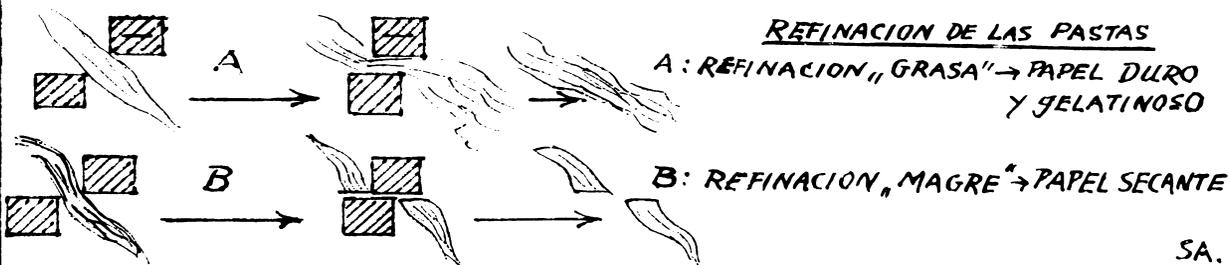
FORMA DE LAS FIBRAS EN LA PULPA



PAPEL



REFINACION DE LAS PASTAS



SA.

TABLA 3: Longitud de diversas fibras en milímetros.

	Promedio	Mínimo	Máximo
<u>Coníferas</u>			
Sequoia sempervirens	6.1	2.9	9.3
Picea sitchensis	5.6	3.6	7.3
Pinus caribaea	4.6		
<u>Latifoliadas</u>			
Populus sp.	1.9		
Eucalyptus globulus	1.0		
Albizzia falcata	1.0		
<u>Bambúes</u>	2.7		

En general, al comparar la pasta química de coníferas con la de latifoliadas, debe tomarse en cuenta que las maderas latifoliadas contienen mayor cantidad de células parenquimáticas y vasos, como lo muestra la tabla 4.

TABLA 4: Clases de fibras en la pasta química (en %).

	Fibras	Radios medulares	Células parenquimáticas	Vasos
Coníferas	90-95	4-9	1.4 (canales <u>re</u> sinosos)	
Latifoliadas	37-76	15-30	4.6-10	7 (Roble) 30 (Haya)

Aparte de los factores anatómicos que influyen sobre las calidades de las fibras, se presentan factores físicos y químicos. Estos últimos no se discutirán aquí. Los procedimientos técnico-industriales de la pasta tienen como fin, darle a ésta las calidades deseadas.

3.162 La técnica de la producción de papel.

Para la fabricación del papel las fibras son sometidas a una refinación. Esta se verifica mediante refinadores de disco o cónicos (figs. 14 y 17). Luego la pulpa es mezclada con colorantes, cola de resina, cargas y otros materiales, y movida en un recipiente. Después, la suspensión de fibras pasa a la máquina de papel (fig. 20).

En la caja de entrada, un mecanismo de precisión que trabaja mediante aire comprimido o bombas, la suspensión de fibras es transformada en una capa absolutamente pareja. Actualmente, en empresas modernas, el espesor de la hoja de papel es medido automática y continuamente. La corrección es controlada automáticamente.

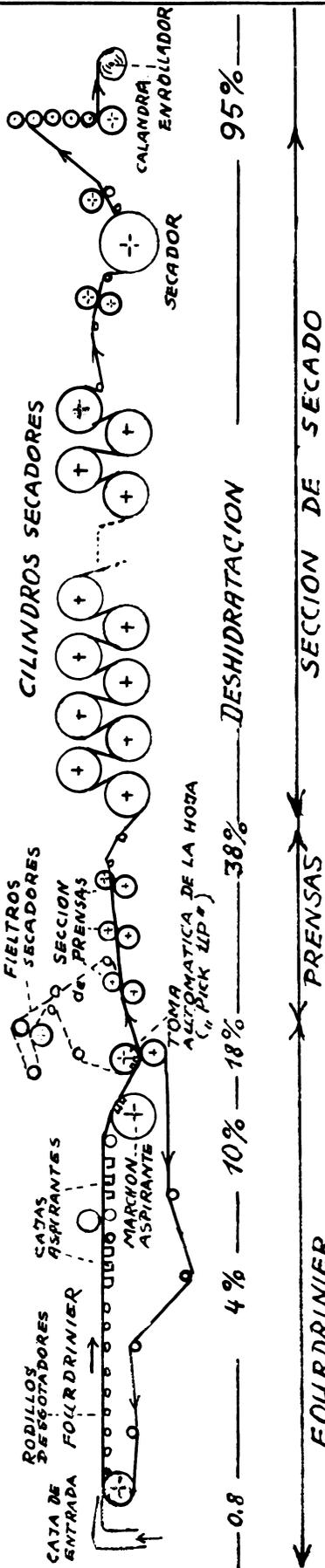
La máquina de papel consta fundamentalmente de tres secciones:

1. Tamiz sin fin con rodillos desgotadores y cajas aspirantes (sección FOURDRINIER)
2. Prensas húmedas
3. Cilindros secadores

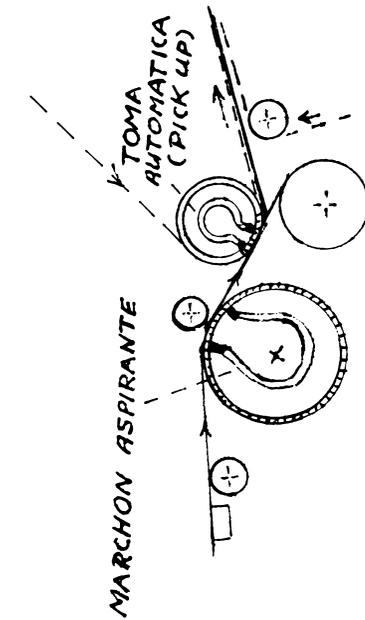
En la primera sección la concentración inicial de la suspensión de fibras de 0.8% es aumentada por los rodillos desgotadores a 4%. Luego de pasar las cajas aspirantes y el marchón aspirante, la concentración aumenta hasta un 18%. Al final de la primera sección de deshidratación, la hoja de papel pasa a la segunda sección de secado por medio de la toma automática (pick-up).

La toma automática mostrada en detalle (fig. 20) consta de un cilindro rotativo con una cámara de succión en su interior la cual tiene su cara de succión dirigida hacia la hoja de papel. El cilindro exterior perforado transporta el papel y lo pasa junto a la cámara de vacío. Esta instalación se

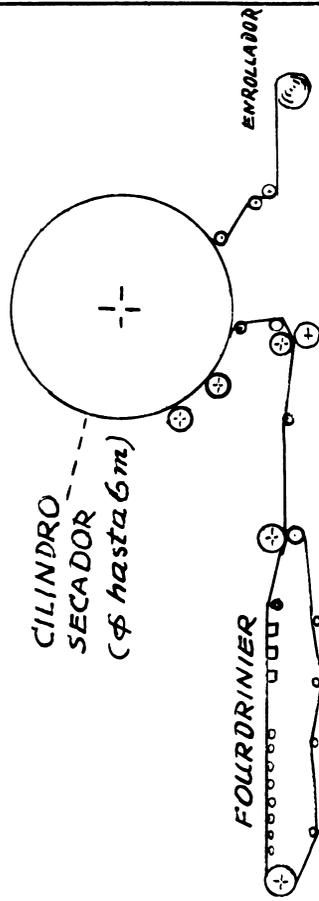
VELOCIDAD DE TRABAJO DE HASTA 1000 m
 ANCHO DE TELA > 9m
 LONGITUD: ~ 100 m



MAQUINA DE PAPEL



TOMA DE LA HOJA con VACIO



MAQUINA DE PAPEL YANKEE

mostró muy valiosa ya que con ella es posible alcanzar velocidades hasta de 1.000 m/min con la máquina de papel.

Luego la hoja pasa a la sección de prensas. En ésta, el contenido de fibras pasa de 18 a 38%. El secado siguiente, hasta un 95% de contenido de fibra, se efectúa por medio de cilindros secadores, calentados por vapor. Sobre la batería de cilindros secadores corren cintas de fieltro sin fin, entre las cuales precede la hoja de papel, dejando su humedad hasta que quede sólo un 5%. El fieltro por sí es secado continuamente por otros cilindros calentados. La cantidad de cilindros secadores depende de la especie de papel que se va a fabricar (tabla 5).

TABLA 5: Especie de papel, número de cilindros secadores y ancho de la cinta.

Especie de papel	Número de cilindros	Ancho de la cinta (m)
Para escribir e imprenta de buena calidad	12-13	2-5
Calidad media	19-31	2.2-3.2
Para periódicos	32-48	4-9

Quizás el secado por cilindro no es una solución óptima. Es posible que en el futuro se utilice un sistema cerrado de secado. Estos sistemas son aplicados en la industria textil (secadores de toberas) y en la industria de madera contraenchapada (secadores de cinta). En último tiempo ya se han probado nuevas posibilidades, tales como el secador de radiación y el secador horizontal. En este último, el papel pasa a través de él varias veces en cintas paralelas. Se dice que alcanza velocidades hasta de 900 m/min y producciones hasta de 200 tt/día. También en la sección FOURDRINIER se instalaron algunas innovaciones en varias fábricas modernas. Se trata del sistema de succión ROTABELT, desarrollado en Inglaterra.

terra, el cual hace posible una deshidratación rápida.

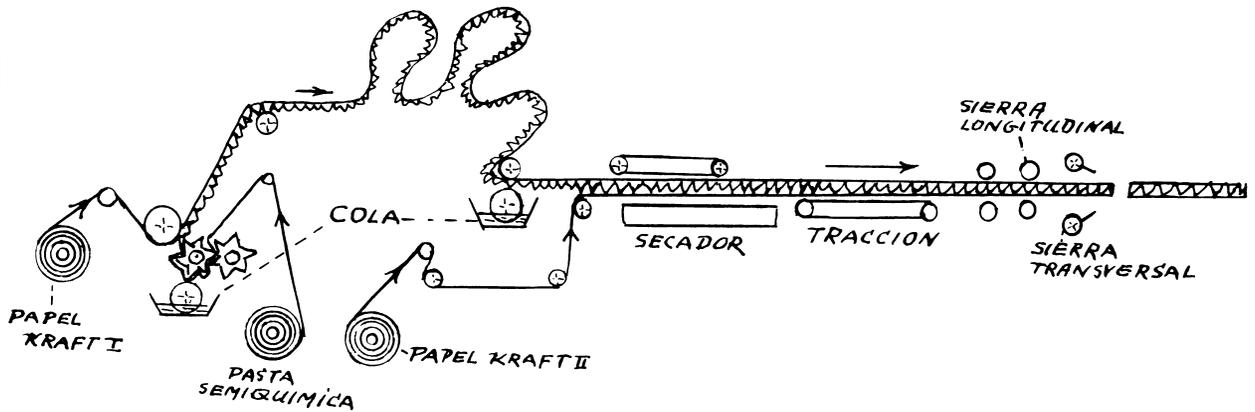
La máquina de papel clásica descrita tiene una longitud notable, hasta de 100 m. Otra, usada hoy día para múltiples propósitos, tiene solamente un cilindro de secado, por lo tanto muy grande, que puede alcanzar un diámetro de 6 m. Este cilindro hace a la vez la función de rodillo de prensado. Esta máquina desarrollada en Norteamérica, se la conoce por máquina de papel YANKEE. Sirve ante todo para la fabricación de papeles fuertes (papel Kraft) y papel crespado como papel higiénico y de servilletas (fig.20).

Para la fabricación de cartones y de papeles con múltiples capas se procede a conectar en serie varias máquinas de papel de criba redonda, de las cuales cada una fabrica una capa. La máquina de papel DUPLEX pega o junta dos capas de papel. Entre tanto se han desarrollado nuevas máquinas para la fabricación de papel. Las más interesantes son descritas más adelante.

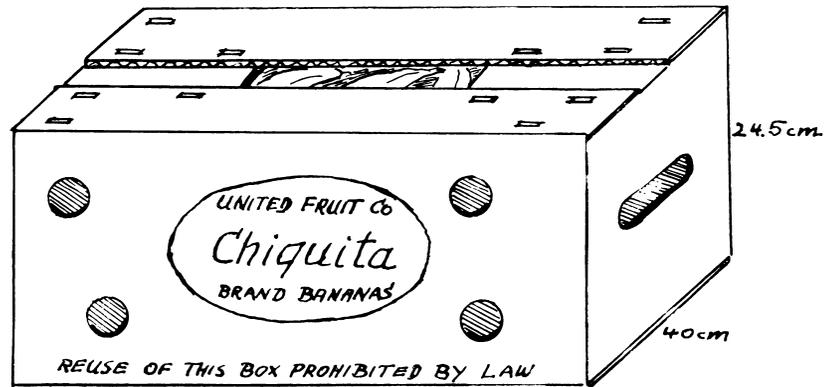
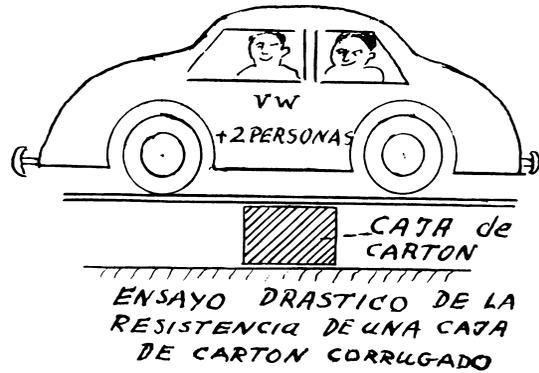
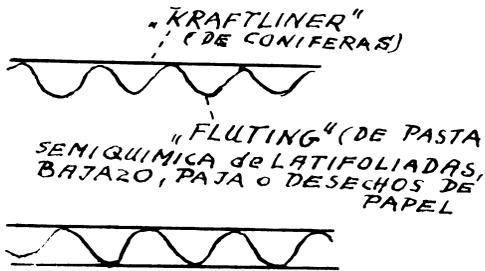
La máquina INVERFORM de la ST. ANNE'S BOARDMILL CO. LTD., Bristol, y la ROTOFORMER de la SANDY HILL IRON AND BRASS WORKS. La máquina INVERFORM se adapta en especial para la fabricación de cartones y cartulinas. La máquina tiene una velocidad apreciable de 450 m/min en cartulina y 900 m/min en cartón. El ROTOFORMER es una máquina apta para la fabricación de papel y cartulina, y ya se encuentra instalada en varias fábricas modernas.

Además de las máquinas mencionadas, se encuentran muchas otras en desarrollo. Ha llamado la atención la máquina VERTIFORMA de la empresa BLACK-CLAWSON. En ésta, la deshidratación es efectuada hacia ambos lados. Además debe ser posible desarrollar velocidades de 1.500 m/min. Existen en el mundo unas 6.000 máquinas de papel. Debido al alto costo de inversión, en las fábricas nuevas se prefiere instalar máquinas modernas.

CARTON CORRUGADO



FABRICACION DE CARTON CORRUGADO
(ESQUEMA)



CAJA PARA TRANSPORTE DE BANANOS
(USO EN ECUADOR: 60 MILLONES/AÑO)

Un desarrollo interesante en el último tiempo lo constituye el papel dilatante (CLUPAK, EXPANDA). El proceso se basa en que el papel con un contenido de 65% de agua pasa entre una cinta de caucho y un cilindro secador, entre los cuales experimenta una expansión fuerte, la cual es eliminada poco después. La retracción consiguiente produce un "crespado interno". Por medio de este proceso se consigue una buena expansión longitudinal del papel. Estos papeles son usados especialmente en el sector de empaque o para sacos de papel. Este nuevo papel se siente como una tela, pero resulta más barato. Se piensa emplearlo como sábanas o paños.

El papel Kraft de coníferas, enunciado varias veces anteriormente, es importante en la fabricación de cartón corrugado. Este cartón consta de la "onda", conocida internacionalmente como FLUTING, y de una o dos capas de papel exterior, llamado LINER. El LINER es hecho generalmente de papel Kraft. Para el material del FLUTING se usa una pasta de paja o papel usado (fig.21).

Para cajas de cartón (CONTAINER) se usa cartón corrugado. La solidez del cartón corrugado se mejora empleando FLUTING de pasta semiquímica en lugar de papel usado. Un container de este material posee propiedades excelentes, las cuales se demostraron en Alemania mediante un método drástico. Sobre un container se colocó un tablón y sobre éste, un Volkswagen con dos pasajeros (fig.21).

En general, se denomina por papel aquellos productos de fibra con peso de 6-250 g/m²; como cartulina, aquéllos con un peso de 250-500 g/m² y como cartón, aquéllos con 500-1.000 g/m².

3.17 E l _ a g u a .

La cuestión acerca del abastecimiento y tratamiento del agua se trata con mayor detalle, debido a su importancia para los países tropicales.

Uno de los problemas más importantes en la instalación de fábricas de pasta química y de papel es el abastecimiento con agua suficiente. Algunas industrias necesitan tal cantidad de agua, similar al gasto de una ciudad grande. Para reducir el consumo, algunas fábricas usan de nuevo el agua, una vez que se haya purificado (tabla 6).

TABLA 6: Consumo de agua

	Pasta química m ³ /t	Papel m ³ /t
Sin usar de nuevo		600
Usada de nuevo: 1940-1950	500-600	350
1965	300	150

Una industria de pasta química de 60.000 tt/año -siendo esta cantidad el límite inferior de rentabilidad- produce diariamente unas 200 tt de pasta química y requiere en agua 60.000 m³/día. Para simplificar, se puede decir: Producción anual de pasta química en toneladas = consumo diario de agua en m³.

Aparte de las cantidades de agua exigidas, su calidad es de importancia primordial, en primer término su dureza. De la última depende el tratamiento que se aplica de antemano al agua. Por consiguiente, hay que determinar los grados de dureza, unidad de medición que desafortunadamente no tiene uniformidad internacional.

Se hace una diferencia entre la dureza de carbonato (dureza temporal) y dureza de no-carbonato (dureza permanente). La dureza de carbonato está dada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de bases alcalino-térreas (calcio, magnesio) las cuales se mantienen en solución mediante ácido carbónico.

Las bases alcalino-térreas que aparecen en forma de clóricos, sulfatos, silicatos, fósforos y humatos producen la dureza de no-carbonato. Respecto a su dureza, el agua se clasifica como muy blanda, blanda, medio dura, bastante dura, dura y muy

dura.

El agua denominada como medio dura y más, según esta graduación tiene que ablandarse, ya que de otro modo aparecen perturbaciones en la fábrica.

Se aprovecha agua de ríos y lagos, a veces, y para ciertos propósitos, agua de pozos. Pero en la mayoría de los casos el agua tiene que ser purificada.

La purificación mecánica de sedimentos se hace mediante filtros. Luego el agua pasa por un pozo, agregándose sulfato de aluminio. Se forma hidróxido de aluminio, el cual se precipita encerrando los sedimentos y partículas. Los demás elementos son apartados mediante un filtro de arena, y con esto el agua queda disponible para la mayoría de sus usos en la fábrica.

En el agua para el generador de vapor no deben aparecer del todo elementos endurecedores, ya que de otro modo se producen incrustaciones en el sistema, lo que lleva a un mayor gasto de combustibles debido a una disminución de transferencia de calor. El agua es ablandada especialmente mediante aditivos químicos como calcio, soda, soda cáustica, trifosfato de sodio, etc. Ultimamente se usan intercambiadores de iones, tales como permutita. En caso de generadores a alta presión, el agua debe ser librada de oxígeno y dióxido de carbono. Asimismo es necesario proceder a eliminar todos los elementos arenosos, lo cual se logra mediante óxido de magnesio o permutita especial (PERMUTIT ES).

En los países tropicales con épocas de lluvia definidas se debe incluir en el planeamiento de la provisión de agua, a largo plazo, medidas destinadas a la forestación. Si los bosques en el curso superior del río se encuentran devastados, debido a la erosión, llevará gran parte del suelo río abajo. De este modo el agua se encuentra enriquecida con sedimentos y materiales orgánicos en gran cantidad. La purificación del agua es dificultosa y además se reducen las

reservas de agua en los suelos de los bosques (fig.22).

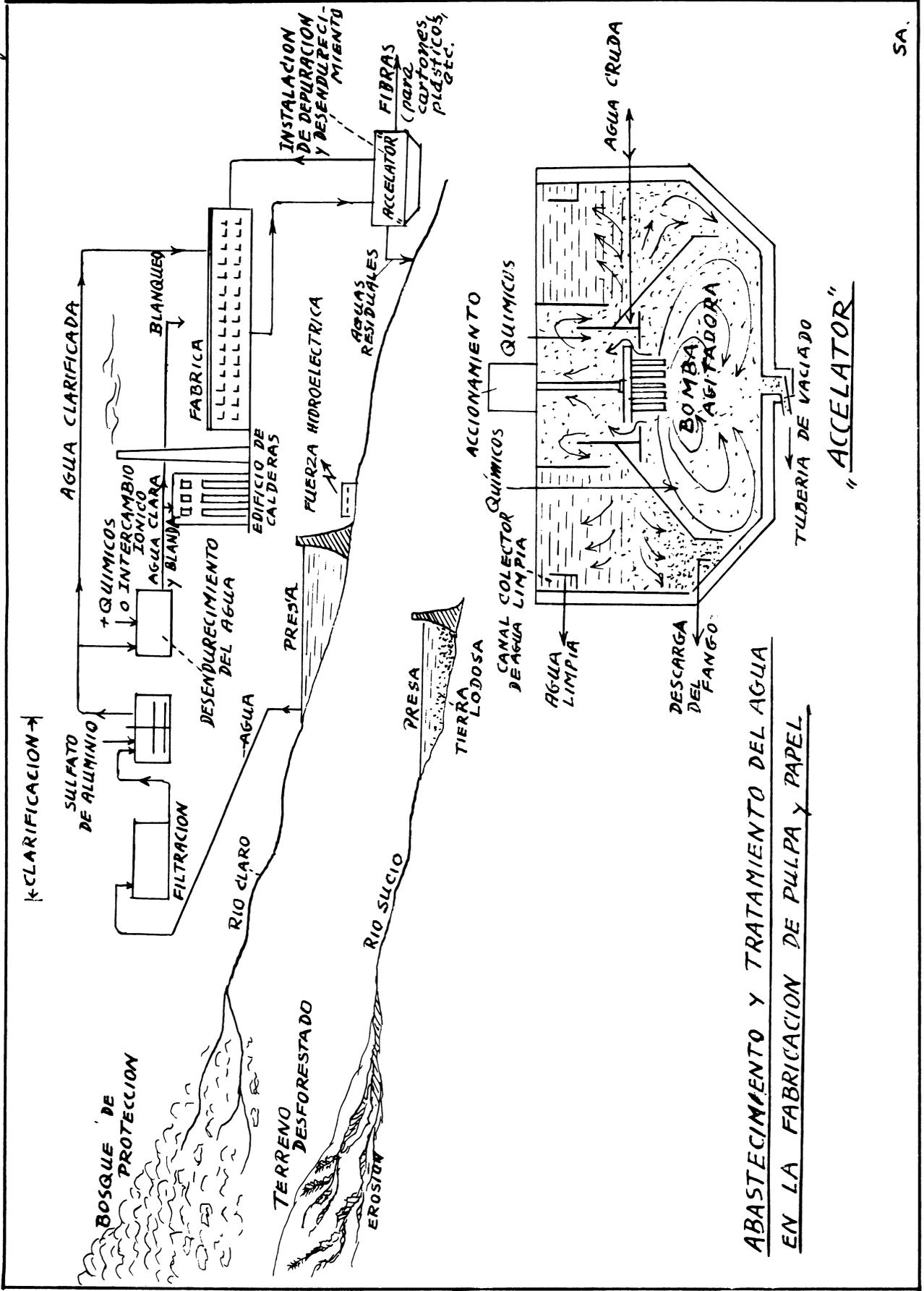
El mismo problema de la sedimentación provoca la erosión en las presas, elevando su fondo, y por consecuencia, reduciendo su capacidad. Para el fomento de la industria de pulpa y papel son necesarios bosques de protección intactos en la cuenca superior del río. En este caso de purificación del agua y las instalaciones de presas, como reservas de agua y depósitos de energía, no ofrecen problemas.

Las aguas residuales también hay que purificarlas antes de dejarlas escapar, con excepción de cuando pueden salir al mar o a ríos grandes. Las aguas residuales contienen azúcar, ácido lignosulfónico, fibras, harina de fibras y pigmentos. En la descomposición de esas materias, el oxígeno del agua es consumido, provocando mortalidad de peces y putrefacción del agua. Se logra una mejora, tratando las lejías residuales con vapor, pero aún la contaminación debida a fibras y partículas disueltas es considerable.

La purificación completa de las aguas residuales es impuesta por ley en muchos países, p. ej. en Alemania. En general la purificación es hecha en diferentes secciones, en las cuales se agregan agentes químicos a las aguas residuales para lograr la precipitación de las impurezas. Los tipos de instalaciones de purificación se conocen bajo diversos nombres (ADKA, SAVALLA, SEDIFLOTOR, CLARIFLOTOR, ACCELATOR, etc.). Para la explicación respecto al modo de funcionamiento de la purificación, se ha expuesto en el esquema el ACCELATOR (fig.22):

Consta de un recipiente redondo, dividido en varias cámaras de reacción. La cámara de mezcla y reacción es acampanada en su parte inferior y cilíndrica en la parte superior, y se encuentra en el centro del purificador. En ella entra el agua cruda, la cual es removida y mezclada con los agentes químicos por medio de una bomba potente. De los agentes químicos resulta que las impurezas se precipitan en forma de copos.

Fig. 22



ABASTECIMIENTO Y TRATAMIENTO DEL AGUA
EN LA FABRICACION DE PULPA Y PAPEL

"ACCELERATOR"

SA.

Una bomba centrífuga eleva la mezcla de agua y partículas insolubles a la parte superior, en donde llegan a producirse más copos. Luego la mezcla de agua y copos pasa a la parte inferior de la cámara exterior que forma un anillo alrededor de la cámara de mezcla; aquí se divide el fango del agua.

El agua clarificada sube en la cámara exterior y sale del purificador por medio de varios canales colectores. El fango se precipita a la parte baja de la cámara exterior y es soltado hacia abajo (fig.22).

La purificación de las aguas residuales produce costos considerables; bastante altos se presentan en fábricas de pasta química al bisulfito. En una de estas fábricas, con una producción de 100.000 tt/año, los costos pueden llegar a 2-2.5 millones de dólares. Una fábrica en Alemania, con una capacidad de 160 tt/día, pagó por la planta de purificación \$750.000. Los costos anuales de la operación son de \$150.000, siendo la mitad de esta cantidad para la purificación y la otra mitad para la remoción del fango.

Las fibras reobtenidas pueden ser usadas para la elaboración de cartón mediante adición de otras sustancias. Ultimamente una fábrica alemana logró desarrollar un proceso en el cual el fango, o sean, las fibras contenidas en éste, son compuestas con material sintético, y de este material armado se pueden hacer tubos de alta resistencia.

3.2 L a f a b r i c a c i ó n d e t a b l e r o s .

La tecnología de tableros en base de madera es hoy en día muy amplia y de muchas caras. No es posible tratar aquí las variedades de los procesos básicos. Consideremos tres sistemas de tableros con distintas formas de materia prima: Fibras, partículas, paja (pajilla o lana) y viruta de madera.

3.21 T a b l e r o s d e f i b r a .

La nomenclatura según la FAO (Ginebra 1957) distingue dos ti

pos de tableros de fibra: prensado (tablero duro) y sin prensar (tablero aislante). Para los detalles véase la tabla 7.

TABLA 7: Nomenclatura y clasificación de tableros de fibra.

Nomenclatura	Peso ₃ Kg/m ³	Espesor mm
Tablero de fibra prensado		
medio duro	480-850	4-6
duro	más de 850	2-6
extraduro	más de 950	2-6
Tablero de fibra sin prensar	230-400	6-20

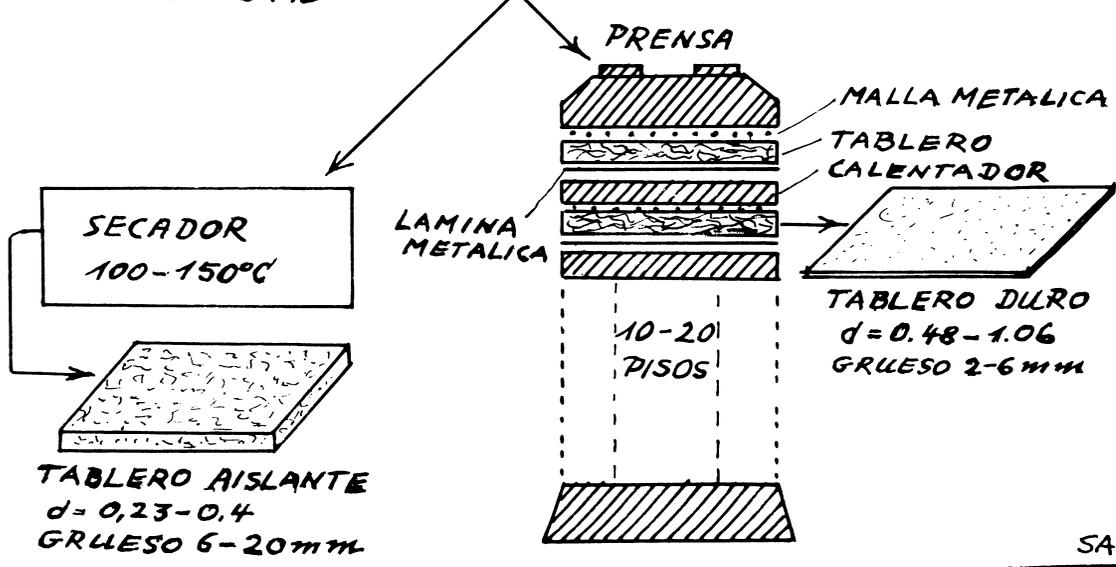
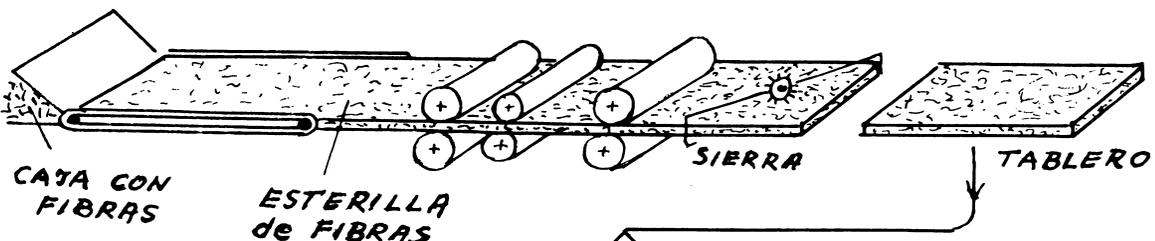
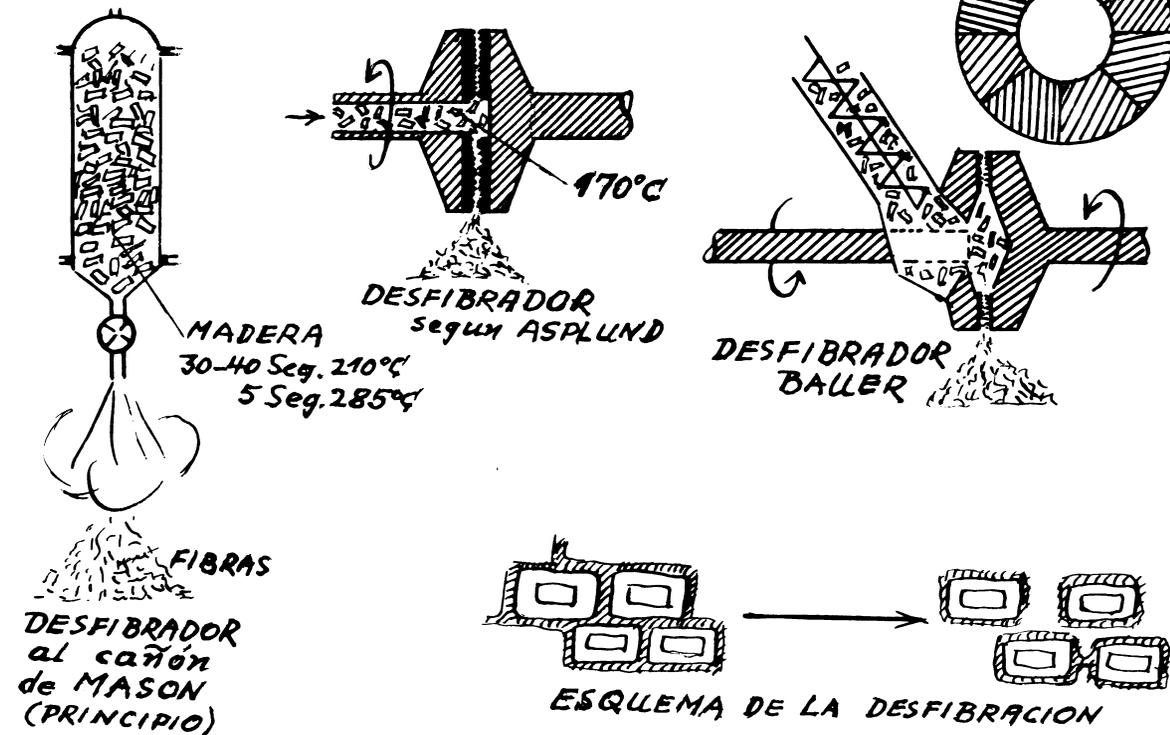
La producción de los tableros se verifica en las etapas siguientes:

- 1.- Preparación de fibras (material desfibrado, pasta mecánica, pasta semiquímica)
- 2.- Adición de cola y otros materiales (parafina)
- 3.- Formación de la masa de fibras
- 4.- Secado o prensado
- 5.- Mejora de la superficie

La preparación de fibras se efectúa en desfibradores y molinos de diversos sistemas: BAUER, MASON, BIFFAR, ASPLUND, (figs.23 y 24), siendo el desfibrador ASPLUND el más usado. Esta máquina consta de un transportador hermético, un compartimiento de precalentado, el agregado de molino y de una esclusa con salida hacia el ciclón. Las astillas son tratadas con vapor durante unos 40 segundos a 160-180°C y luego desfibradas entre las muelas (fig.23).

En la producción de tableros sin prensar según el proceso húmedo, la estera es formada por una mezcla de fibras con agua. Contiene 30-35% de material consistente; puesta en un secador de cinta con longitud de 100 a 200 m, es secada mediante aire

FABRICACION DE TABLEROS DE FIBRAS I



SA

caliente. Hoy, se prefieren secadoras de varios pisos y de extensión reducida.

La producción de tableros prensados en el proceso húmedo se verifica más o menos de la misma manera inclusive la deshidratación en el tamiz sin fin. Después, los tableros prefornados entran en la prensa de 20 pisos. El prensado dura en la primera etapa unos 2 minutos a $30-35 \text{ Kg/cm}^2$; luego de abrir momentáneamente la prensa, se termina el prensado con una presión de $40-60 \text{ Kg/cm}^2$ a $175-200^\circ\text{C}$. Debido a que los tableros salen de la prensa con un contenido de humedad de 1-1.5%, vuelven a aumentar esta humedad en el ambiente hasta 5-7% para evitar desfiguraciones permanentes (climatización).

El proceso húmedo presenta el problema de aguas residuales. Una fábrica con una producción de 60 tt/día deja unos 400 m^3 de aguas residuales, las cuales contienen cantidades considerables de azúcares, ácido acético y productos desintegrantes de lignina.

En el año 1951, en los Estados Unidos la fabricación de tableros de fibra mediante el proceso seco y semiseco fue inventada y desarrollada independientemente por las empresas PLYWOOD RESEARCH CO., CASCADES PLYWOOD CO. y WEYERHAEUSER.

En el proceso seco y semiseco, la estera de fibras se forma mediante aire. Las fibras tienen un grado de humedad de 8-10% y 22-35% respectivamente. Debido a que el contenido de agua es bajo, resulta en el prensado una buena adhesión solamente con agregar 1-3% y 6-8% respectivamente en resina. Además deben agregarse 1-3% de parafina como elemento hidrófugo. La temperatura del prensado se aumenta a $200-230^\circ\text{C}$ en el proceso seco y semiseco. Los tableros son compuestos de tal modo que los componentes finos se encuentran en la superficie, y los gruesos en medio. Por esto la superficie es en general muy lisa y densa.

Como ejemplo de una fábrica de tableros de fibra mediante el proceso semiseco y seco, se muestra en la fig.24 el esquema

de la empresa BOWATER BOARD CO., en Catawba , Estados Unidos. Esta fábrica procesa mediante el proceso seco 127.000 m³/año en madera latifoliada a tableros con ambas caras lisas.

En general, los procesos seco y semiseco tienen las siguientes ventajas:

- 1.- La purificación costosa de las aguas residuales queda eliminada.
- 2.- La fábrica se puede instalar en regiones áridas.
- 3.- Es favorable instalar la fábrica combinada con un aserradero o fábrica de madera contraenchapada.
- 4.- El tiempo de prensado es menor, ya que no se necesita eliminar agua.
- 5.- El rendimiento de la madera es mayor, 100% aproximadamente.
- 6.- Es posible producir tableros de mayor espesor y me jo r ca li da d.

En la tabla 7 se muestran los datos para los distintos proce so s.

Como materia prima para los tableros de fibra contamos con coníferas, latifoliadas, desechos de aserraderos y bagazo.

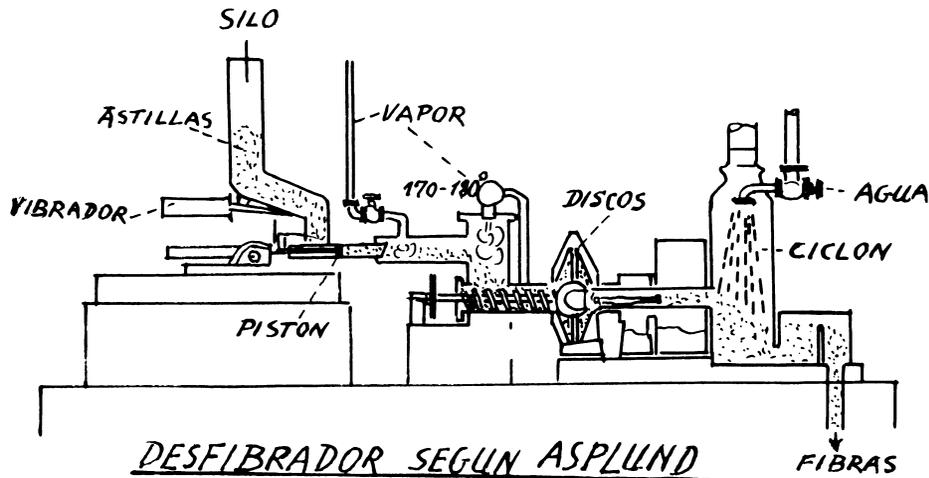
Los tableros con superficie lisa se pueden forrar con papeles DEKOR y OVERLAY (fig.24).

Los tableros de fibra son usados para la construcción de mue ble s, viviendas, embarcaciones y vehículos. En algunos casos la madera contraenchapada es sustituida por el tablero de fibra.

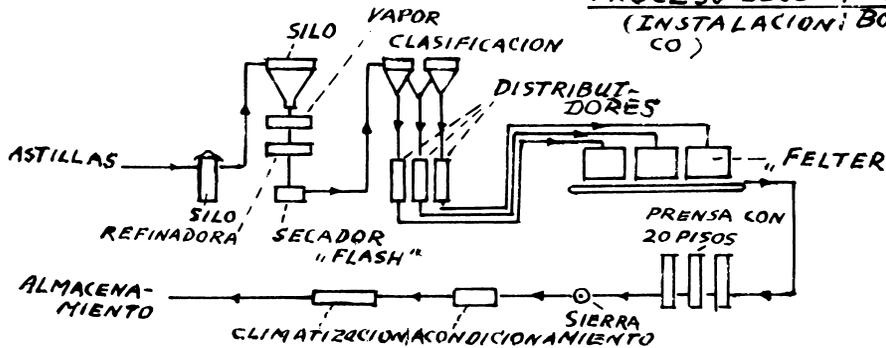
En la fig.29 se muestran unas aplicaciones especiales de tableros de fibra. El encofrado con formaletas de los tipos se g u n la fig 29 tiene las siguientes ventajas en las obras de concreto:

- 1.- Superficie lisa y sin fallas de fraguado del concreto;

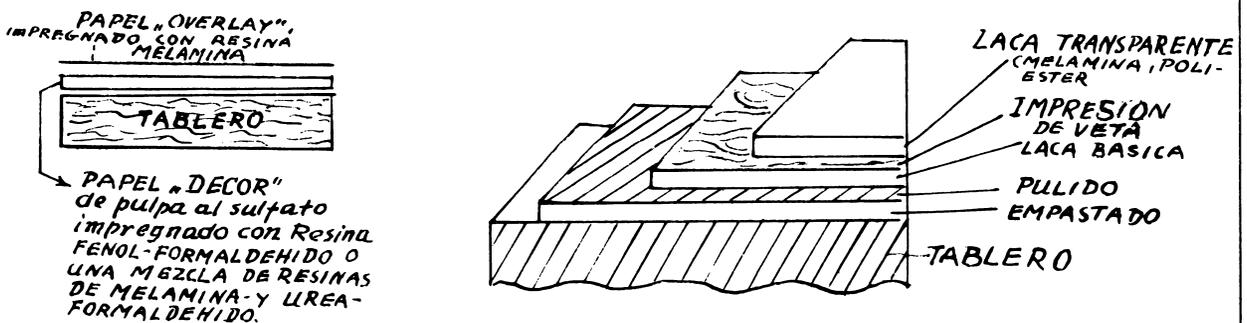
FABRICACION DE TABLEROS DE FIBRAS II



TABLEROS DE FIBRAS DUROS POR EL PROCESO SECO Y SEMISECO (INSTALACION BOWATER BOARD CO)



MEJORAMIENTO DE LA SUPERFICIE



2.- Uso múltiple (hasta 70 veces);

3.- Dimensiones grandes.

TABLA 7: Datos de la fabricación de tableros de fibra.

	Proceso húmedo		Proceso se	Proceso
	Prensado	Sin prensar	mi-seco.	seco.
			Prensado	
Rendimiento:				
Madera	70-95%		100% aprox.	
Bagazo	60-75%			
Humedad de la masa de fibra	100-120%		22-35%	8-10%
Parafina	0.5%	1-1.5%	1-3%	1-3%
Sulfato de aluminio	0.5%	1.0%		
Resina sintética (p.ej. fenol - formaldehído)	1.5%	1.5%	1-3%	4-8%
Prensado:				
Temperatura	175-220°C		200-230°C	
Presión	40-60 Kg/cm ²		60-80 Kg/cm ²	
Dimensiones del tablero	125-550 cm	240-360 cm	122-244 cm	

3.22 T a b l e r o s _ d e _ p a r t í c u l a s .

La fabricación de tableros de partículas sucede principalmente mediante dos procesos (fig.25):

1.- Proceso de prensado plano;

2.- Proceso por extrusión de prensado vertical.

Para el proceso al prensado plano, existen diversas formas de

procedimiento. El tablero puede hacerse de modo que en todo su espesor sea un tablero de una sola capa, como también es posible hacerlo de dos o tres capas paralelas entre sí. Hoy día en plantas modernas se fabrican con preferencia tableros de tres capas.

En este caso, se procede de tal modo que la capa interior conste de partículas ásperas y las capas exteriores sean de astillas largas y finas. Las últimas tienen un tamaño de 0.1-0.2 mm de espesor, 3-6 mm de ancho, 10-15 mm de longitud. Para la preparación de estas partículas se utilizan diversas máquinas, las cuales no serán descritas aquí.

Como se puede ver en la fig.26, las partículas para la capa interior y la exterior son depositadas en diferentes silos, reastilladas, clasificadas y secadas aparte. Las partículas secas pasan por una nueva clasificación en la cual se las libra de aserrín y partículas demasiado gruesas.

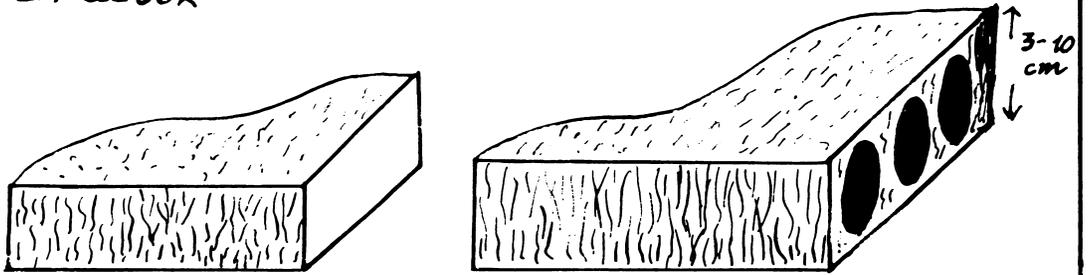
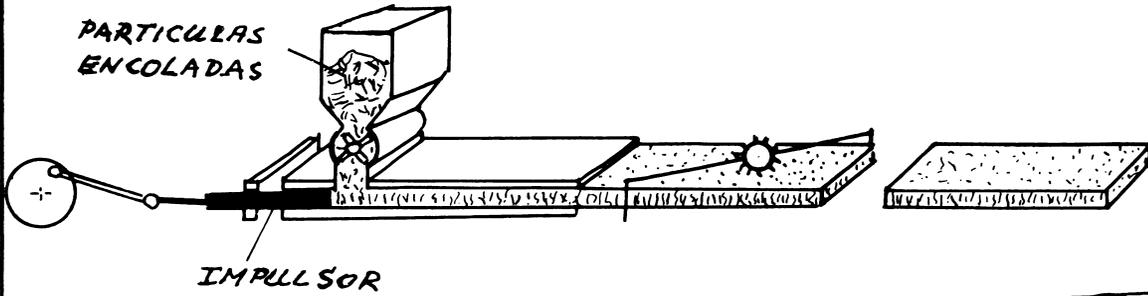
El encolado se efectúa con cola de tipo resina fenol o de urea-formaldehído (6-8%). En caso de que los tableros no estén destinados para resistir cambios atmosféricos extremos, se utiliza para el encolado entonces el tipo resina de urea, que es de bajo costo. Esto se presenta en el caso de la fabricación de tableros para la industria de muebles y enchape para interiores de edificios. Por otra parte, cuando se cuenta con influencias por humedad, solamente se utiliza la cola resina de fenol.

El encolado de la capa media se efectúa por el principio del amasado. Las partículas para las capas exteriores, que llevan un encolado de espesor doble, son rociadas con solución de resina sintética mientras las partículas son revueltas fuertemente.

Luego las partículas encoladas van a la moldeadora y a la sección de dosificación para la capa media y exterior. La estera que se produce en la moldeadora es cortada en tableros mediante una sierra. Luego éstos, pasan sobre una balan

TABLEROS de PARTICULLAS I

PROCESO DE EXTRUSION SISTEMA „OKAL“

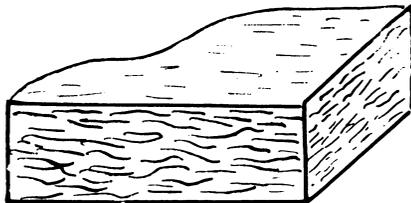
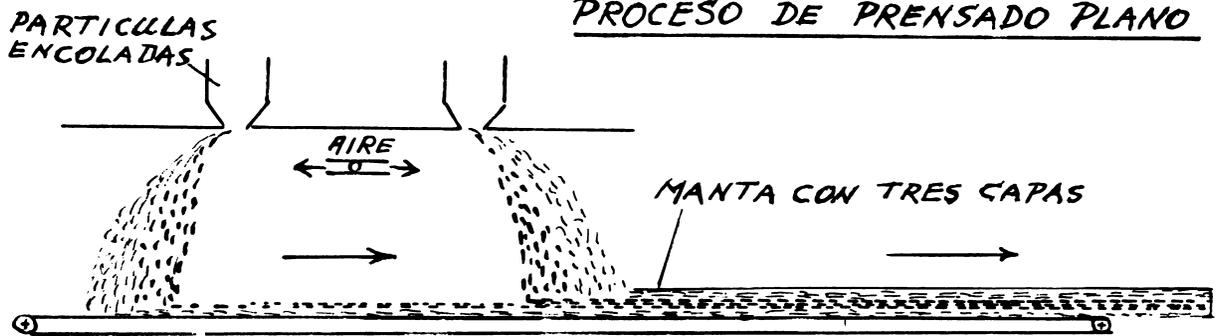


DE UNA SOLA CAPA

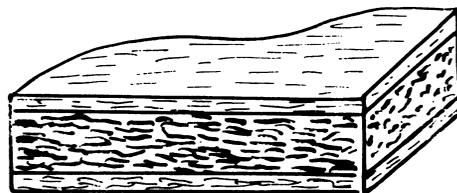
TIPOS DE TABLEROS

CON HUECOS

PROCESO DE Prensado PLANO

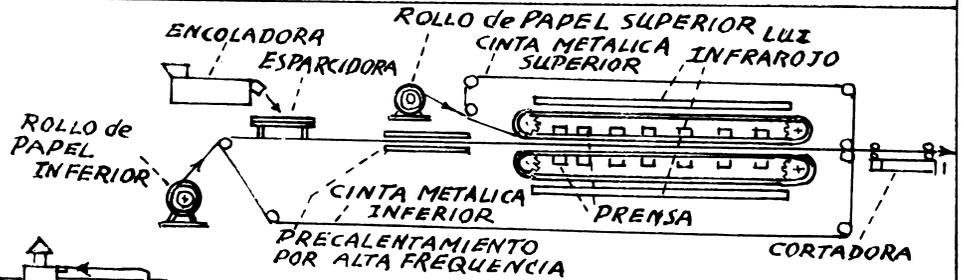
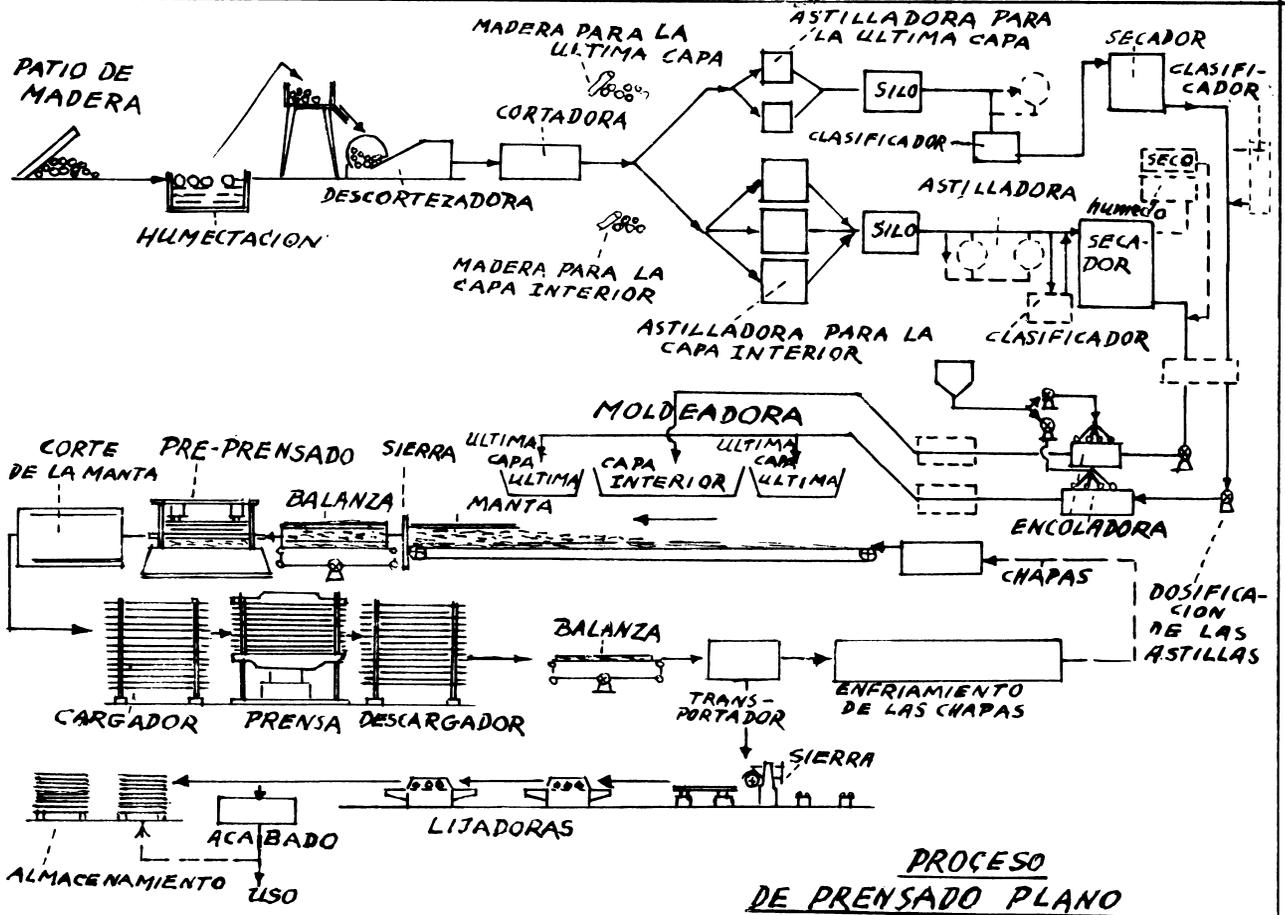


TABLERO CON UNA CAPA

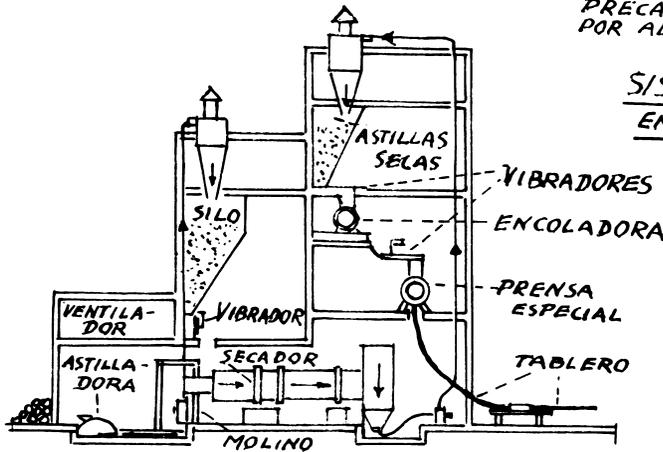


TABLERO CON TRES CAPAS

FABRICACION DE TABLEROS DE PARTICULAS II



SISTEMA "BARTREV" FABRICACION EN FORMA CONTINUA



SISTEMA "OKAL" (KREIBALM) PROCEDIMIENTO POR EXTRUSION CON UNA PRENSA VERTICAL

za, por una prensa y, después de haber emparejado las orillas longitudinales, el tablero se va a una prensa caliente. Esta última consta por lo general de 10 pisos para un tamaño de hasta 4.10 x 1.80 m (generalmente de 2.50 x 1.25 m). A una temperatura de 140-160°C, con un espesor de 6-30 mm del tablero, el tiempo de prensado es de 5-25 minutos. El tiempo de prensado puede disminuirse si la superficie del tablero es humedecida y luego prensada a una mayor temperatura. El paso del vapor hacia el interior del tablero provoca un calentamiento y acoplamiento rápido. Esta disminución en el tiempo de prensado permite, en fábricas de capacidad media, instalar una prensa de un solo piso en lugar de usar una de varios pisos.

Como ya se había mencionado, las instalaciones que ofrecen las diversas fábricas de maquinaria se distinguen en su modo de formar la manta. Se pueden hacer las tres capas en la misma máquina mediante simple esparcimiento por tres aberturas. Pero también es posible efectuar el cribado de las partículas, en partículas gruesas para la capa media y finas para las capas exteriores, a la vez que se forma la estera. Esto se hace por ejemplo con aire según el proceso BISON, cuyo principio se muestra en la fig.25. La formación de la masa según el sistema HIMMELHEBER es de tal modo que la clasificación y la distribución se hace por proyección a la vez. Este sistema recuerda al "Felter" con el cual la formación de la manta se efectúa en el proceso seco y semiseco.

Para lograr una producción continua de tableros de partículas según el proceso de prensado plano, fue desarrollado en Inglaterra el proceso BARTREV. Su componente principal es la prensa de operación continua. Consta de dos cintas sin fin de acero, una sobre la otra, y que corren sobre cadenas de eslabones. El espesor del tablero se da por la distancia entre las dos cintas de acero. Antes del prensado propio las partículas pasan por un campo de alta frecuencia en el cual son calentadas a 75-80°C. Luego en la prensa continua el tablero es endurecido a una temperatura de 140°C. La es

tera infinita de tablero, de un ancho máximo de 122 cm es cor
tada luego a cualquier medida deseada.

Los tableros de partículas terminados, son lijados y afinados para diferentes usos. Ultimamente se puede prescindir de las lijadoras, ya que se han desarrollado prensas que dan una su
perficie prácticamente plana con un error de 0.1 mm. El ter
minado de la capa exterior se puede hacer, tal como en el ta
blero de fibra, de diversas maneras (fig.24). Debido a que la mayoría de los tableros se utilizan en la industria de muebles, en muchos países se les da una superficie como estructura de madera. Esto puede hacerse pegando un papel impreso de textura de madera o de un enchape delgado, sobre el tablero. Pero también se puede lograr el aspecto de textura de madera, imprimiéndola por medio de un rodillo sobre la su
perficie coloreada del tablero. En tableros destinados para mesas, la última capa de barniz es por lo general de tipo po
liester o resina de melamina; con esto se consigue una super
ficie dura y resistente a sustancias químicas y hasta quemaduras.

De manera completamente distinta a los procesos descritos an
teriormente, opera el proceso OKAL (procedimiento por extrusión de prensado vertical). Su principio fue mostrado en la fig.26. Sin embargo, por sencillez se mostró la prensa operando en posición horizontal. Las partículas encoladas son prensadas a través de dos planchas calientes mediante un impulsor. En este proceso las partículas experimentan una o
rientación, siendo esta casi perpendicular a la dirección de prensado.

Los tableros delgados se hacen de este modo en un canal de calentamiento sencillo. En la formación de tableros más grue
sos, el canal de calentamiento contiene tubos de calentamiento, de modo que los tableros contienen cavidades en forma de tubo.

En el caso normal se utiliza 3.5-5% de resina urea-formalde-

hído. El prensado dura unos 30 segundos y la velocidad de producción de 0.80-1.20 m/minuto. La cinta infinita es cortada al tamaño deseado. Ultimamente se producen tableros con un espesor de 10 cm o más, a base de aserrín. Se los usa como tableros aislantes en la construcción de edificios prefabricados.

Una comparación de los datos técnicos y económicos de los dos procesos fundamentales de tableros de partículas se da en la tabla 8.

TABLA 8: Comparación de datos técnicos y económicos de los procesos fundamentales para producir tableros de partículas.

	Proceso de prensado plano	Proceso por extrusión
Rendimiento de madera	80-90%	80-95%
Rendimiento de otra materia prima	65-85%	65-85%
Cola (urea o fenol-formaldehído)	4-15%	5-8%
Energía	160-300 KWh/t	110-150 KWh/t
Combustible: para el secado	150 Kg/t	150 Kg/t
para el prensado	50-70 Kg/t	20-30 Kg/t
Gasto de trabajo	7-30 h/t	3-4 h/t
Costos de inversión para una fábrica mecanizada.	16.000 - 30.000 \$/t/día	12.000 - 15.000 \$/t/día

De gran importancia es el abastecimiento con materia prima. Se puede decir que en general todas las especies de madera se adaptan para la fabricación de tableros de partículas, o

sea, residuos de aserraderos, fábricas de contraenchapados y fábricas de fósforos. Todas las maderas tropicales se adaptan, siempre y cuando no contengan extractos que retardan o no permitan la unión de la cola.

Las maderas usadas en la América Latina son: *Pinus insignis* (Chile), *Populus nigra* y *Salix Sp.* (Argentina), deshechos de fábricas de madera contraenchapada (Brasil, Colombia, Uruguay, Venezuela). En el Surinam se utilizan residuos de la producción de tableros contraenchapados hechos de *Virola sp.* Los residuos del eucalipto no se utilizan.

Problemas especiales se plantean con el uso de mezclas de maderas. No es de esperar que un tablero de maderas mezcladas tenga una superficie lisa, ya que algunas maderas dan partículas, las cuales no se dejan encolar, además de que algunas partículas quedan más húmedas que otras. También es de observar que el valor pH bajo da un encolado más rápido que un valor más alto, que inclusive se encuentre en la región alcalina. Las partículas duras se comportan de modo diferente que las suaves, especialmente en el prensado. Una fábrica latinoamericana que tiene problema con el uso de mezclas de maderas, intenta instalar plantaciones arbóreas propias para tener en el futuro una materia prima más homogénea.

A partir del año 1976 se observa un nuevo desarrollo en el campo del tablero de partículas. Se construyeron las primeras instalaciones, las cuales producen un tablero mezclado donde la capa interior consta de fibras de madera. Estos tableros serán producidos con un espesor de 3-6 mm. Se los denomina tableros de fibras parecidas. Su superficie será sumamente uniforme y muy apta para el enchapado.

3.23

Fabricación - de - materiales - del
sistema - madera - cemento .

Madera mineralizada se llama a todos los productos que contienen madera y aglutinantes:

- 1.- Tableros de paja (pajilla o lana) de madera y cemento, yeso o magnesita.
- 2.- Tableros y bloques de viruta (partículas mineralizadas).
- 3.- Pisos y planchas de aserrín mineralizado.

El proceso de los tableros de pajilla de madera y conglomerante hidráulico es como sigue: Las rolas de madera, después de descortezarlas, se cortan con una máquina especial para pajilla. La pajilla se baña en una solución de mineralizantes o se la rocía con la misma. Después de esta mineralización se mezcla la pajilla con el conglomerante hidráulico. La mezcla se coloca en hormas para prensar o se prensa en forma continua. Después del fraguado inicial se sacan las tablas de las hormas y se las almacena hasta que el conglutinante fragüe completamente.

Como mineralizantes se usan cloruro de magnesio o calcio y silicato de potasa. El aglutinante más usado es cemento corriente o especial. En el proceso HERAKLITH el aglutinante es magnesita.

La pajilla se corta de rolas con dimensiones de 520 mm de largo y 370 mm de diámetro. El espesor de la pajilla es de 0.20 hasta 0.50 mm. El contenido de humedad de la madera se rá preferiblemente entre 20 y 30%.

La tabla 9 enseña las proporciones entre las cantidades de materia prima, necesarias para producir 1 m² de tablero.

TABLA 9: Cantidades de materias primas relacionadas a 1 m² de tablero de pajilla.

Espesor (mm)	Pajilla (Kg)	Cemento (Kg)
15	2,2	3,5
25	3,5	5,5
35	4,5	7,5
50	5,5	8,5

Para demostrar las posibilidades del tablero hacemos un corto resumen de los usos más frecuentes en las zonas frías y templadas:

Encofrado perdido. En esta técnica, no se quita el encofrado después de la fundición del concreto, sino que se queda como capas exteriores. De tal manera, se aprovecha de las buenas cualidades termo-aislantes de la madera mineralizada, las cuales permiten reducir el grosor de la pared interior de concreto, siempre dentro de los límites de la estabilidad (véase fig.27: Valores de aislamiento).

Aislamiento contra calor y frío en paredes exteriores e interiores, cielos, techos y suelos.

Aislamiento acústico en paredes exteriores e interiores, cielos, techos y suelos.

Aplicación como tabla acústica especial en salas grandes (p. ej. de conciertos, teatros, aeropuertos, salas de maquinaria industrial) para mejorar el ambiente acústico.

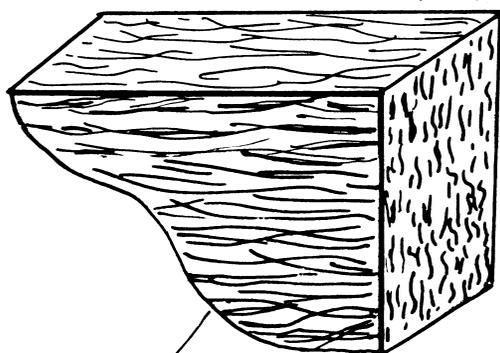
Empleo de la tabla en paredes exteriores e interiores para edificaciones agrícolas, colocada sobre una subestructura de madera.

Los materiales que se utilizan para la vivienda en las zonas tropicales deben señalarse por durabilidad, resistencia contra el ataque de comejenes, impermeabilidad y superficie lisa sin tendencia a que se formen grietas, en las cuales más tarde pueden albergarse los insectos y otras alimañas. Por eso el tablero descrito arriba es un material predestinado para viviendas prefabricadas en los países tropicales.

La aptitud de una especie de madera como materia prima para tableros mineralizados depende altamente de ciertas sustancias extractivas, como azúcares, taninos, colorantes, etc., de las cuales unas puedan impedir o afectar el fraguado del cemento. La fig.28 muestra unos métodos de prueba. Bajo A se enseñan curvas de la flexión estática, la cual se determina en el transcurso de unos días siguientes a la fabricación del ta-

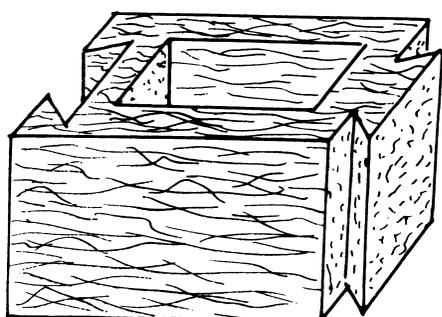
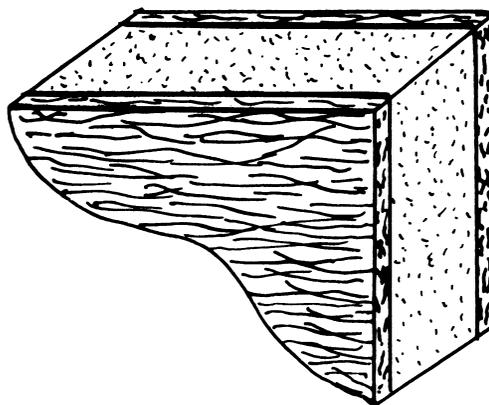
MADERA MINERALIZADA I

TABLERO NORMAL

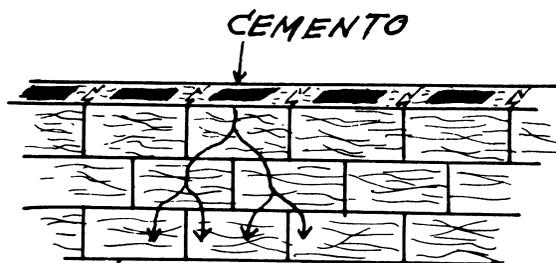


190 kg VIRUTAS
200 kg CEMENTO
90 kg AGUA

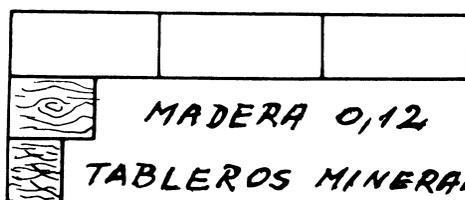
TABLERO CON STIROPOR



BLOQUE de VIRUTAS
MINERALIZADAS



BLOQUES de VIRUTAS
MINERALIZADAS



LADRILLO 0,65

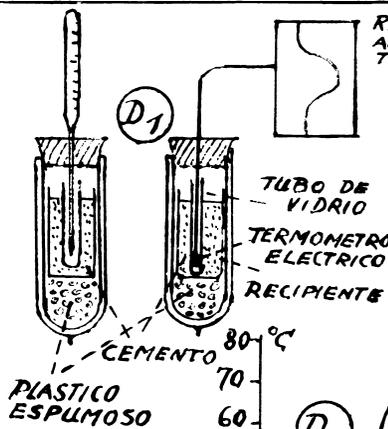
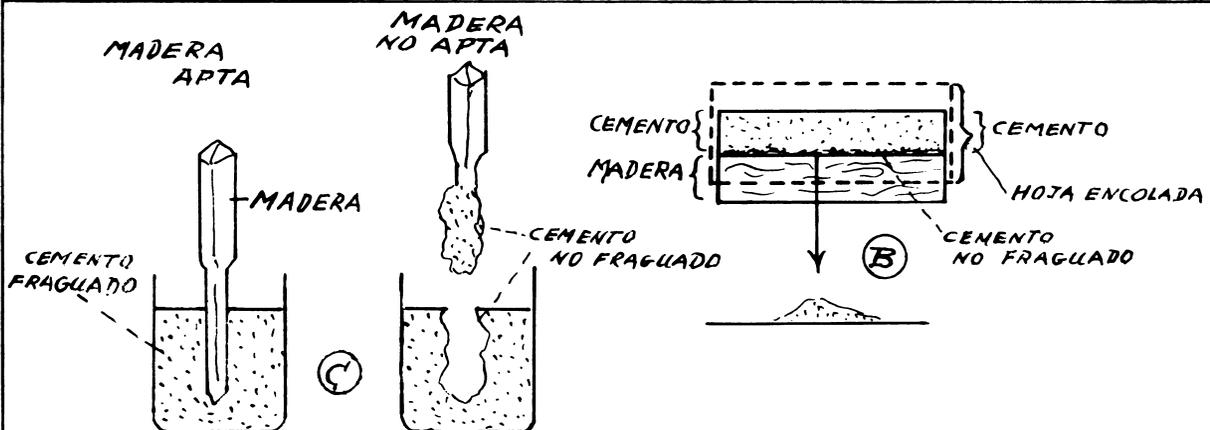
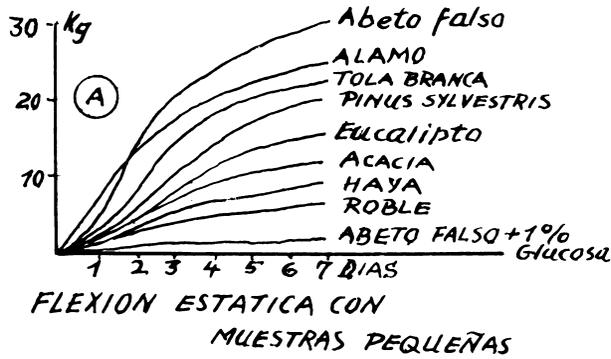
MADERA 0,12

TABLEROS MINERALIZADOS 0,007

VALORES DE AISLAMIENTO

MADERA MINERALIZADA II

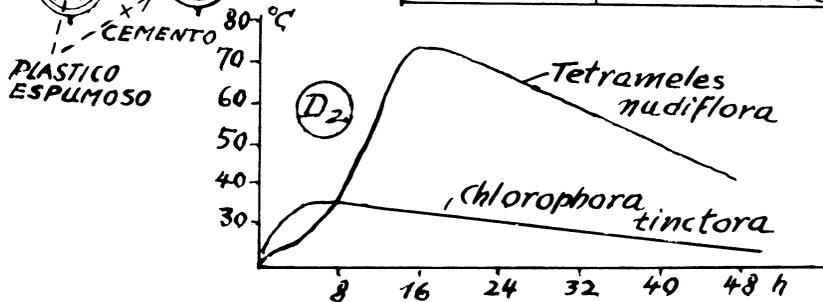
PRUEBAS PARA DETERMINAR LA UTILIZACION DE LA MADERA EN PRODUCTOS MINERALIZADOS



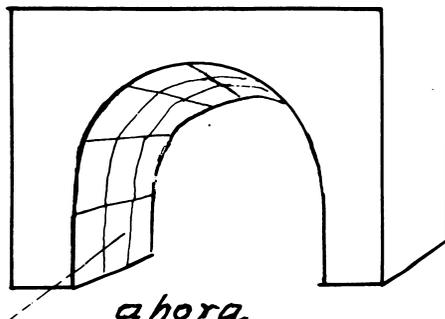
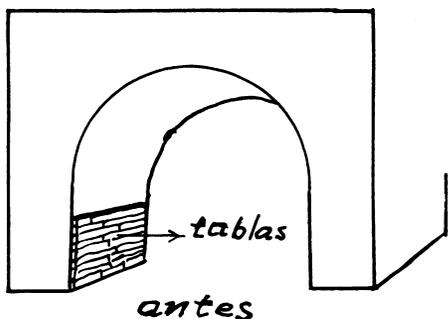
REGISTRADOR AUTOMATICO DE LA TEMPERATURA

UNOS RESULTADOS

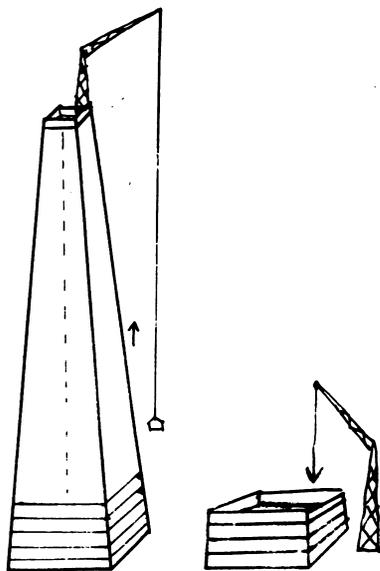
APROVECHABLE	<i>Podocarpus saligna</i> , <i>Eperua falcata</i> , <i>Cedrela mexicana</i> , <i>Tectona grandis</i>
POCO APROVECHABLE	<i>Ataucaria angustifolia</i> , <i>Pribria copaiifera</i> , <i>Swietenia macrophylla</i>
NO APROVECHABLE	Quebracho (<i>Schinopsis balansae</i>), Rauli (<i>Nothofagus procer</i>), Campeche, Vera (<i>Bulnesia arborea</i>)



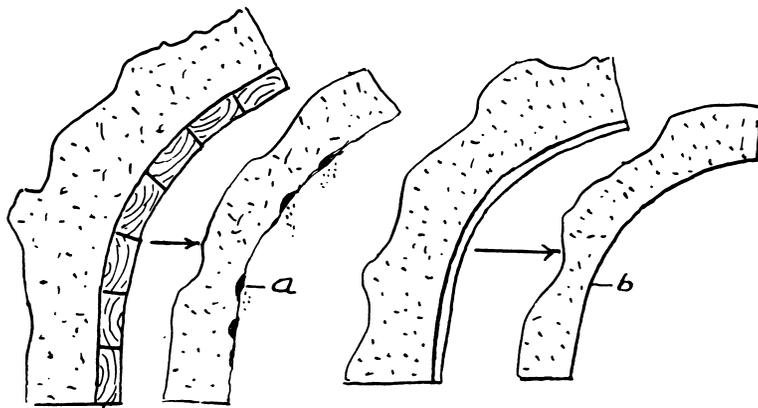
FORMALETAS



→ Tableros con superficies durables (Madera contrachapeada, Tableros de fibras)



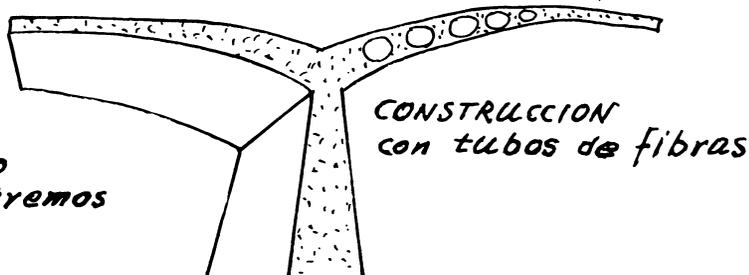
Estribo de puente con formaletas



TABLAS
superficie aspera, destruida por partes

FORMALETAS
superficie uniforme, plana

TUBO DE FIBRAS DE MADERA



blero. La curva de referencia para comparaciones es la obtenida para el abeto falso. Las gráficas B y C muestran las pruebas mecánicas, donde se determina la cantidad de cemento no fraguado (B) o mal fraguado (C). Una prueba química, indicada bajo D_1 , se efectúa con una mezcla de viruta, cemento y agua en partes iguales. Esta mezcla se pone en un recipiente y aquél a su vez dentro de un termo. Durante el fraguado, el cemento produce calor que se mide mediante un termómetro o termógrafo. La curva del transcurso de la temperatura (D_2) permite conclusiones sobre la aptitud de la madera.

La fig.27 muestra al medio el bloque de viruta mineralizada y su empleo. Su perfil permite que se entrelacen los bloques. En las cavidades se chorrea cemento que forma el esqueleto de la construcción, mientras el bloque de viruta tiene efecto como medio aislante. De tal manera, se logra una estabilidad considerable que permite la construcción de edificios de 20 pisos y más.

La XILOLITA, un producto particular del grupo sistema maderacemento, se hace de aserrín y cemento SOREL (magnesita). Como medio de ayuda a la mineralización se le agrega clorito de calcio o silicato de potasa. La XILOLITA es usada para pisos fundidos en hospitales, etc. Después del fraguado, estos pisos son cubiertos en general con una resina sintética.

3.3 Fibras de celulosa y otros derivados.

La producción de fibras de celulosa es de gran interés para la industria de la pasta química. La producción mundial de ésta, ha dejado atrás la de lana y de lino. Aún en países típicos de algodón, la fibra de celulosa se ha conquistado una participación considerable en el mercado de estos productos. El incremento sin embargo ha sido frenado por la aparición de fibras químicas y completamente sintéticas. En círculos industriales, se comenta que las fibras de celulosa vuelven a ser de gran interés debido a que la superficie de la

celulosa se deja transformar por medio de tratamiento químico, dándole a la fibra nuevas y favorables propiedades.

Durante los 20 años pasados, la importancia de los diferentes procesos para producir fibras sintéticas ha sufrido alteraciones significantes, como indican las cifras siguientes:

Proceso	1909	1924	1930	1931-35	1951-55	1962
Rayón viscosa	16	88.0	86.0	86.5	87	88.0%
Rayón acetato	--	2.8	7.8	9.0	11	9.5%
Rayón de cobre	36	1.4	3.4	3.6	2	2.5%
Rayón de nitrocelulosa	48	7.8	2.3	0.9	-	--%

En el método de la viscosa, descubierto por los ingleses CROSS y BEVAN, se utiliza una pasta química especial como materia prima, la cual se conoce por celulosa soluble. Se trata de una pasta química de bajo contenido en hemicelulosas y alto porcentaje en celulosa. El valor DP debe ser bajo. El contenido en ceniza, hierro, cobre, manganeso, ácido silícico y lignina es de suma importancia. De otro lado, la longitud de la fibra de pasta química no es importante, ya que la misma es disuelta.

La celulosa soluble se obtiene con preferencia de maderas latifoliadas. Se puede proceder de modo tal que la celulosa se obtenga de pasta química normal por medio de tratamiento con hidróxido de sodio concentrado (6-20%) en frío, o con hidróxido de sodio diluido (0.5-1%) a 70-120°C. Asimismo, antes de la obtención de la pasta química se pueden separar las hemicelulosas tratando la madera con ácidos diluidos. A este proceso se le denomina prehidrólisis.

En el proceso de la viscosa (fig.30), la celulosa soluble es sumergida durante 2-4 horas a 15-20°C en una lejía de sodio al 17-18%, y luego librada en una prensa de los alcalinos excedentes. Después de este tratamiento queda la sal de sodio de la celulosa, llamada álcali-celulosa. Esta es desmenuza-

da en un desfibrador, donde se le deja un cierto tiempo para que alcance la premadurez. En el proceso de premadurez se reduce la cadena de la celulosa hasta un valor de DP de 350-400. Luego con la adición de sulfuro de carbono se llega a formar el xantogenato de la celulosa. Este da con hidróxido de sodio diluído una solución viscosa, o sea, la "viscosa". La viscosa es filtrada a presión y se le deja en un tanque para que madure. Durante esta maduración, $\frac{2}{3}$ partes de los grupos de xantogenato de la celulosa son desdoblados con lo cual la solución llega a ser más viscosa aún. Esta solución pasa a la sección de hilaje.

La instalación de hilaje consta de una bomba la cual propulsa la viscosa a través de un filtro y una tobera a un baño ácido. Aquí se forma el hilo el cual luego de la separación de todos los restos de xantogenato vuelve a ser celulosa. El hilo es enrollado en una bobina de telar. Los gases que se producen son separados por un respirador. La hiladora posee de 100 a 200 secciones de hilado. El hilo crudo tiene que pasar todavía varios procesos para que sea librado de todas las impurezas.

Se recupera de la lejía usada la mayor parte de los agentes químicos, como sulfuro de carbono, sulfato de zinc y sulfato de sodio para usarlos de nuevo. Para la producción de 100 Kilos de rayón viscosa se requiere de:

Celulosa (pureza de 98%)	110 Kilos
NaOH(100%)	100 Kilos
Sulfuro de carbono (Recuperación 30%)	24 Kilos
Acido sulfúrico (tomado como So_3)	120 Kilos
ZnSO ₄ o MgSO ₄	12 Kilos
Vapor	4-7 tt
Corriente	300-500 KWh
Agua	50-70 m ³
Frío	80.000-120.000 Kcal

En lugar del hilo rayón, largo y liso, también se utiliza otro producto viscoso en la industria textil en el cual el hi

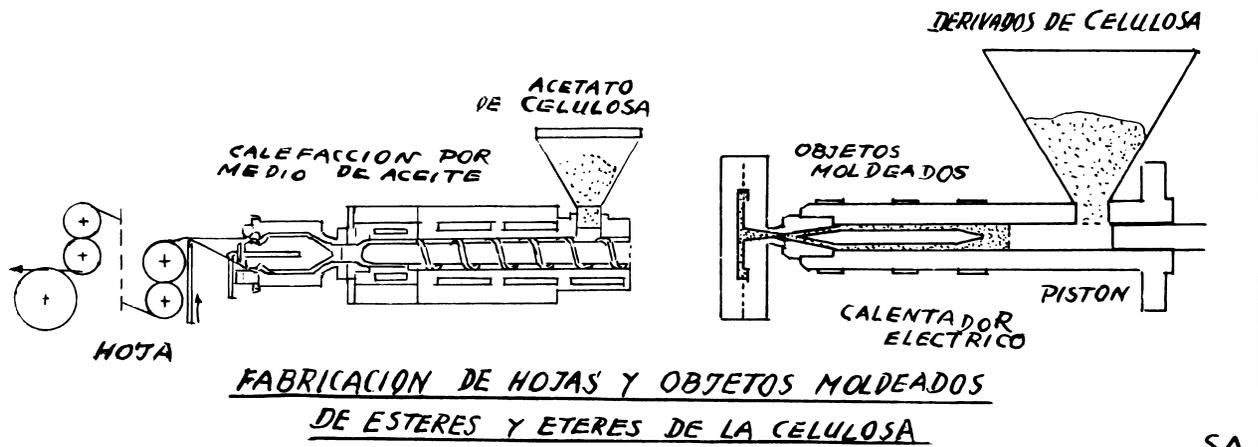
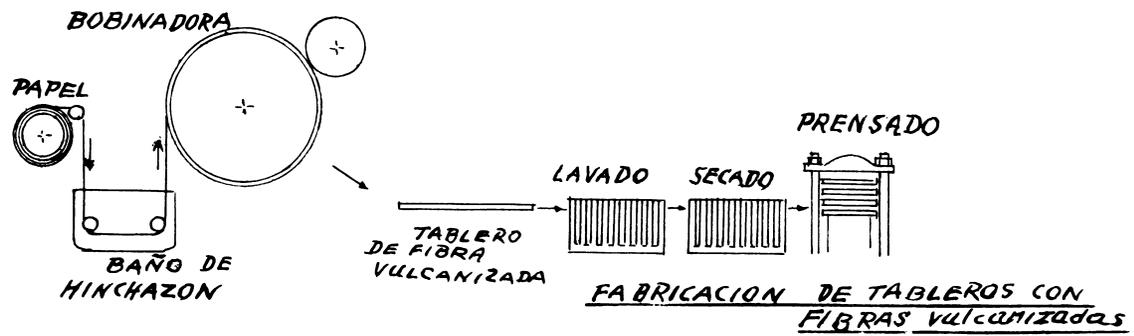
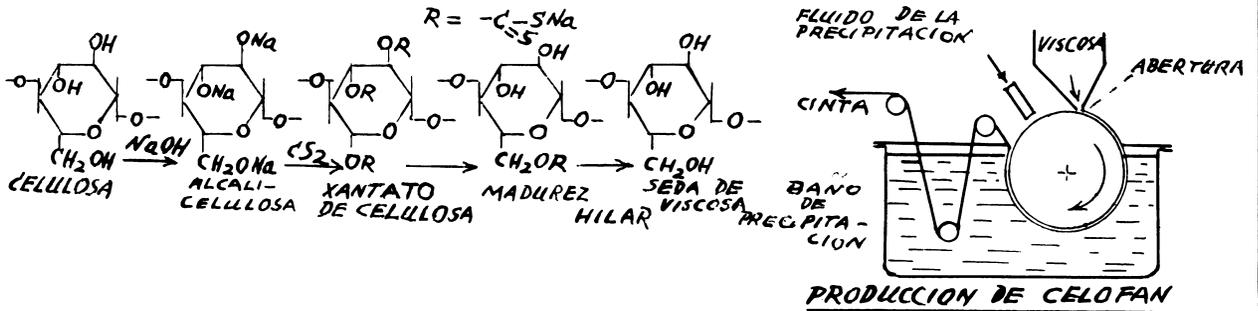
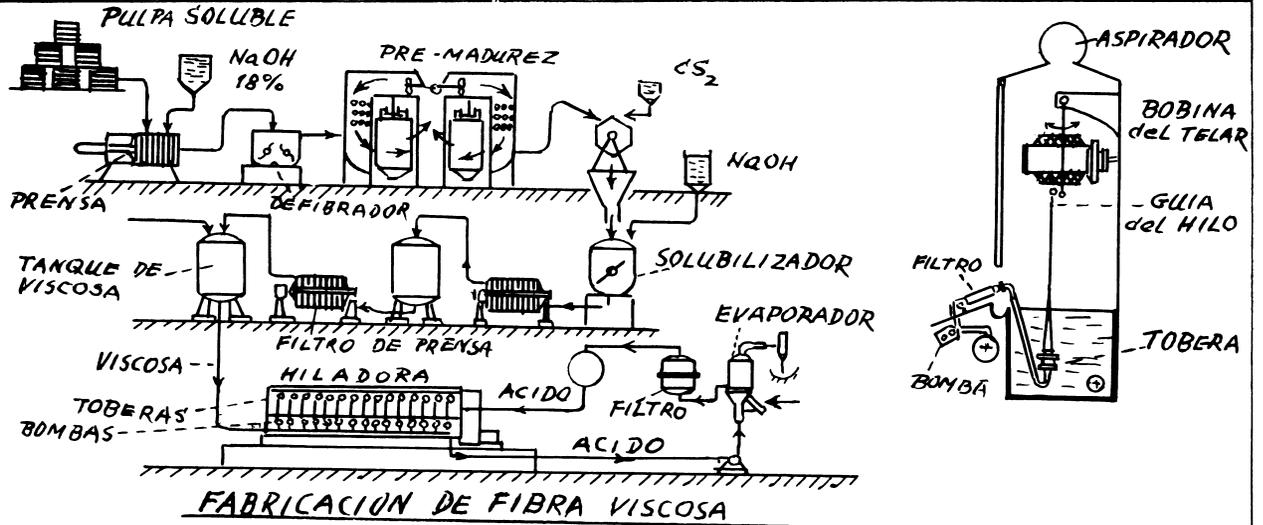
lo rayón es cortado en cuartas partes las cuales son rehiladas para formar una especie de hilo de lana.

La viscosa no sólo puede ser hilada por toberas, sino también prensada por rendijas. Así se forma el CELOFAN (fig.30). En el proceso señalado, la hoja se forma sobre un tambor, luego pasa por un sistema de rodillos a los baños de post-tratamiento: eliminación del azufre, aguaje, blanqueo con cloro, baño con agua. Luego la hoja es ablandada con glicerina. Para alcanzar la impermeabilidad de la hoja, ésta es cubierta por una capa de laca, por ejemplo, nitrocelulosa de 0.001 mm de espesor. También son posibles otras coberturas, así como hojas de aluminio.

De igual modo como se hacen hojas de la viscosa, también se producen mangueras sin costura (tripa sintética); esto se logra mediante una tobera de anillo. Otros productos son tapas de botellas y esponjas sintéticas. En la producción de esponjas se mezcla la viscosa con fibras vegetales y cristales de sales. Mediante calor, se coagula la viscosa sobre las fibras vegetales que forman el esqueleto de la esponja. Después, se quitan la sal y el azufre de la esponja, se la lava y seca.

La segunda fibra de celulosa, en cuanto a su importancia, es la de rayón acetato y se la obtiene de una celulosa soluble con 96-98% de celulosa y un contenido de pentosana de 1.5% máximo. Esta pasta química es transformada a triacetato de celulosa, con ácido acético y anhídrido acético en presencia de ácido sulfúrico concentrado o de clorito de zinc, y luego es disociado por medio de agua al diacetato deseado. Este diacetato es disuelto en acetona. La solución es filtrada, ventilada e hilada en un pozo vertical de 4 m de altura por medio de una regadera de hilado con aberturas minúsculas. El medio de disolución es separado por medio de aire caliente y recuperado por absorción en carbón o gel de sílice. Rayón acetato se emplea primordialmente en cortinas, impermeables y ropa interior para damas.

PRODUCCION DE FIBRA VISCOSA Y OTROS PRODUCTOS DERIVADOS



De los ésteres de la celulosa, el más barato, o sea la nitrocelulosa ha encontrado un amplio campo de aplicación. Para cada propósito de aplicación, los productos requieren un contenido específico en nitrógeno, así por ejemplo:

Algodón pólvora	13.0-13.8% de N
Lacas, películas, fibras	11.5-12.2% "
Celuloide	10.5-11.5% "

La producción de nitrocelulosa se efectúa con ácido nitrogenado corriente ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$).

El celuloide obtenido mediante alcanfor, se puede labrar en forma de solución y mediante prensado a tubos, barras redondas o de perfil (fig.30). Asimismo es posible producir objetos moldeados. En el caso de las películas de fotografía, la nitrocelulosa fue sustituida por acetilcelulosa debido a que la primera es altamente inflamable.

En tiempos de guerra la necesidad de nitrocelulosa aumenta considerablemente, como se ha probado. Así, los Estados Unidos produjeron en la última Guerra Mundial 500.000 tt/año; en tiempos de paz sólo 50.000 tt/año.

Aparte de resinas alquídicas y sustancias ensuavizadoras, la nitrocelulosa es componente de lacas combinatorias que se usan en la industria de muebles.

De los ésteres orgánicos de la celulosa, son conocidos principalmente los siguientes:

- Acetato de celulosa
- Butirato de celulosa
- Propionato de celulosa
- Acetobutirato de celulosa.

De los éteres los derivados metilo, etilo y bencilo son de gran importancia.

La ~~carboximetil~~celulosa sódica se la usa como cola y medio de aderezo en los textiles y el papel.

La oxixelulosa se forma por oxidación del grupo $-\text{CH}_2\text{OH}$ de

la celulosa al grupo $-COOH$. Esta se asemeja todavía a algodón y sirve como vendaje antihemorrágico en operaciones. Además la oxixelulosa tiene la ventaja sobre el algodón de vendaje, en que es absorbida por el cuerpo en su totalidad con lo que se evita la supuración de la herida.

También tienen que mencionarse los tableros de fibras vulcanizadas. La producción de éstos se muestra en la fig.30. De un rollo, la pasta química pasa a un baño de hinchazón de una solución concentrada de cloruro de zinc o de ácido sulfúrico. La cinta de pasta química impregnada es arrollada en muchas capas sobre una bobinadora, en la cual las capas son prensadas a una hoja gruesa y uniforme mediante una contrabobina de presión. El rollo de tablero formado de tal manera es abierto por cortes, luego lavado, secado y prensado. El producto es fuerte y tenaz y pertenece todavía a las mejores materias primas para la fabricación de valijas y baúles.

3.4 Hidrólisis de la madera y procesos de fermentación.

Durante la última guerra, algunos países como Alemania, Escandinavia, Rusia y Estados Unidos efectuaban técnicamente la hidrólisis de madera. Hoy, solamente Rusia tiene una industria bien desarrollada. En todos los demás países, la hidrólisis llegó a ser antieconómica. La industria rusa de hidrólisis de madera produce los siguientes productos: glucosa, alcohol, furfural, sorbita, xilita, levadura, ácido carbónico, vainillina, trióxido del ácido glutárico, lignina, y otros. El Japón también se encuentra todavía interesado en esta industria.

Hoy se conocen más de 200 procesos de hidrólisis de madera. Los más usados industrialmente son el proceso de SCHOLLER y el proceso de RHEINAU.

En el proceso de SCHOLLER (fig.31), la madera en forma de astillas y aserrín es transportada a cilindros de hierro, los cuales se encuentran revestidos con una cerámica resistente

a los ácidos. Los cilindros tienen una altura de 10-15 m con un diámetro de 2.50 m. Cada cilindro de la batería tiene una capacidad de 50 m^3 aproximadamente, equivalentes a 10 tt de madera seca.

La madera es calentada a 150°C . La hidrólisis se efectúa con soluciones de ácido sulfúrico de 0.2-0.4%, la cual es bombeada al cilindro 10-20 veces en un período de 14 horas. Durante estas percolaciones, la temperatura es elevada a $180-185^\circ\text{C}$. La solución resultante tiene un 3.5-4% de azúcar. Después de neutralizarla con cal, la solución es filtrada, enfriada y fermentada a alcohol. El alcohol es concentrado por destilación fraccionada. Las pentosas no son fermentables para la producción de alcohol; pueden tratarse con ácidos diluidos para la producción de furfural, o fermentarse por medio del sacaromiceto *Torula utilis* para formar levaduras.

La fig.31 representa el proceso modificado UDIC-RHEINAU. Las torres de hidrólisis tienen 20 m de alto y un volumen de 100 m^3 . En la prehidrólisis las hemicelulosas son hidrolizadas con ácido clorhídrico (35%). La hidrólisis principal trabaja con ácido clorhídrico de 41%. Las soluciones de azúcar resultantes son nuevamente hidrolizadas con una solución de ácido clorhídrico de baja concentración (0.5%), a una temperatura de 120°C y bajo presión. Después del intercambio iónico, estas soluciones de azúcar son evaporadas hasta que tengan una consistencia de jarabe. De éste se obtiene la glucosa de una pureza del 99.9%.

El ácido clorhídrico es recuperado por destilación al vacío. La lignina del proceso RHEINAU todavía es activa. Así, la lignina reacciona con formaldehído para producir resinas del tipo fenol-formaldehído.

En las fábricas modernas se alcanza la hidrólisis de madera en dos etapas. En la primera etapa se efectúa una prehidrólisis moderada por la cual las hemicelulosas son hidrolizadas a pentosas y a otros productos. Luego, en la segunda etapa,

se efectúa la hidrólisis principal para la obtención de glucosa. En Japón se han desarrollado nuevos procesos en los cuales se usa ácido sulfúrico concentrado. Parece que estos procesos no trabajan en escala técnica.

La capacidad económica de una fábrica de hidrólisis de madera debe ser mayor de 200 tt/día de madera. El rendimiento de 100 Kg de madera de coníferas es:

Glucosa cristalina	28-31 Kg
Jarabe de 80%	19-25 Kg
Lignina	30 Kg

Como ejemplo de la fermentación se describe aquí el aprovechamiento de la lejía residual del proceso al bisulfito. La fermentación a alcohol de la lejía residual de latifoliadas no es posible debido a que contiene xilosa y ninguna glucosa. En este caso, la lejía residual es neutralizada con hidróxido de calcio, se le añade sales nutritivas y se fermentan con *Torula utilis* para formar levaduras. El proceso (fig.31) es como sigue:

Por el centro del fermentador se bombea aire fresco a la suspensión de azúcares, transformándolos en levadura. El producto es separado, filtrado al vacío y concentrado a un 30% en un evaporador. Finalmente este concentrado se seca en un pulverizador. La levadura contiene 50% de proteína, 25% de hidratos de carbono, 5% de grasa y 5% de ceniza.

Por otros procesos de fermentación se pueden obtener una gran variedad de sustancias como ácido acético, ácido cítrico, ácido oxálico, ácido fumárico, ácido glucónico, glicerina, acetona, penicilina, vitamina C y D, etc.

En algunos países, la producción de proteínas y de alimento celulósico para el ganado a partir de la madera, puede ser provechoso. El alimento celulósico es hecho mediante cocción prolongada de la celulosa, obteniéndose una celulosa de cadena corta la cual puede ser digerida por el ganado.

3.5 U t i l i z a c i ó n _ d e _ l a s _ s u s t a n c i a s e x t r a c t i v a s

Los extractos de interés técnico hoy día son resinas, taninos, caucho y ácidos grasos. Otros, solamente son de interés local, como alcanfor, chicle, quinina y goma arábica.

Los extractos de los pinos se obtienen por medio de la resinación, extracción de tocones y elaborando el aceite tall del proceso al sulfato.

La resinación se muestra en la fig.32. En las técnicas modernas, las muescas resinadoras no son profundas, rasgándose únicamente la corteza y no la madera. Además, la muesca es estimulada con ácido sulfúrico para que chorree más resina. La resinación ejecutada correctamente no sólo evita la destrucción del árbol sino da un mayor rendimiento de resina.

La resina es purificada y luego destilada a colofonia (70%) y aguarrás (17-25%). La colofonia es usada como cola en la industria del papel.

La industria de la extracción de colofonia y aguarrás de tocones ha sido desarrollada a su mayor nivel en los Estados Unidos. La técnica de extracción de tocones también es aplicada en México y Belice.

En el presente, una gran cantidad de resinas, aguarrás y ácidos grasos se obtienen como subproducto del proceso al sulfato. De acuerdo a la fig.32, después de la cocción de la pulpa al sulfato, el aguarrás puede ser separado por condensación. La espuma al sulfato se separa de la lejía negra. El aceite tall, producto de gran valor, se obtiene mediante la acidificación de esta espuma. La producción de aceite tall en Escandinavia y los Estados Unidos es de 40-50 Kg/t de pulpa. La destilación del aceite tall se muestra en la fig.32; contiene gran cantidad de esterinas, las cuales son de interés farmacéutico.

Los ácidos grasos contienen las sustancias básicas para la

producción de resinas alquídicas y lacas. El aguarrás es la materia prima utilizada en la síntesis del alcanfor, insecticidas, sustancias odoríficas, plásticos, y otras más.

El tanino fue en el pasado un producto forestal de gran importancia, especialmente para la Argentina. La materia prima para su obtención es la madera de quebracho. Otras materias primas son las cortezas de Acacia sp., Mangle sp., Eucalyptus sp. (fig.33). Las cortezas contienen de un 15-40% de tanino.

En la elaboración de taninos, la materia prima es convertida primeramente en pedazos pequeños. En una batería de extractores son sometidos a la acción del agua a una cierta temperatura. La solución resultante es aclarada, filtrada y evaporada. La conversión de los extractos líquidos en sólidos se hace en un pulverizador mediante aire caliente.

El futuro del tanino es incierto, debido a la nueva industria del cuero sintético que no necesita de taninos. Otra aplicación del tanino es la fabricación de cola para madera contraenchapada.

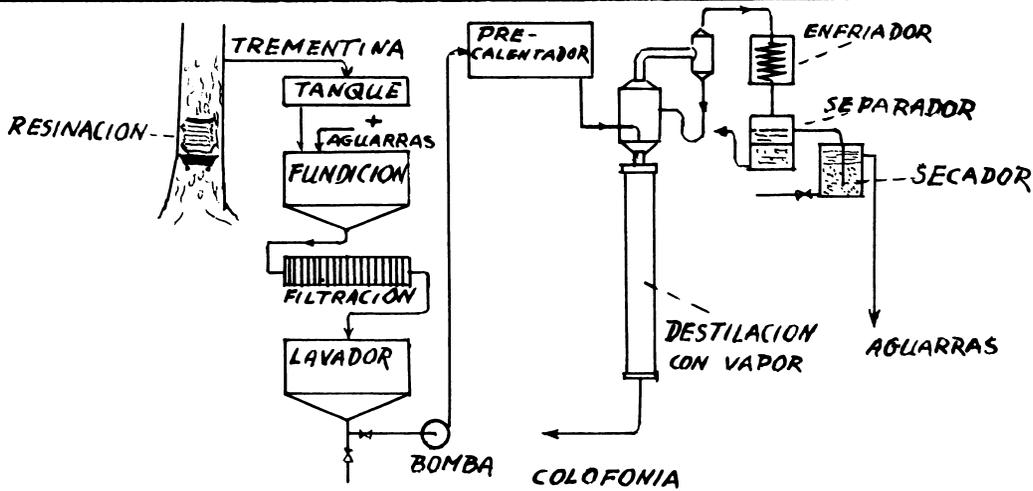
3.6 U t i l i z a c i ó n _ d e _ l a _ l i g n i n a .

La madera tiene un componente principal específico: la lignina. Su porcentaje es de 26-30% en coníferas y de 20-25% en especies latifoliadas; en muchas especies tropicales sobrepasa el 30%. La lignina se disuelve y se quema durante la fabricación de pulpa. Las diferentes ligninas producidas son:

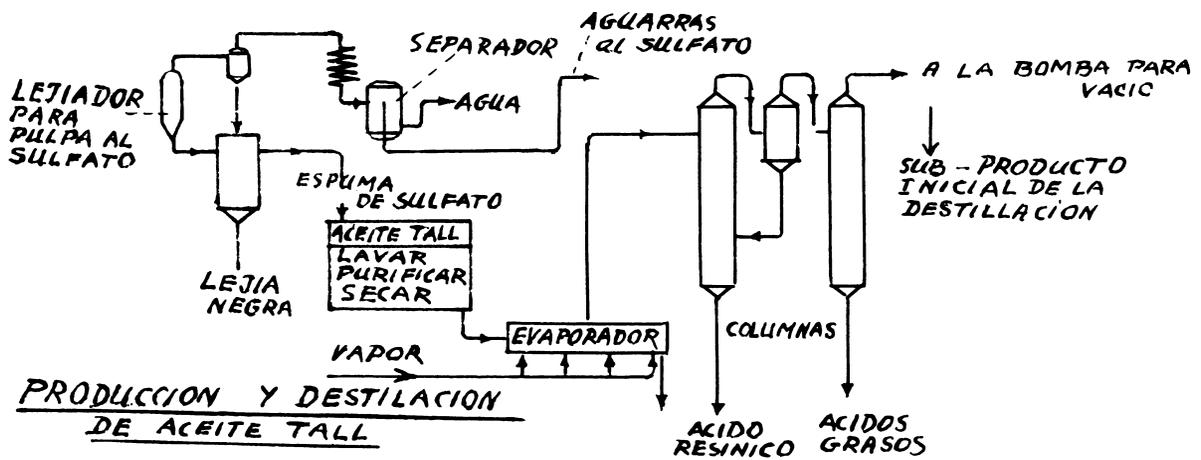
- 1.- Lignina del ácido sulfónico de la lejía residual del proceso al bisulfito.
- 2.- Lignina álcali del proceso al sulfato.
- 3.- Lignina como residuo de la hidrólisis de la madera.

Hoy día se pierden cerca de 40 mill. tt/año en lignina. Se conocen solamente unas posibilidades para aprovecharla, p.ej. en la producción de vainillina, sulfóxido de dimetilo, carbón activo, como aditivo para preparar el caucho de llantas.

RESINA, AGUARRAS Y ACEITE TALL



PRODUCCION Y DESTILACION DE TREMENTINA



PRODUCCION Y DESTILACION DE ACEITE TALL

PRODUCCION DE RESINA Y AGUARRAS en EEUU

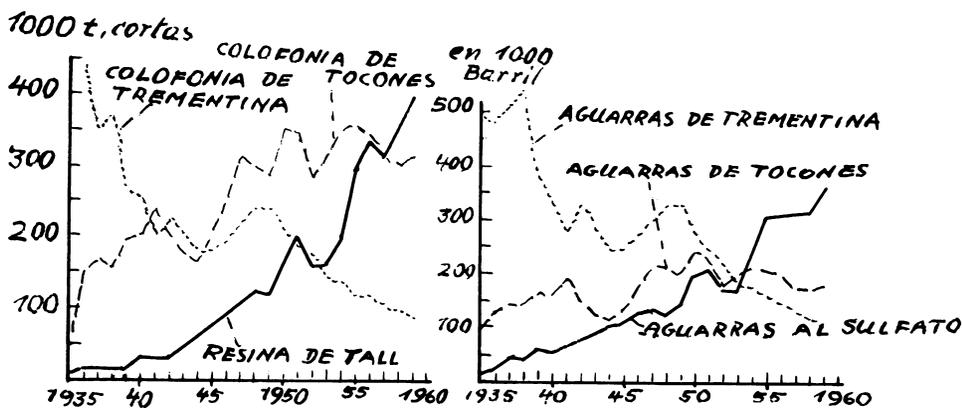
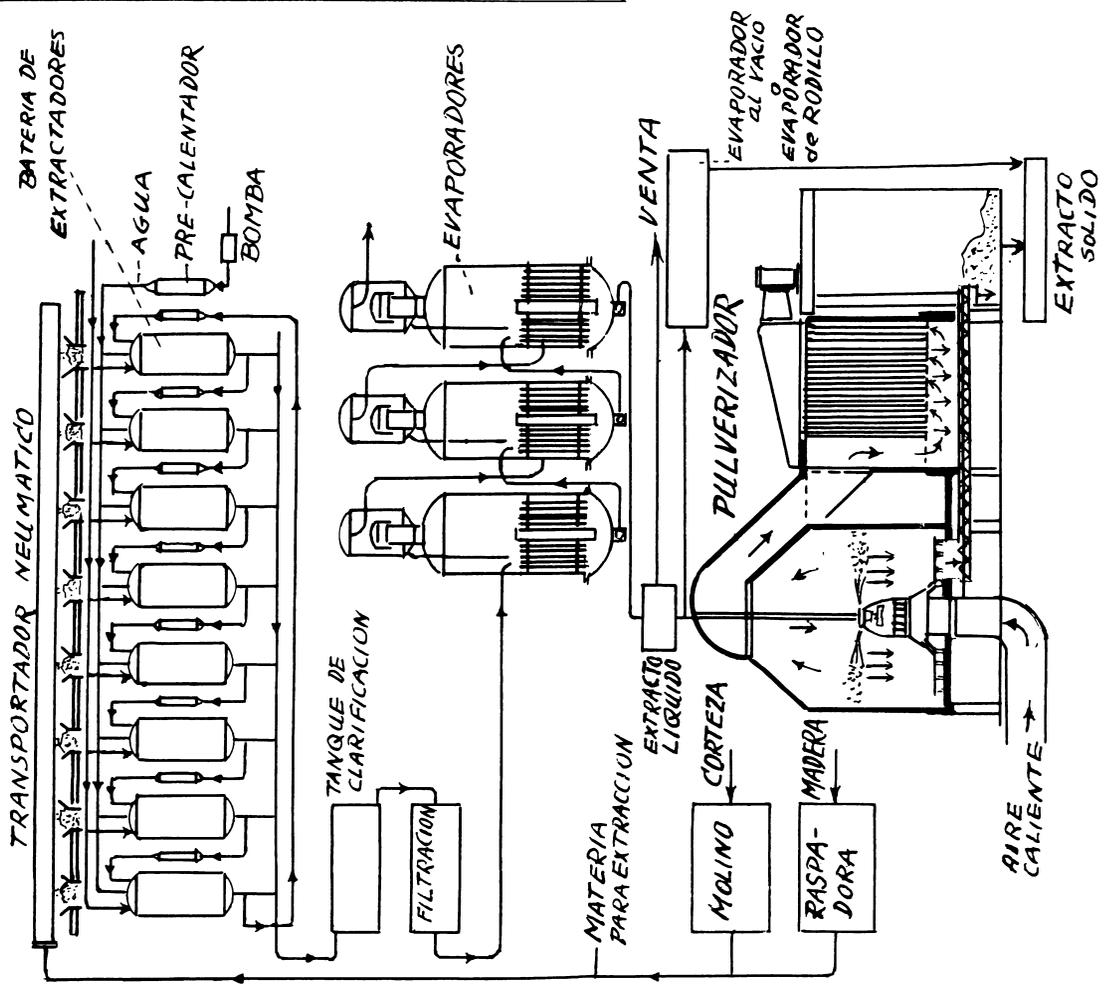


Fig. 33

MATERIAS PRIMAS
PARA LA FABRICACION DE TANINOS

CORTEZAS	ACACIA sp.	% TANINA
	MANGLE (<i>Rhizophora sp.</i>)	22 - 43
	MALETO (<i>Eucalyptus occidentalis</i>)	28 - 48 48
MADERA	Quebracho	14 - 26
ESCOTAS	<i>Caesalpinia coriaria</i> <i>C. brevifolia</i> : DIVIDIVI	22 - 50
	Y ARAGOBILLA	35 - 52

FABRICACION DE TANINO



4. Economía de las industrias madereras en América Latina.

El estado de las industrias madereras particulares varía mucho entre los países latinoamericanos. Por consiguiente, en este capítulo se pueden tratar sólo los aspectos generales del asunto. Por motivo de comparación se incluye la industria de aserradero y de contraenchapado.

4.1 Demanda y producción de productos forestales.

El mercado latinoamericano de los productos forestales depende hoy día en primer lugar de la industria de construcción. Sin embargo, mirando la prognosis del desarrollo de las diferentes industrias de madera, se presentan proyecciones sumamente interesantes (fig.46). Las estimaciones señalan para el año 1985 el aumento más alto para el consumo de tableros de partículas, seguido por el de tableros de fibra y luego papel y cartón. Detrás de estos productos siguen los productos de la utilización mecánica de la madera con un consumo estimado mucho más reducido: madera contraenchapada y madera aserrada. Aparte de los datos de la fig.46, se proporcionan las estimaciones de la demanda, calculadas por la FAO (tabla.10).

TABLA 10: Demanda de productos forestales en América Latina (en mill. m³, papel y cartón en mill. tt)

Año	Madera aserrada			Madera contraench.	Table-ros de part.	Table-ros de fibras	Papel y cartón.
	Conif.	Latif.	Total				
1950/							
1959	5.2	6.9	12.1	0.54	0.020	0.080	1.77
1965	6.3	6.7	13.0	0.55	0.123	0.215	3.42
1975	9.4	11.5	20.9	0.95	0.650	0.850	6.93
1985	14.4	17.6	32.0	1.40	1.700	1.900	13.90

Según las predicciones de la FAO, la producción de todas clases de tableros rebasará la de madera contraenchapada en los años 1970-75. Este desarrollo se demuestra de manera instructiva en el diagrama (fig.39) el cual indica el desarrollo de la demanda de los diferentes tableros.

La productividad de las fábricas de contraenchapado está influída altamente por la estructura de esa industria. El número de fábricas es de 300-400, que producen 480.000 m³. La mitad se encuentra en Brasil. Prescindiendo de unas fábricas muy modernas, la mayoría son pequeñas y con equipo antiguo.

Muchas de ellas no disponen de secadoras y proporcionan productos de calidad inferior. La estructura de esta industria, ordenada según tamaño de la fábrica, se indica en la fig.36. Entre 140 fábricas, casi 100 tienen una capacidad alrededor de 3.500 m³/año. Al contrario, se calcula para una fábrica económicamente sana con una capacidad anual de 20.000 m³ de madera rolliza. Otra conclusión es que muchas fábricas no aprovechan de su capacidad total.

Por lo tanto y en vista de la demanda creciente, no se piensa tanto en la creación de nuevas fábricas de capacidad reducida. Al contrario, para fines de exportación hay que prever una capacidad económica y equipo moderno. En cuanto a la satisfacción de la demanda local, bastan fábricas de capacidad reducida.

La industria de tableros de fibra se encuentra en una posición más favorable. Las empresas son modernas y sus capacidades cerca del límite económico inferior de 20.000 tt/año. Esta capacidad se puede aumentar sin dificultad en cuanto lo exija la demanda del mercado y lo permita el suministro de materia prima.

La industria de tableros de partículas está también en una posición ventajosa. La mayoría de las empresas tienen una capacidad entre 10.000 y 20.000 m³/año (fig.36). A menudo se defiende la opinión de que fábricas con una capacidad muy reducida de 2.000 hasta 4.000 m³/año puedan trabajar rentablemen

te, lo que parece poco factible. Hay que tomar en cuenta que las inversiones por tonelada y día de producción son más altas para capacidades pequeñas que para grandes. Según la fig.37, los costos de inversión suben hasta una capacidad de 20.000 tt/año, luego quedan iguales. Con la demanda creciente de tableros de partículas, se puede esperar una expansión amplia de dicha industria. Bajo este auspicio parece aconsejable, planear nuevas empresas, en primer término, con capacidades grandes.

Con el consumo creciente de papel se ha desarrollado una próspera industria de pasta en América Latina. (figs.42-45). Su porvenir está apreciado como prometedor por la FAO (figs. 45 y 46). La producción de papel y cartón ascenderá de 2.79 mill. tt en el año 1966 hasta 5.93 mill. tt en el año 1975. Este aumento de la producción es considerable y tendrá como consecuencia ciertas alteraciones de la estructura de la industria papelerera. Hasta 1964 tenían más de dos tercios de las fábricas una capacidad menor de 10.000 tt, 60% sólo hasta menor de 5.000 tt (fig.41). Siendo la capacidad económica mínima de 60.000 tt/año, aproximadamente, la futura lucha por el predominio, eliminará muchas de estas empresas pequeñas y forzará a otras para expandir ampliamente su capacidad. Lo mismo vale para la industria de pasta. Los países con la demanda más alta de papel son Brasil, Chile, México, Argentina, Colombia, Venezuela, Cuba y Perú.

La producción de papel para periódicos exige fibras largas, las cuales se presentan en la pasta de coníferas. Tal producción se encuentra en países con existencia de coníferas, como Brasil, Chile, México y Argentina (fig.44). Las plantaciones de coníferas de crecimiento rápido en Chile y su alta capacidad productora de pasta mecánica y química, habilitan dicho país para exportar más y más papel periódico hacia el exterior. Los aspectos para la exportación se mejoran aún más, cuando se han verificado los planes para la expansión de la industria de pasta y papel.

4.2 La materia prima de las industrias madereras.

Si América Latina quiere llenar su demanda de productos forestales, se necesitan cantidades enormes de madera industrial. En los años 1975 y 1985 se requieren las cantidades de madera en rollo como las indicadas en la tabla 11.

TABLA 11: Demanda latinoamericana para madera en rollo en los años 1975 y 1985, en millones de m³ (según FAO).

Producto	1975	1985
Madera aserrada	45.0	64.0
Rollizos industriales	11.0	13.0
Tableros, chapas, etc.	5.0	9.0
Papel para periódicos	4.2	8.4
Papel de imprenta y escribir	3.8	7.0
Otros papeles y cartón	11.0	23.0

América Latina dispone del 25% de los bosques del mundo. Con el 50% de superficie boscosa, América Latina tiene el porcentaje más alto del mundo occidental. La cuestión del abastecimiento de madera a base de estos bosques no debe interesar solamente a los dasónomos, sino igualmente a los industriales de la madera. Ambas, dasonomía y economía maderera, dependen una de la otra, como gemelos siameses.

Las informaciones sobre el abastecimiento de la madera están presentadas en forma de esquemas. Todos los datos son tomados de publicaciones de la FAO.

Como indica la fig.47, América Latina posee 900 mill. ha de bosques, de los cuales son 875 mill. ha de latifoliadas y solamente 25 mill. ha de coníferas. De esta área boscosa se explotan hoy en día sólo 100 mill. ha. Esta explotación abarca solamente el 9% de los bosques latifoliados, pero el 70% de los bosques de coníferas. Aparte de esas, hay 150 mill. ha que son accesibles. Los 100 mill. ha de las selvas

naturales bajo explotación, 1.5 mill. ha aproximadamente de plantaciones rindieron en el año 1965, 245 mill. m³ de madera. El 85% de este aprovechamiento (= 210 mill. m³) fueron utilizados como combustible. Por lo tanto, quedaron solamente 35 mill. m³ de madera para fines industriales. Esta cantidad comprendía el 45% del aprovechamiento total de las coníferas, pero solamente el 10% de las especies latifoliadas. Estas cifras subrayan la importancia eminente de las coníferas para la industria maderera en América Latina.

Los datos sobre los bosques accesibles y en explotación se indican también en la fig.47. El porcentaje de la madera industrial en relación al aprovechamiento total se aumentará hasta 1985 (fig.48). Las razones para este aumento son el suministro elevado por medio de madera producida en plantaciones y la utilización de leña como materia prima industrial.

Según las investigaciones recientes, las selvas naturales son poco apropiadas para el abastecimiento con materia prima. La experiencia ha enseñado que las especies latifoliadas tienen un incremento de 1-2 m³/ha/año y las coníferas 2-3 m³/ha/año. En general, se aprovechan sólo un 5% de las especies arbóreas de las selvas naturales; las demás especies no tienen mercado. Hasta ahora, la única forma factible del aprovechamiento ha sido la explotación (*), quiere decir, la utilización de las pocas especies con mercado para fines de madera aserrable o para chapas. Siendo estos fustes gruesos el producto de 150 y más años de crecimiento, se puede comparar la explotación con la minería de carbón y petróleo. La minería no conoce el principio del rendimiento sostenido, lo que es el fundamento de la dasonomía racional. Premisas para una explotación provechosa son la existencia suficiente de ma

(*) Bajo explotación se entiende la utilización de las selvas naturales, sin preocuparse de la regeneración u otras cuestiones del manejo. La explotación aprovecha solamente los árboles gruesos de especies valiosas.

deras valiosas y la accesibilidad. No cabe duda, que con el desarrollo de la infraestructura, nuevas regiones boscosas serán accesibles. A la vez será factible aprovechar en estas regiones las maderas valiosas para madera aserrada y chapas o sea madera terciada. También se puede esperar que se aumentará el porcentaje de las maderas explotables de 5% en el futuro.

El fomento de este desarrollo requiere la cooperación de la dasonomía, industria de la madera, comercio y la ciencia. En primer lugar hay que buscar usos para más y más especies de la selva natural. Esta tarea no es fácil en vista de que el comercio sólo acepta tales especies que ya "tienen mercado", quiere decir, especies que tienen demanda por sus calidades ya conocidas. La meta de la ciencia debe ser la investigación de los diferentes y posibles empleos de aquellas maderas que todavía no se aprovechan. Esta meta se impone de manera urgente debido al hecho de que las fuentes de materia prima en Africa y demás países tropicales tienden a agotarse y amenaza la escasez de maderas tropicales.

Recientemente se han desarrollado nuevas técnicas que permiten el uso de una mezcla de maderas de la selva natural. En unas regiones de América Latina se emplean mezclas de maderas latifoliadas para la producción de pasta semiquímica y también pasta química. Por principio, tal técnica es factible; sin embargo, la calidad de la celulosa es inferior a la de materia prima uniforme. Lo que complica el empleo de materia prima mixta es la necesidad de cocción separada; debido a la reacción diferente de las especies diferentes, se puede cargar un lejiador solamente con madera de una especie o de especies con propiedades parecidas. Unas maderas exigen más tiempo de cocción que otras. Esta heterogeneidad implica inversiones técnicas más amplias, y por consiguiente, resulta más cara en vez de la cocción de maderas uniformes o de propiedades parecidas, p.ej. en vista al peso específico. Hay que esperar cuáles resultados traerán las fábricas nuevas en

Colombia y Venezuela, donde se aplica una técnica relativamente sencilla para producir celulosa del tipo NSSC.

En unas fábricas latinoamericanas se hace uso de mezclas de maderas de la selva virgen para la producción de tableros de fibra y partículas. Hasta ahora, la literatura no proporciona informaciones detalladas sobre esta técnica. Sin embargo se sabe de un caso particular, donde la producción de tableros de partículas resultaba difícil. El mosaico de partículas de pesos específicos diferentes y valores de pH diferentes junto con la cola de urea empleada, tenía como resultado una superficie áspera del tablero.

Otro uso potencial de madera mezclada se presenta en la fabricación de pasta soluble, material para rayón viscosa. Esta pasta soluble se produce de tal manera que se coce la mezcla al sulfato bajo condiciones más rígidas. Los primeros ensayos han producido un beneficio muy reducido, entre 26 y 28%. Según eso, los costos para los reactivos químicos son elevados. Tal celulosa encontraría comprador en el mercado mundial sólo bajo la condición de que se desarrolle una técnica económica.

En atención al costo de la materia prima y el suministro continuo de la industria química de la madera, el abastecimiento por medio de plantaciones parece lo indicado en vez de la explotación de selvas naturales. En vista al rendimiento, la plantación tiene varias ventajas: Manejo sencillo, producción permanente a base del rendimiento sostenido, producción alta de madera en clase y calidad deseada, distancia de transporte corta.

En América Latina había hasta la fecha de diciembre 1965 más de 1.5 mill. ha de plantaciones (fig.49). Entre ellas se encuentran aprox. 0.5 mill. ha de coníferas y más de 1 mill. ha de especies latifoliadas. De las últimas, 760.000 ha son de eucalipto, 132.000 ha de álamo y sauce; las demás son de otras especies. El incremento de algunas de las plantaciones es estupendo, según indican las publicaciones:

- Argentina: Sauce, 20-25 m³/ha/año.
Pinus elliottii y P. taeda, 30 m³/ha/año.
Araucaria angustifolia, 20-30 m³/ha/año.
- Chile: Pinus radiata, 24 m³/ha/año; con turnos de 10 años hasta 35 m³/ha/año.
- Ecuador y Perú: Eucalyptus globulus, 15 m³/ha/año.
- Uruguay: Pinus elliottii y P. taeda, 14 m³/ha/año.

No cabe duda que el cálculo en m³ tiene significancia para la producción de madera aserrada y contraenchapada. Al contrario la producción de pasta y papel no requiere volumen sino masa (= peso). Sin embargo, también con respecto a la producción de masa, el incremento de las plantaciones es sorprendente. El valor económico y productivo de los bosques artificiales, en primer lugar a base del pino, ha sido comprobado por medio de las plantaciones en Brasil, Chile, Africa del Sur y Nueva Zelandia. Las plantaciones chilenas proporcionan hoy día 1.6 mill. m³ de madera, para la producción de 230.000 tt de pasta química, 130.000 tt de pasta mecánica y 480.000tt de madera aserrada y tableros. Sobre esta base, se ha desarrollado, dentro de un lapso de tiempo corto, una industria de madera, moderna y floreciente, que se encuentra todavía en expansión. En Africa, el pino de plantaciones ya es el árbol más importante. Industrias gigantescas de aserrío y pasta, se han formado y están en pleno desarrollo.

Aquellos dasónomos e industriales que abogan por los bosques artificiales, tienen sin duda muy buenos argumentos. Sin embargo, no se deja de mencionar que monocultivos están propensos a retrocesos y contratiempos. Por otra parte, la experiencia ha probado que los riesgos se pueden contrarrestar con medidas adecuadas.

Mientras tanto, se han efectuado plantaciones en muchos países latinoamericanos (fig.49). Para asegurar el suministro de madera, la FAO ha recomendado plantar 300.000 ha anuales. Del total de 6 mill. ha hasta 1985, 5 mill. ha deben ser bos

ques industriales, de los cuales 3 mill. ha de coníferas y 2 mill. ha de especies latifoliadas; el resto de las plantaciones debe servir de bosques protectores.

El abastecimiento de la industria papelera y de celulosa se basará en primer lugar sobre coníferas (69% de la madera). Además de eso, se utilizarán otras materias primas, preferentemente bagazo. Para la producción de celulosa, los países con bosques de coníferas y sitios apropiados para estas especies son los más aptos (fig.50). Uno de ellos, Honduras, si tiene una base de materia prima muy ventajosa, pero no la ha aprovechado aún. En vista a la economía nacional, parece aconsejable que Honduras se convierta en un país productor de pasta y celulosa y aproveche su riqueza de bosques de pino, que constituyen la materia prima más importante del país.

A largo plazo, América Latina puede convertirse en un exportador potente de madera y productos madereros. Posiblemente, las selvas naturales enormes tendrán en este proceso un papel muy reducido, comparado con la potencia productora de las plantaciones en desarrollo.

Hoy día se utiliza el bagazo para la fabricación de pasta, tableros de fibra y partículas (fig.51). Sin embargo, solamente el 20% de la cantidad total del bagazo queda para tal fin porque los primeros 80% son quemados en los generadores, para producir la energía necesaria. Si se logra sustituir el bagazo por otro combustible, quedan a disposición para la producción cantidades considerables.

4.3

Los costos de la industrialización.

A pesar de su riqueza en bosques, América Latina importa productos forestales. Cuando se comparan exportaciones e importaciones, resulta un déficit anual de 200 mill. de dólares, sin tomar en cuenta el valor de las importaciones de maquinaria para la industria maderera. En la suma de 200 mill. de

dólares, las importaciones de pulpa y papel tienen el primer lugar. Esta situación desventajosa requiere el desarrollo rápido de las industrias madereras nacionales para asegurar el autoabastecimiento del subcontinente.

Según las estimaciones de la FAO (1967), se calcula una demanda de capital de \$4.400 mill. hasta el año de 1985 (tabla 12).

TABLA 12: Demanda de capital de la industria maderera de América Latina hasta 1985 (según FAO)

	Mill.\$
Aserraderos	
Renovación de empresas existentes (6 mill. m ³)	20
Establecimiento de empresas nuevas	380
Tableros	
Madera contraenchapada (renovación para la capacidad de 200.000 m ³)	45
Tableros de fibra (empresas nuevas)	170
Tableros de partículas (empresas nuevas)	175
<u>Pulpa y papel</u> (empresas nuevas)	3.600
	<u><u>4.390</u></u>

Esta suma de 4.400 mill. \$ se refiere solamente a los costos de renovaciones y empresas nuevas; no incluye los costos referentes al mejoramiento de la infraestructura. Bajo este término se entiende: abrir una región por medio de carreteras y/o ferrocarriles, ordenación del suministro de agua por presas y construcciones hidráulicas, bosques protectores, abastecimiento con energía, etc. Además hay que asegurar el suministro de la materia prima, colas de diferentes clases, productos químicos para pulpa y papel.

En vista a los costos, es indicado enterarse de las capacidades e inversiones necesarias de la industria que elabora ma-

dera en su forma natural. Las capacidades deseadas e inversiones dependen mucho del alcance de venta de la empresa. El abastecimiento del mercado local requiere sólo un tamaño reducido de la empresa. Al contrario, la competencia en el mercado común de América Latina o el Mercado Mundial requiere capacidades amplias.

No es posible dar aquí los costos de la inversión para las industrias particulares. Las cifras varían mucho debido a las situaciones diferentes en los países latinoamericanos.

4.4 L a s f u e n t e s d e f i n a n c i a c i ó n .

América Latina necesita para el desarrollo de la industria de madera 4.400 mill. \$ entre 1975 y 1985. Aunque se trata solamente del capital necesario para las empresas propiamente dichas, este monto es tan alto que no puede ser alcanzado por esfuerzos propios. Además, la suma mencionada no abarca los costos necesarios para abrir regiones boscosas inaccesibles, ni las inversiones para el mejoramiento de la infraestructura. Como fuentes de financiación se ofrecen el BID, la ADELA, el Banco Mundial, la cooperación bilateral y cooperación de industrias extranjeras.

Entre ellos, la cooperación de industrias es ventajosa bajo varios aspectos. En general, esta cooperación se verifica dentro de un plazo corto y suministra no sólo el capital necesario, sino también la experiencia técnica y en muchos casos, al mismo tiempo, un mercado de exportación.

En cierta fase de desarrollo, unos países desestiman la participación de empresas extranjeras. Sin embargo, la evolución industrial en todas partes del mundo ha señalado, que una cooperación mutua es ventajosa, cuando rinde beneficios para ambos socios. Un ejemplo es México.

El gobierno mexicano vigila sobre inversiones y participaciones extranjeras que son limitadas por ley a un 49%. El hecho de que la mayor parte del capital (a lo menos el 51%) es na-

cional, garantiza el control de las empresas. Las nuevas industrias mexicanas son creadas de manera moderna, a base de los conocimientos científicos y técnicos más recientes. Esto evita inversiones equivocadas y tropiezos en el comienzo de la producción. De provecho particular es la instalación de sucursales de fábricas de maquinaria extranjeras. De este modo, se ahorran divisas en vez de gastarlas para la importación de máquinas costosas.

Un número grande de empresas extranjeras han aceptado ofertas por gobiernos nacionales y han creado filiales o participan en empresas nacionales. En Brasil, p.ej., las empresas siguientes se encargan de la producción de maquinaria para la fabricación de papel: BLACK CLAWSON (EE.UU.), VOITH, ESCHERWYSS (Alemania), CAVALLARI (Italia).

No solamente el Brasil, sino también los demás países tratan de atraer empresas y capitales extranjeros. Argentina ya tiene participaciones de empresas como la SCOTT PAPER CO. (EE.UU.) y la WIGGINS TEAPE (Inglaterra). Un ejemplo típico de la financiación de empresas nuevas es la fundación de la PAPEL MISIONERO en la provincia de Misiones en el Río Paraná. Se intenta producir ahí pasta kraft no blanqueada, kraft liner y papel kraft. La financiación se efectúa de la manera siguiente:

- 1.- Una parte de las acciones compra el gobierno de la provincia.
- 2.- El gobierno japonés da un préstamo de 13 mill. de \$.
- 3.- El resto de 1.5 mill. de \$ está financiado por fuentes particulares.

La maquinaria necesaria la suministra la japonesa MARUBANI-IIDA CO. conforme a las normas de la BLACK CLAWSON CO. No antes de 6 meses después de la iniciación de la producción, empieza la amortización de los préstamos. La PAPEL MISIONERO es la primera planta en Argentina que produce pasta kraft de fibra larga, que tenía que ser importada hasta la fecha.

Otro ejemplo de una ventajosa cooperación mutua presenta Chile. Las fábricas chilenas tienen el mismo nivel respecto a capacidad productora y equipo técnico, comparado con fábricas de celulosa de los Estados Unidos y Europa. La empresa más grande en LAJA tiene una capacidad de 550 tt/día. Está equipada con un lejiador continuo e instalaciones protectoras contra terremotos. La empresa coopera con la CROWN ZELLERBACH (EE.UU.) y está construyendo la fábrica de papel LACROSA con 150 tt/día.

Todos estos ejemplos señalan la verificación de proyectos de industrialización sobre la base de una cooperación racional. La última es indispensable en planificaciones de dimensiones grandes. Venezuela, p.ej., planea la extensión del Proyecto de la Guayana (en una región aguas arriba del río Orinoco), mediante la instalación de un complejo de fabricación de acero, aluminio, maquinaria y productos químicos hasta una planta de pulpa y papel. Para el comienzo está prevista una capacidad de 65.000 tt/año, la que se aumentará hasta 130.000 tt/año. Empresas de este tamaño requieren planificación cuidadosa en vista al abastecimiento con materia prima y agua, facilidades de transporte y mercado.

El capital extranjero se obtiene lo más fácil, cuando las empresas que efectúan la financiación son los compradores potenciales de los productos al mismo tiempo. Esto vale por ej. para las empresas que están construyendo ahora en Brasil y Argentina, la BORREGAARD S.A. (Noruega) y la WIGGINS TEAPE (Inglaterra). Ambas fábricas producirán tales clases y calidades de pasta como están buscadas en el mercado europeo. El capital extranjero se consigue también en el caso, cuando la producción prevista está relacionada con otra existente. Ejemplos son la fabricación de cajas de cartón para bananos (UNITED FRUIT CO.) o de sacos de papel para cemento.

Al contrario será difícil atraer capital extranjero para industrias de capacidad reducida, la cual en general no es económica, y de mercado local (aserraderos y fábricas de contra

enchapado). Sin embargo, la selva natural poco o no explotada ofrece buenas facilidades para la creación de industrias a escala grande, en caso de que la región esté accesible para el tráfico moderno. Una de estas regiones es el Amazonas con su riqueza en madera valiosa. Es imaginable que el desarrollo de la infraestructura fomenta la instalación de industrias de productos forestales en gran escala.

4.5 Demanda de técnicos para las industrias forestales.

La industria de los productos forestales crecerá muy rápidamente en los próximos diez años. Para hacer frente a este crecimiento es necesario la capacitación de técnicos bien entrenados. La FAO ha analizado el problema y ha calculado la necesidad de técnicos de la siguiente forma:

Ingenieros forestales	2.500-3.000
Peritos forestales	5.000-6.000
Guardias forestales	20.000-30.000
Técnicos de industrias forestales (nivel universitario)	1.000-1.500
Especialistas industriales forestales (nivel medio)	1.000-3.000
Capataces de industrias forestales	6.000-7.000

Seguramente será difícil alcanzar estas cifras dentro de corto plazo. Además parece que la industria, en esta primera etapa de desarrollo, no tiene ideas definidas acerca de las calificaciones necesarias para los especialistas y técnicos de la industria de productos forestales. Solamente el conocimiento del equipo mecánico no es suficiente. Se necesita que el personal tenga conocimientos del comportamiento y de las propiedades de la madera que es la materia prima en la industria forestal. Algunas universidades y centros de investigación forestal de América Latina han empezado a entrenar y formar este nuevo tipo de especialista en el campo de la tecnología de la madera. En Europa y los Estados Unidos, la educación

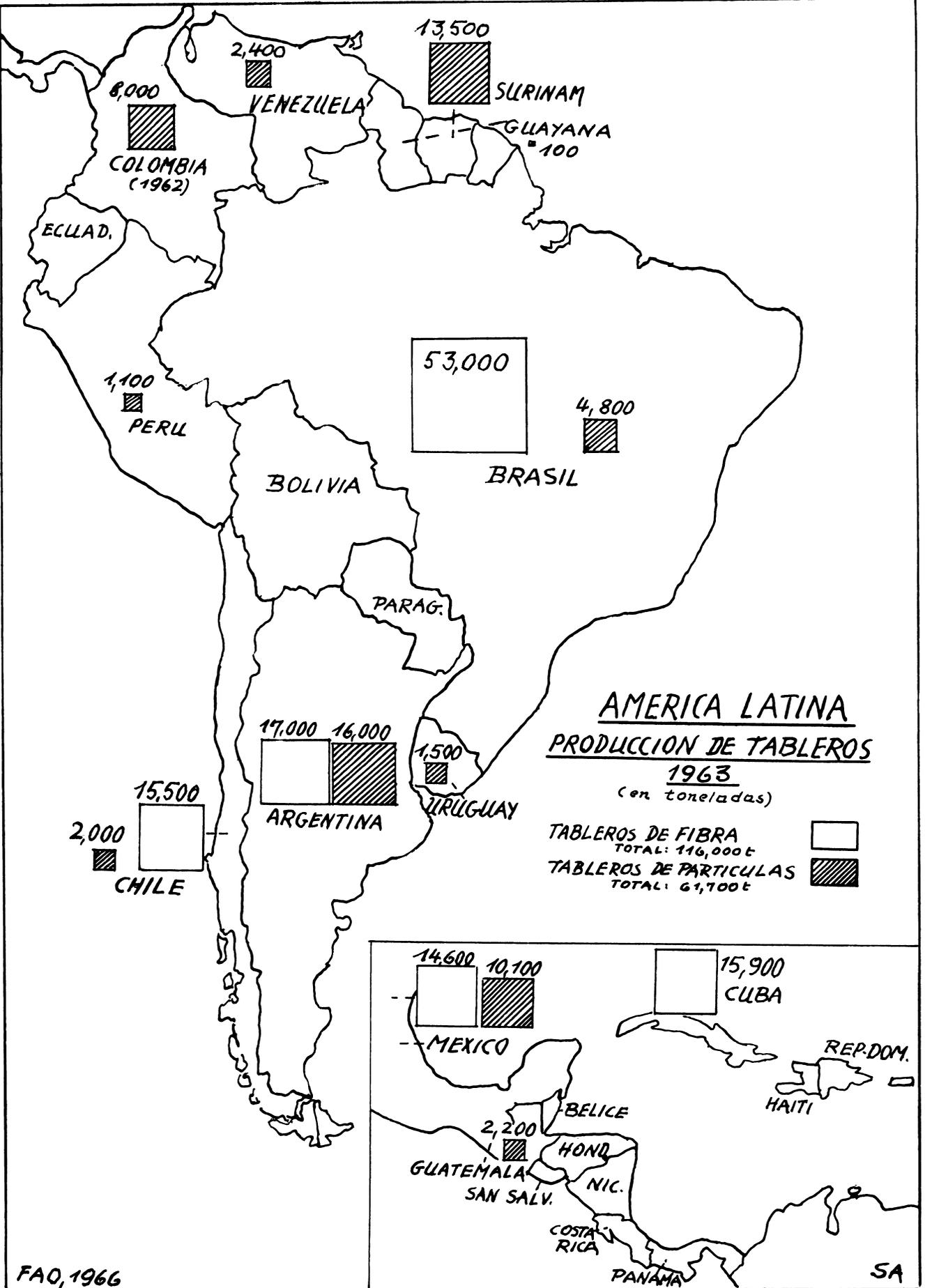
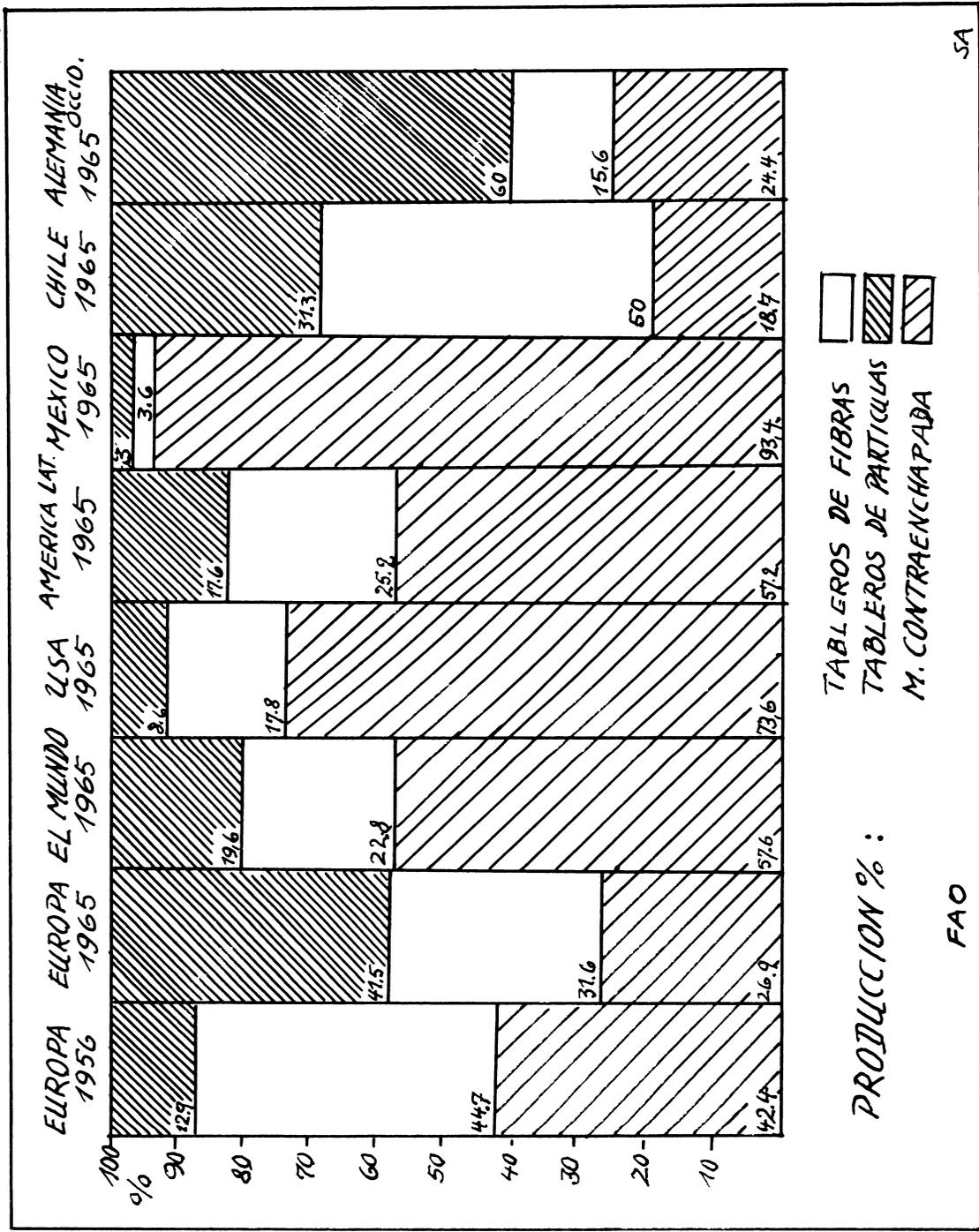
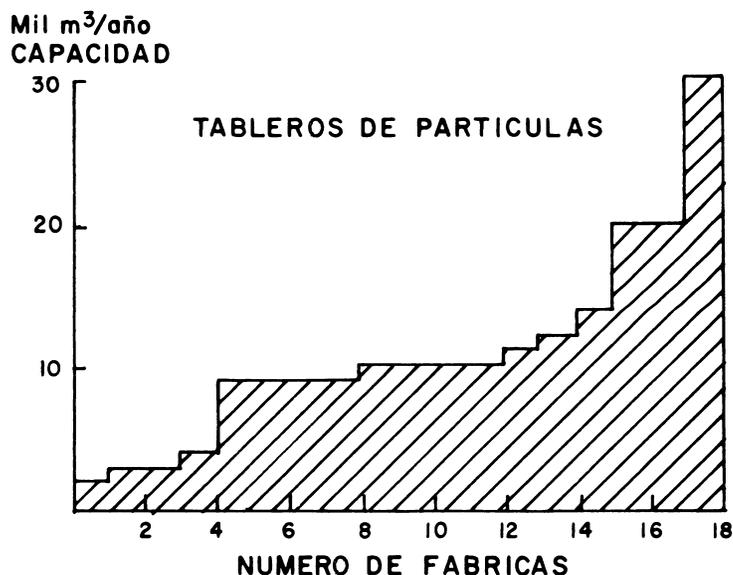
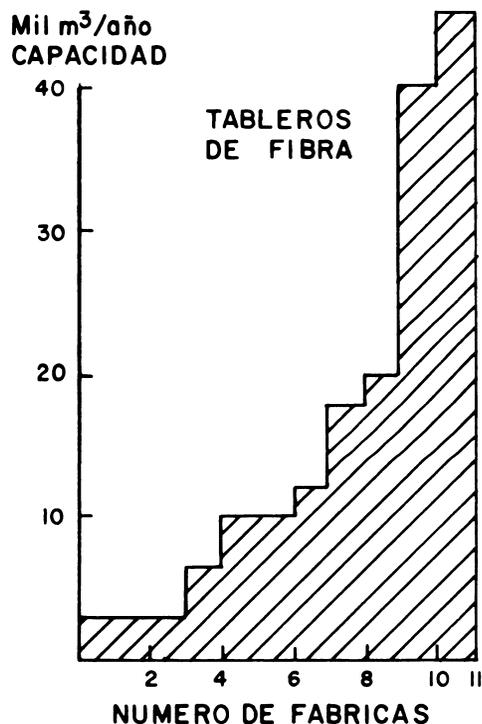
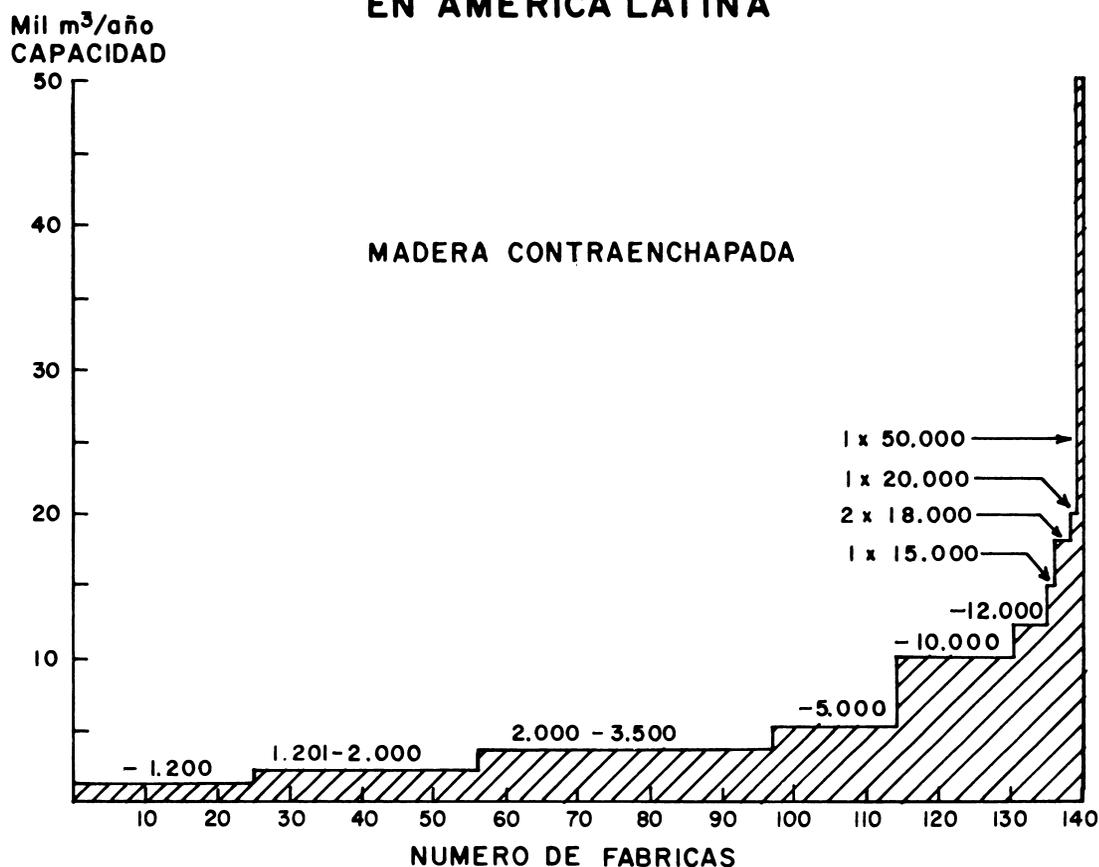


FIG. 35



ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA CONTRAENCHAPADA Y DE TABLEROS EN AMERICA LATINA

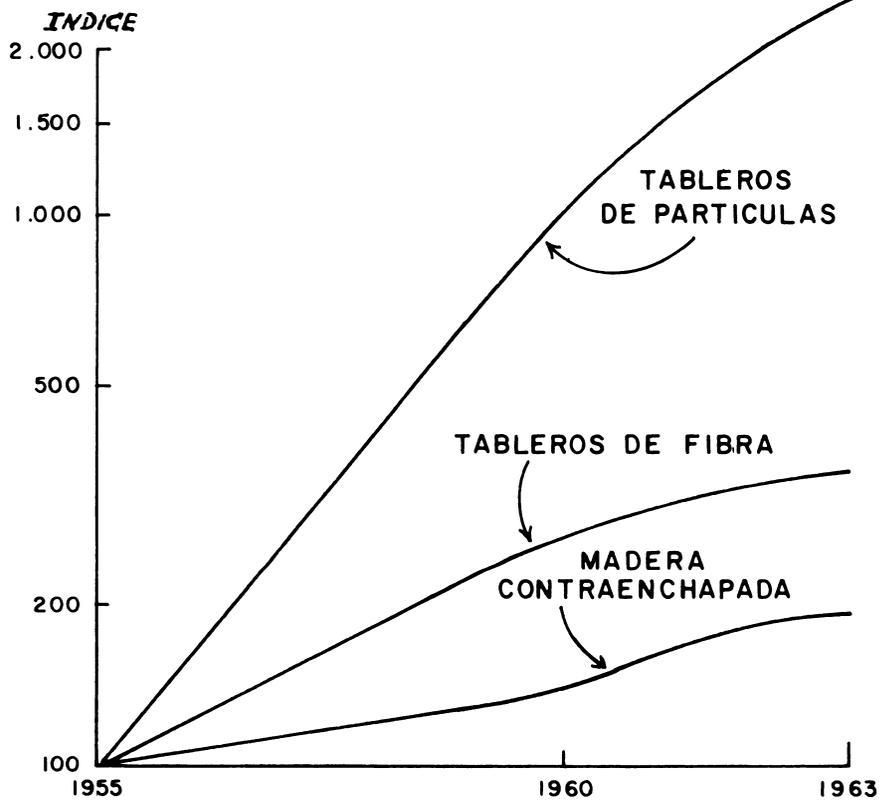
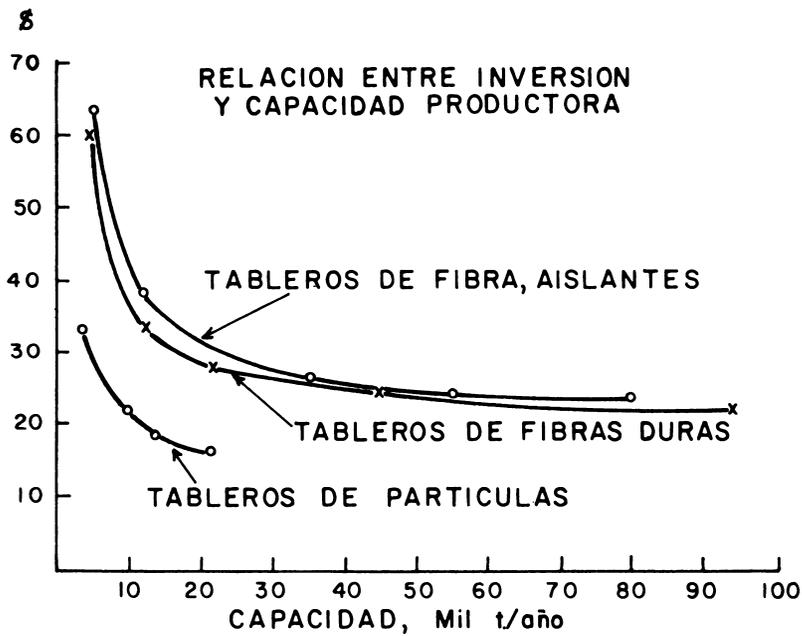
FIG. 36



AMERICA LATINA CRECIMIENTO DE LAS INDUSTRIAS DE TABLEROS

FIG. 37

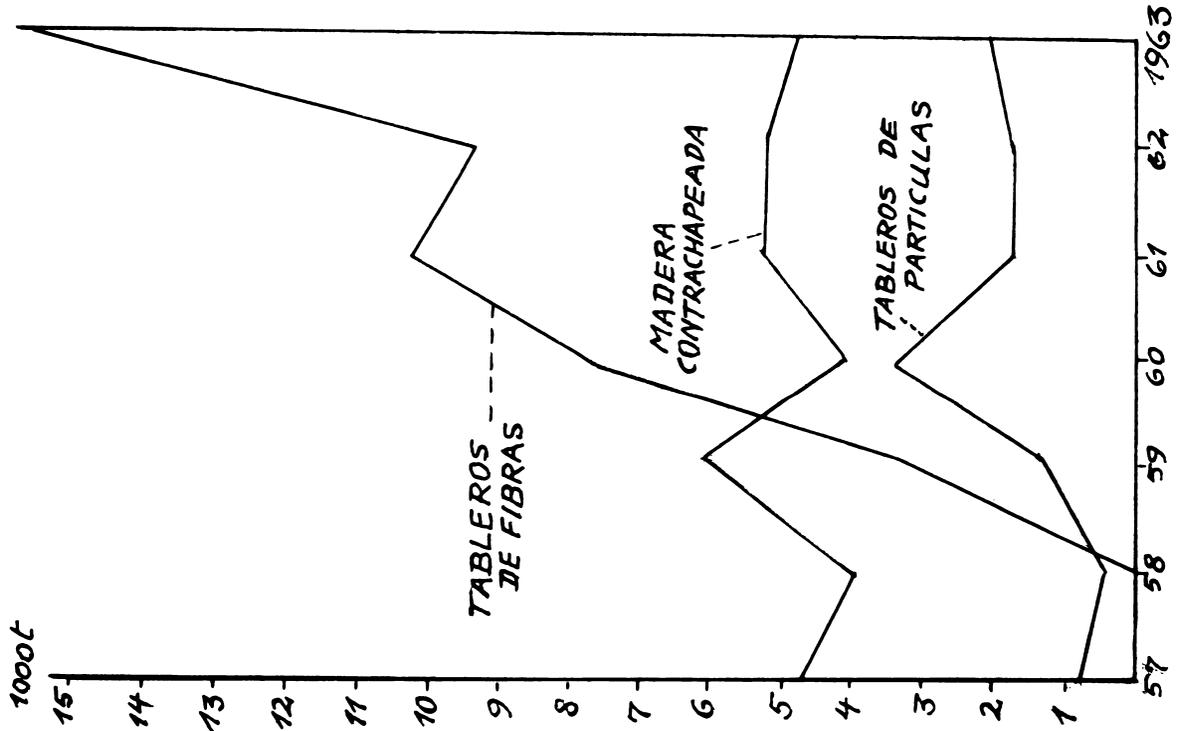
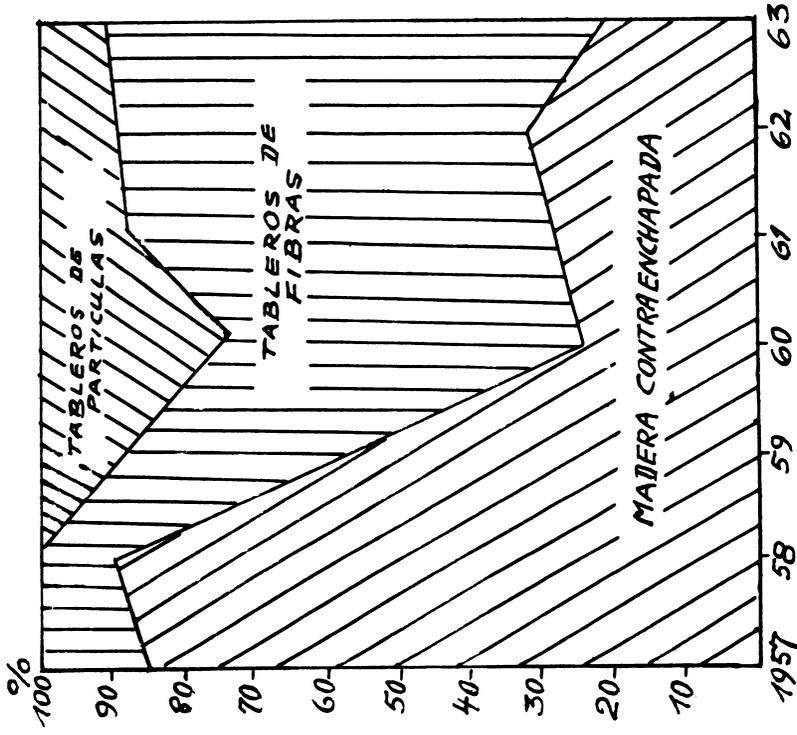
Inversión/t./día. (280 días/año/3 turnos) 1956



FAO

Fig. 38

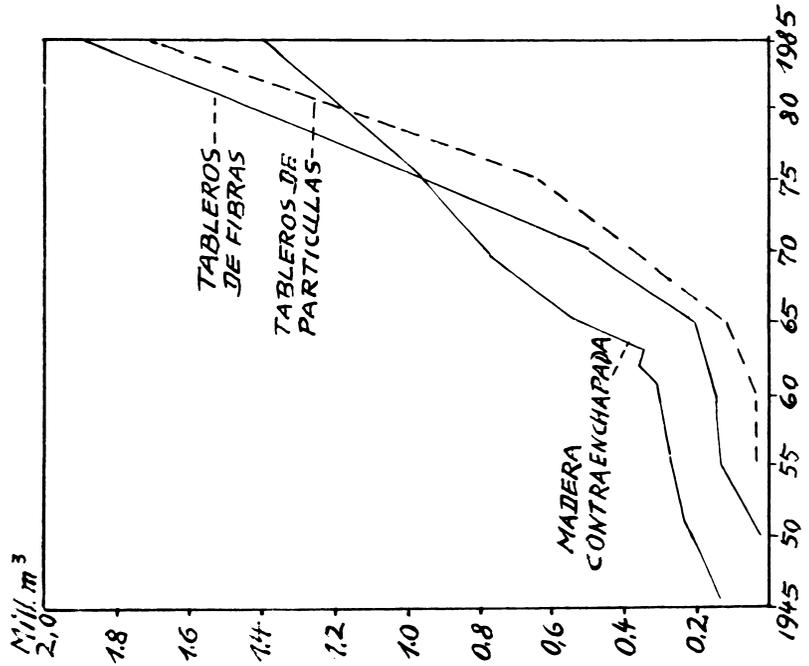
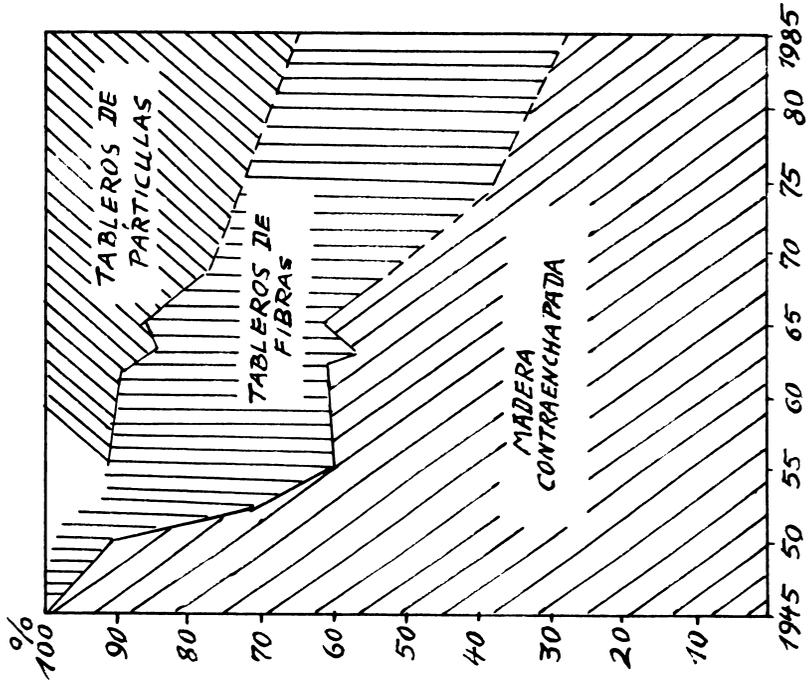
FIG. 38



CHILE
PRODUCCION DE PLANCHAS
1957 - 1963

FAO

SA.



DEMANDA DE TABLEROS EN AMERICA LATINA
HASTA 1985 (SEGUN FAO)

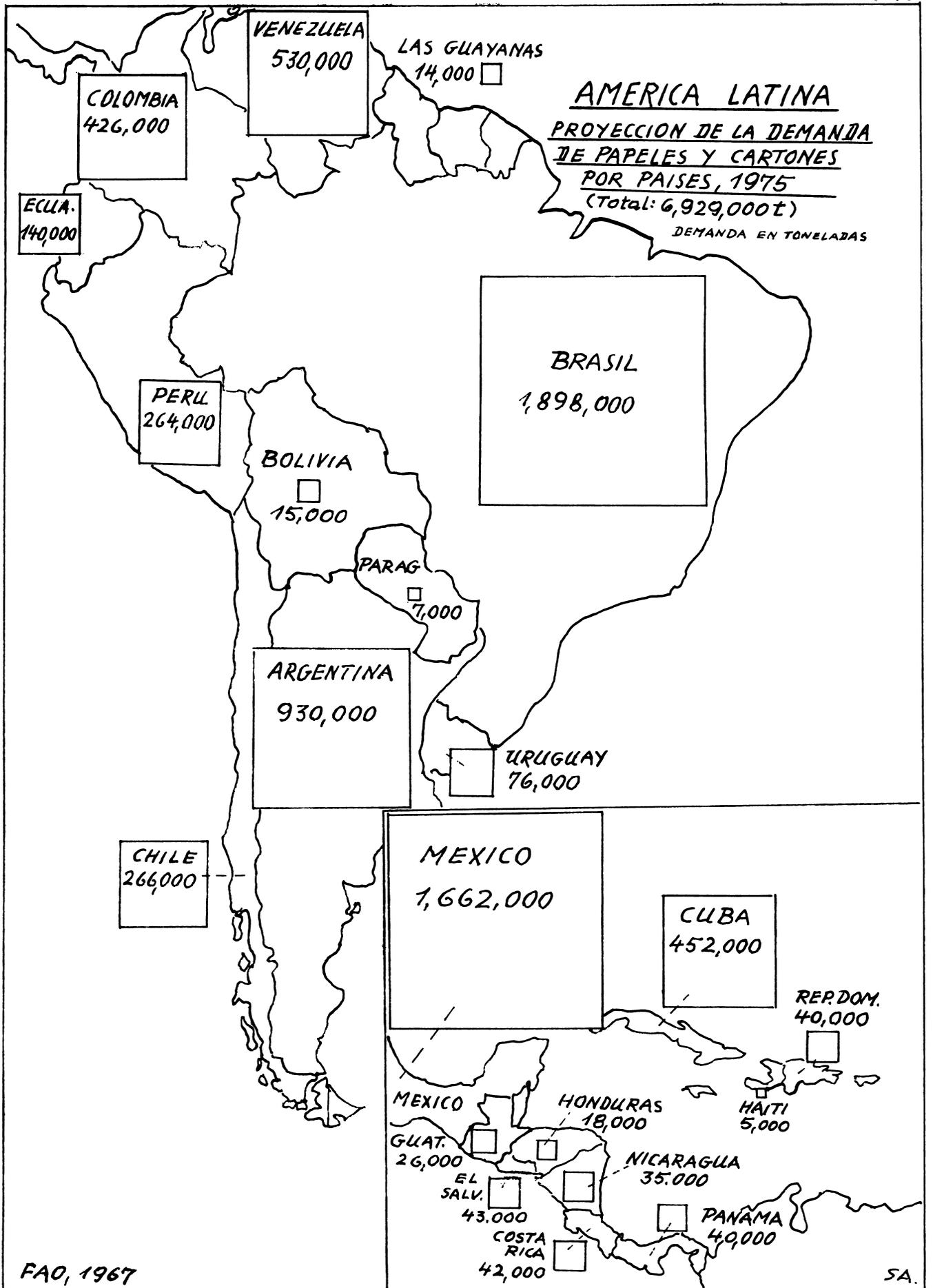
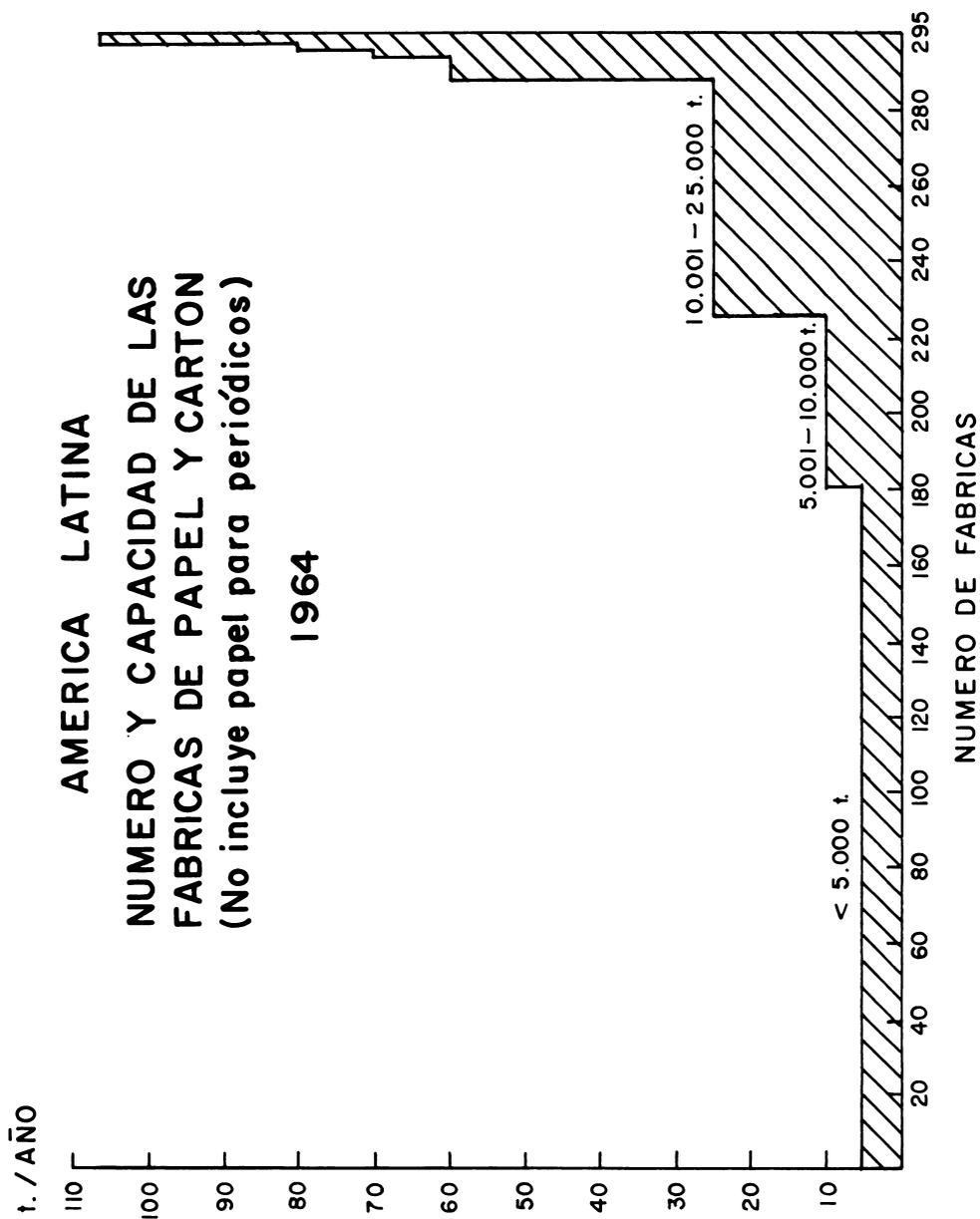
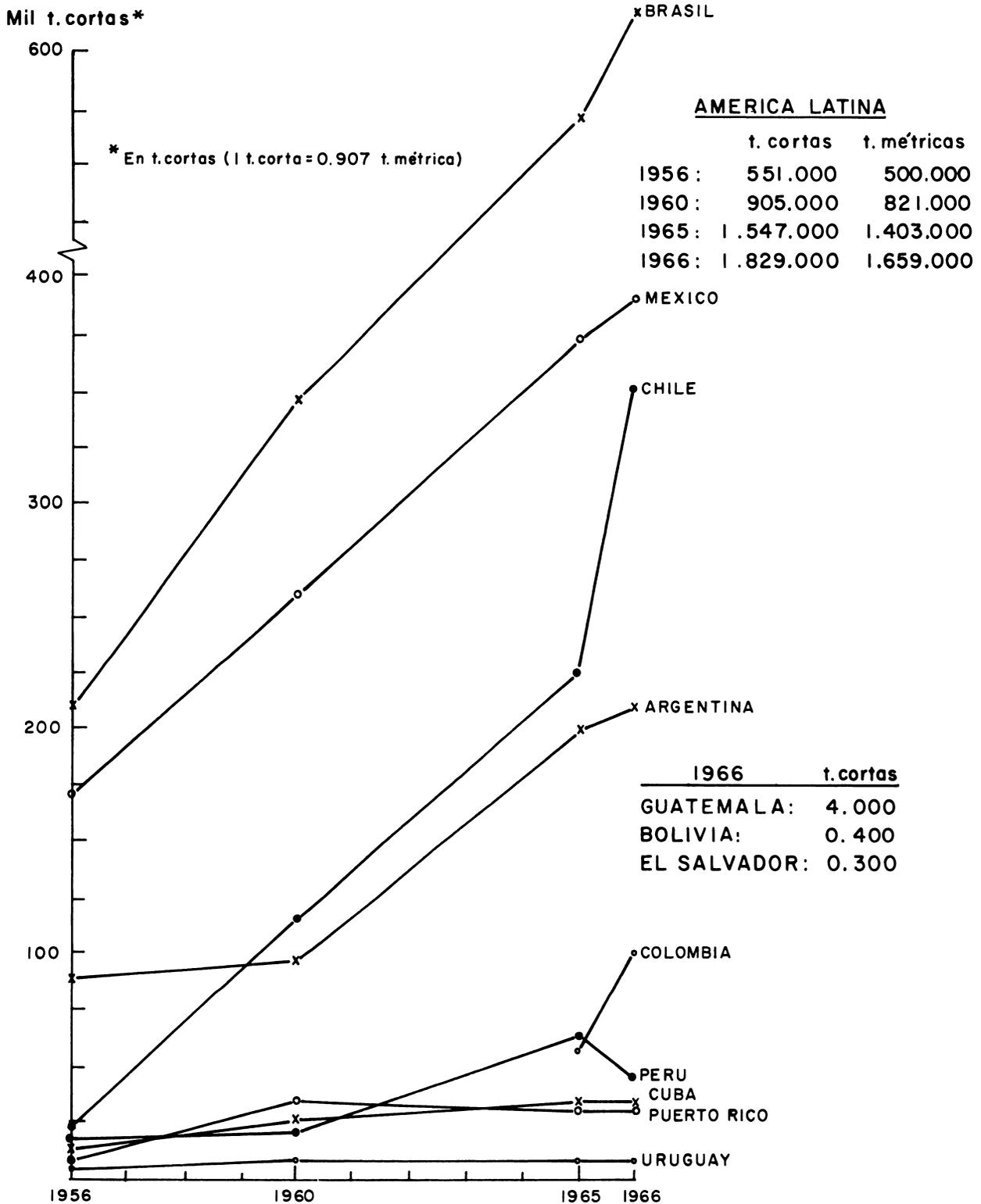


Fig. 41

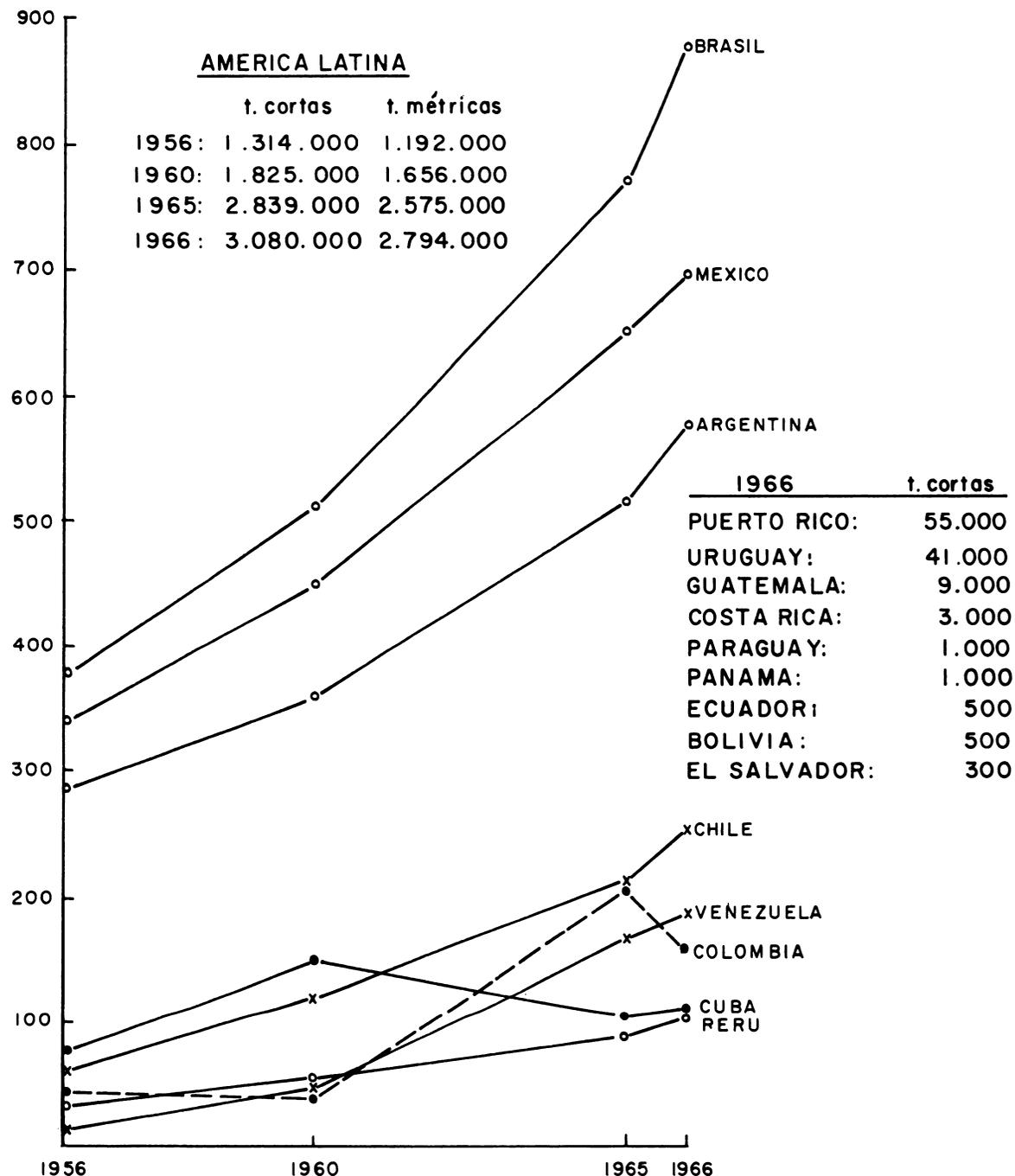


AMERICA LATINA PRODUCCION DE PULPA 1956 - 1966



AMERICA LATINA PRODUCCION DE PAPEL Y CARTON 1956 - 1966

Mil t. cortas



1000t

FIG. 44

AMERICA LATINA:

PRODUCCION DE PAPEL PARA DIARIOS

1950 - 1964

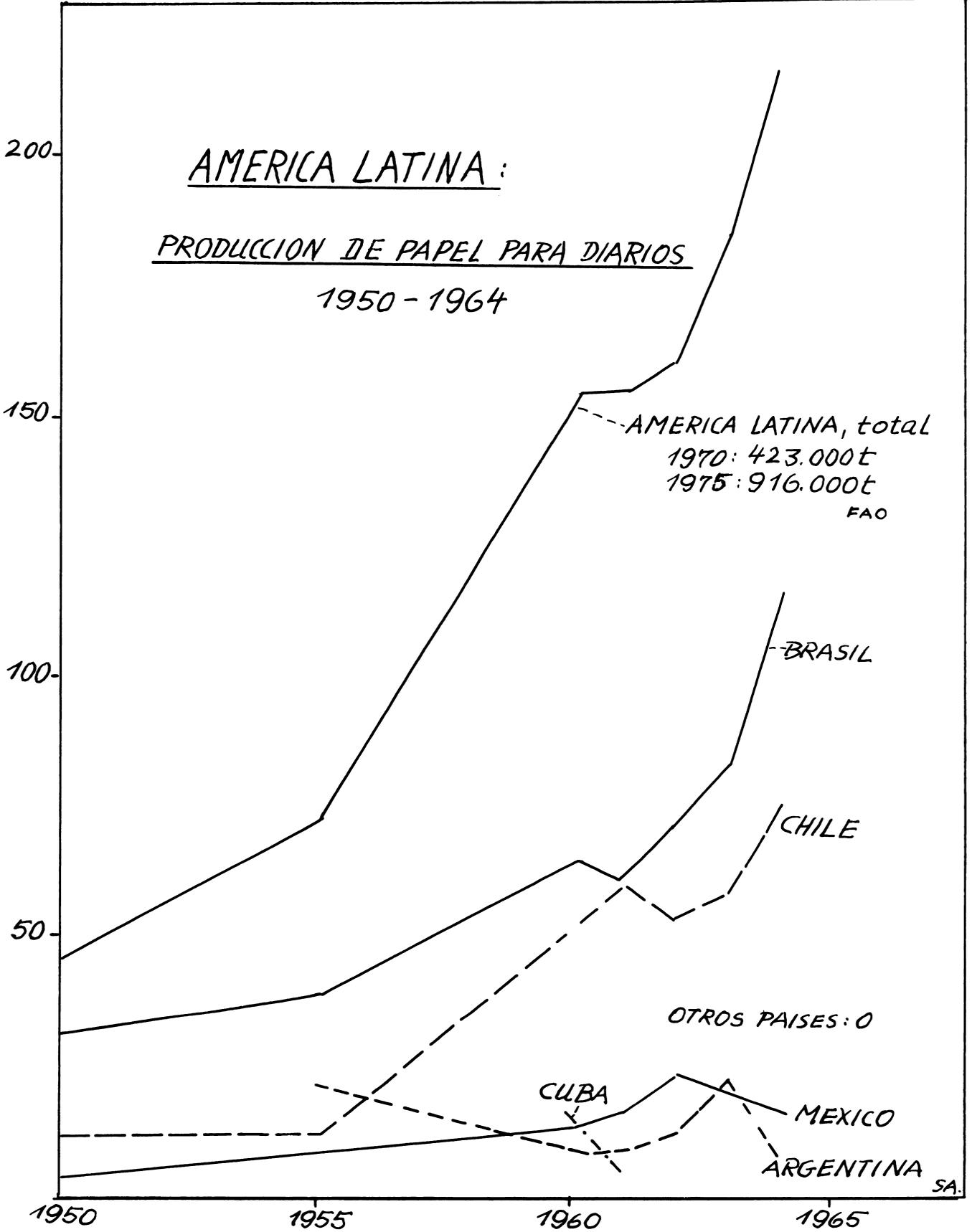
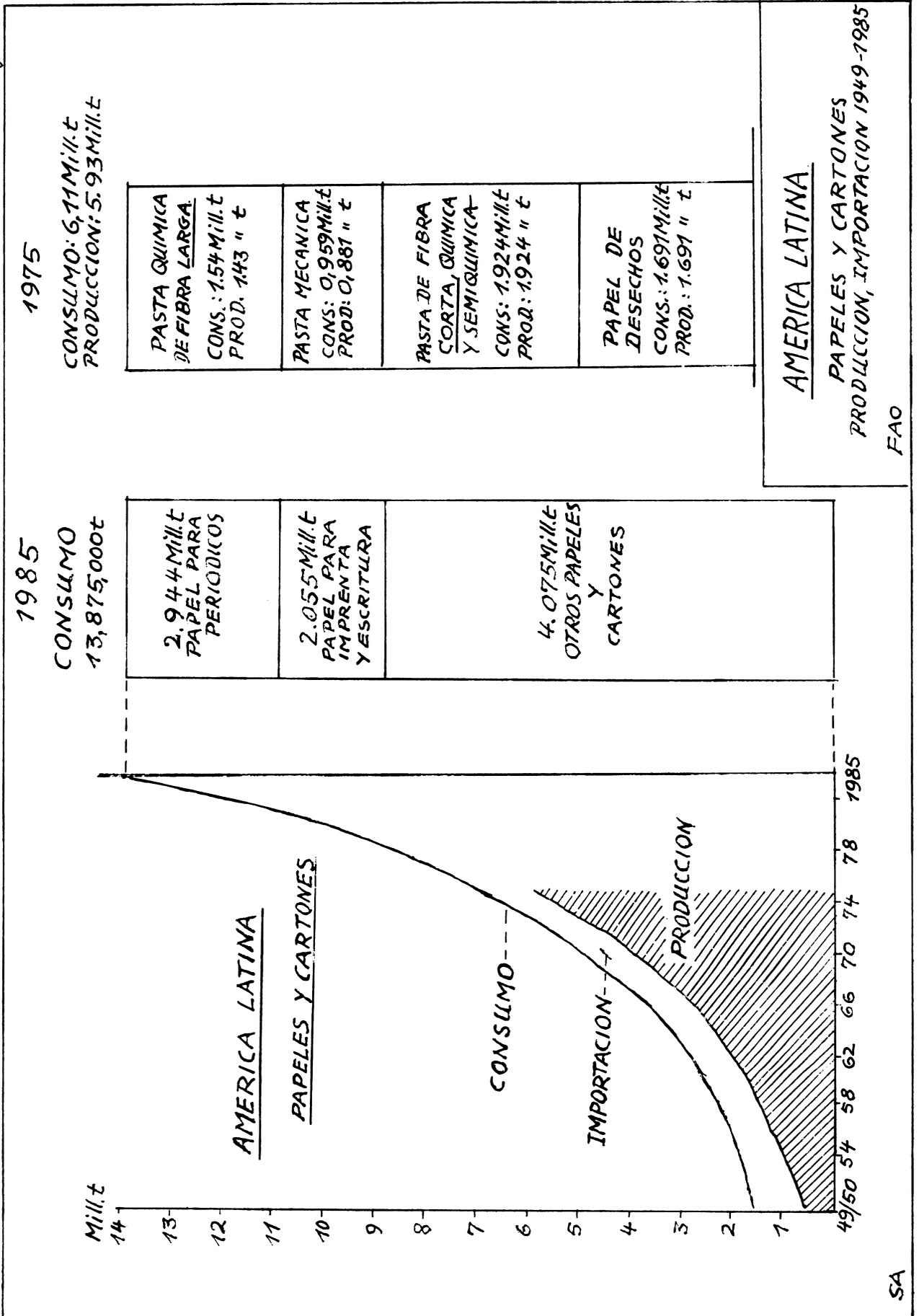


Fig. 45

FIG. 45



CONSUMO DE PRODUCTOS DE MADERA EN AMERICA-LATINA

PRODUCTO	1965	1985	%
MADERA ASERRADA	13.0 Mill. m ³	32 Mill. m ³	246
M. CONTRAENCHAPADA	550.000 m ³	1.4 Mill. m ³	254
PAPEL Y CARTON	3.42 Mill. t	13.9 Mill. t	460
TABLEROS de FIBRAS	215.000 m ³	1.9 Mill. m ³	884
TABL. de PARTICULLAS	123.000 m ³	1.7 Mill. m ³	1.390

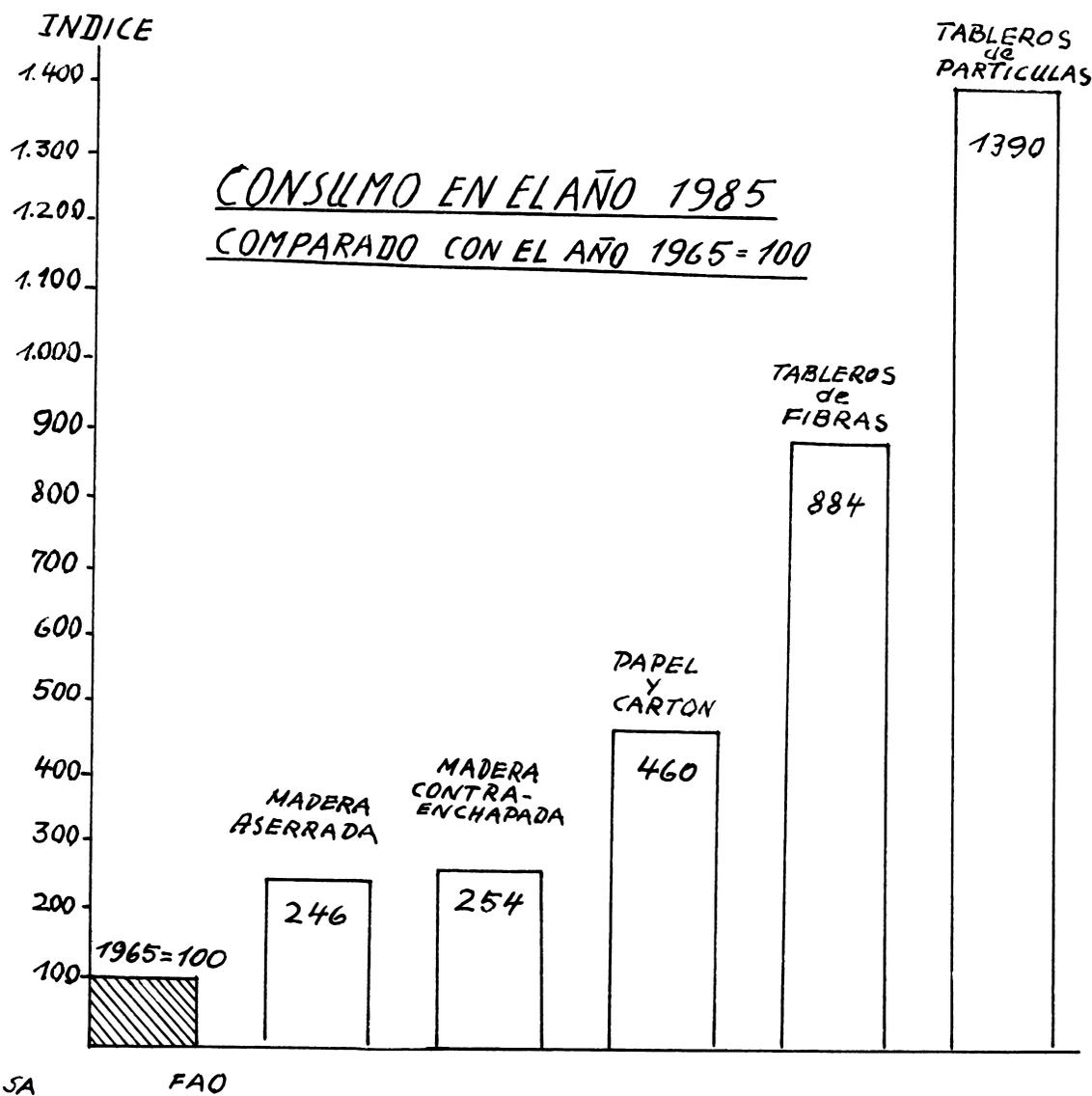
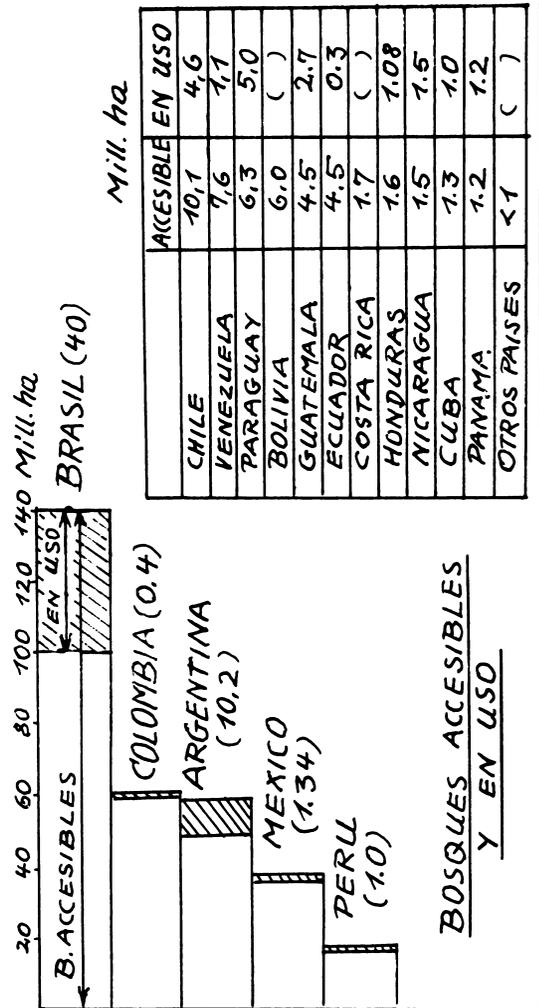
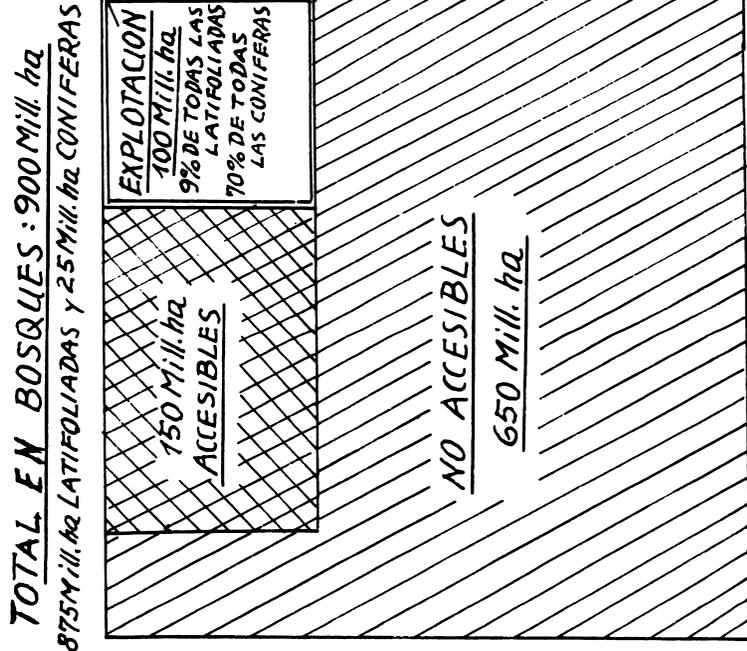
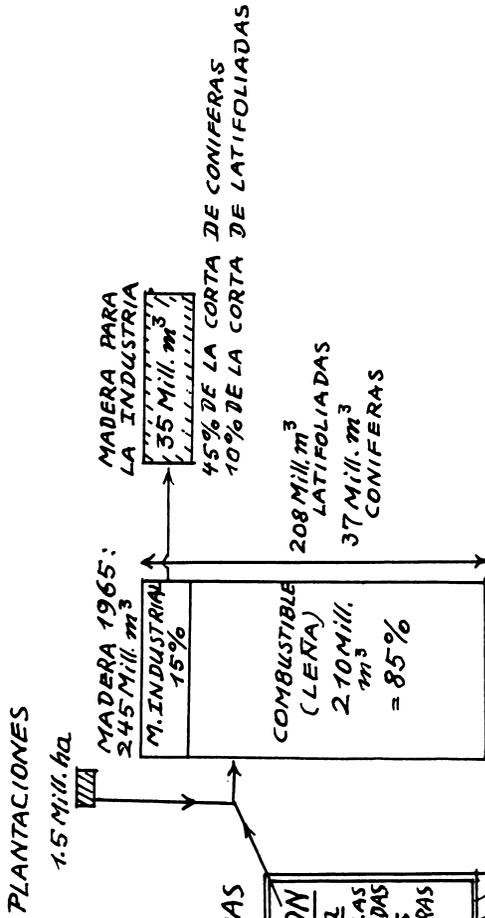


Fig. 47



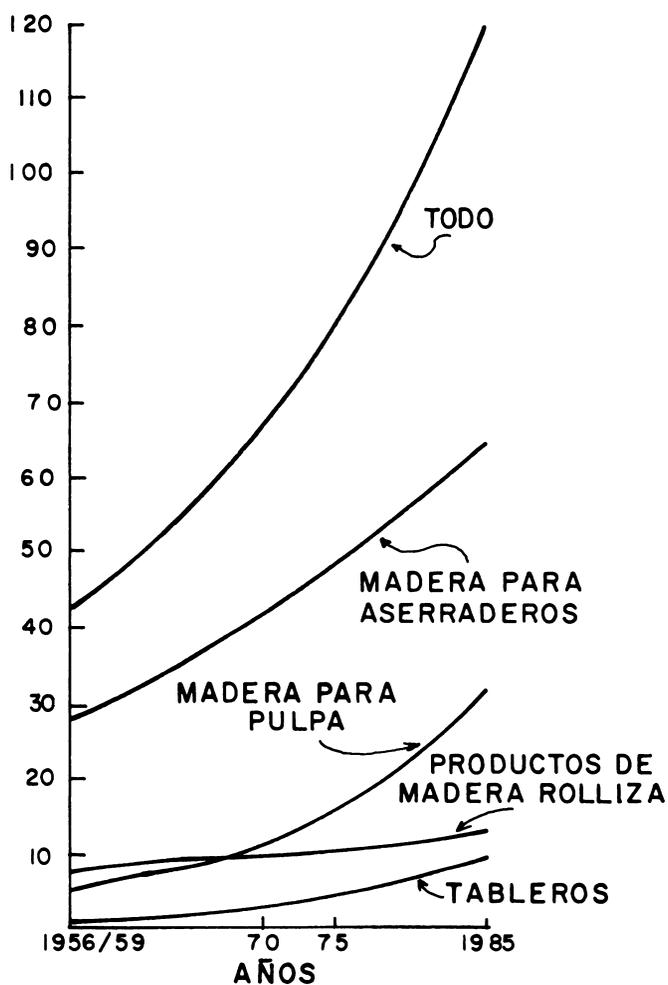
LOS BOSQUES DE AMERICA LATINA
< FAO >

AMERICA LATINA

NECESIDAD DE MADERA INDUSTRIAL

1956 - 1985

Mill. m³ de Madera Industrial



Mill. m³ de Madera, todos usos

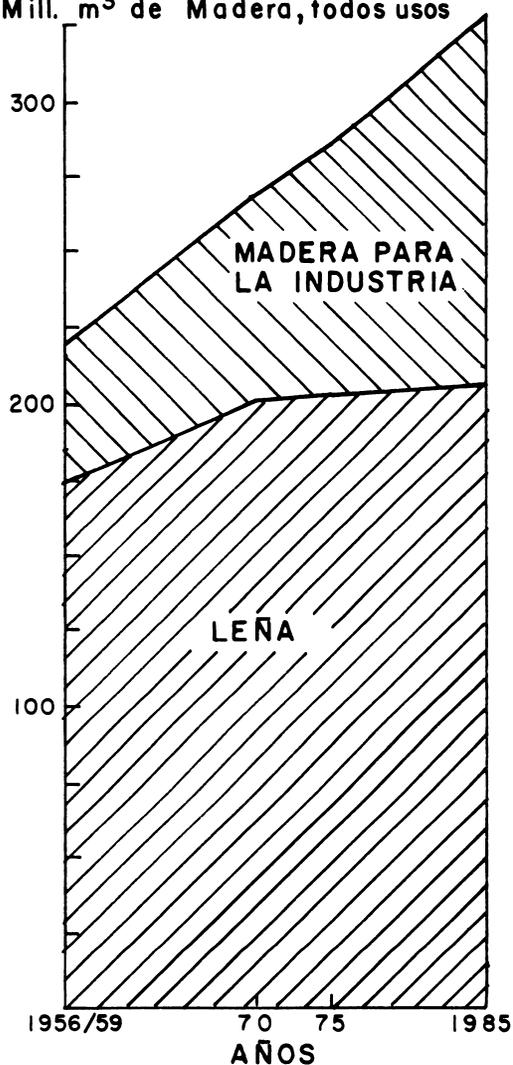


Fig. 49

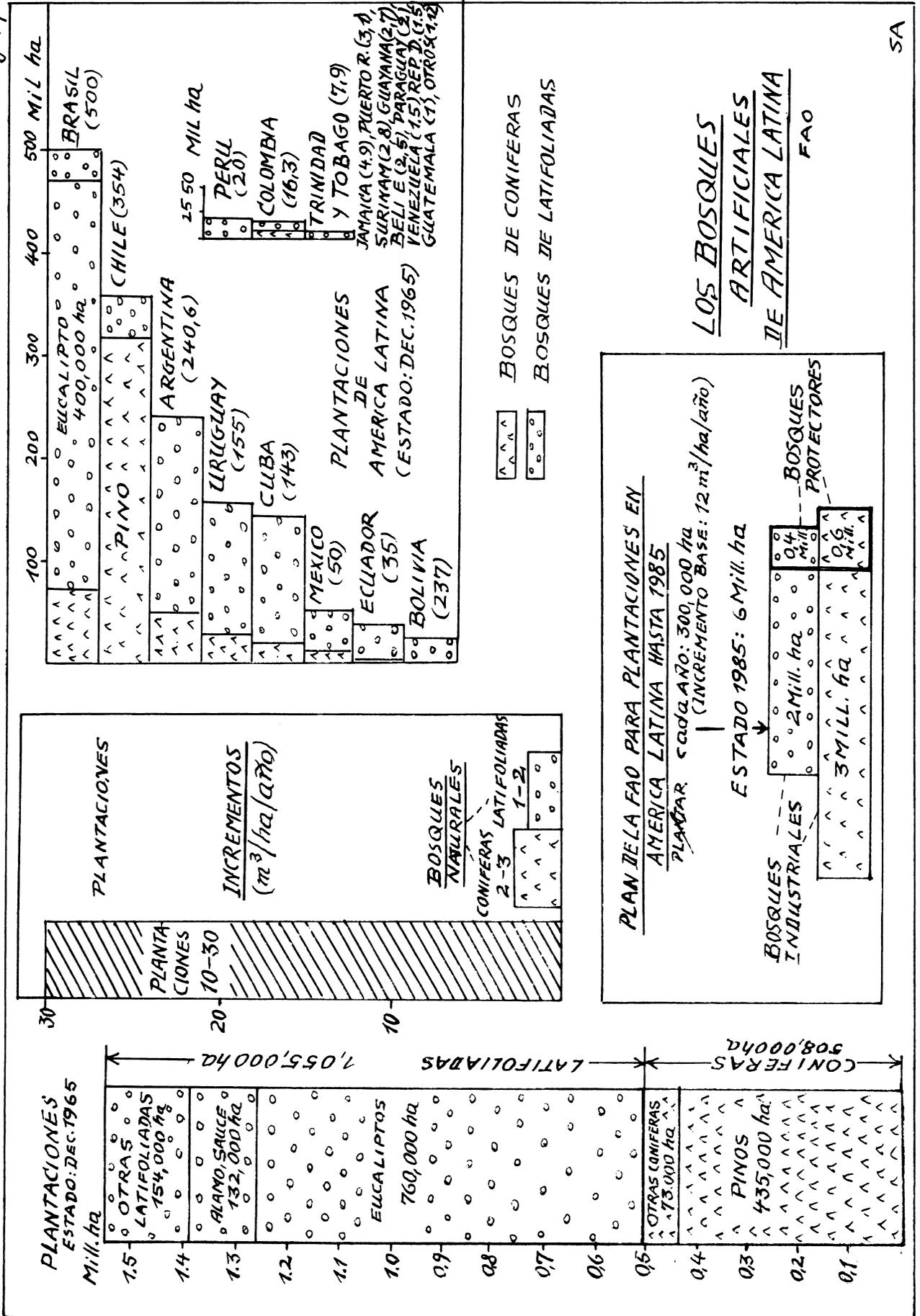


Fig. 50

FIG. 50

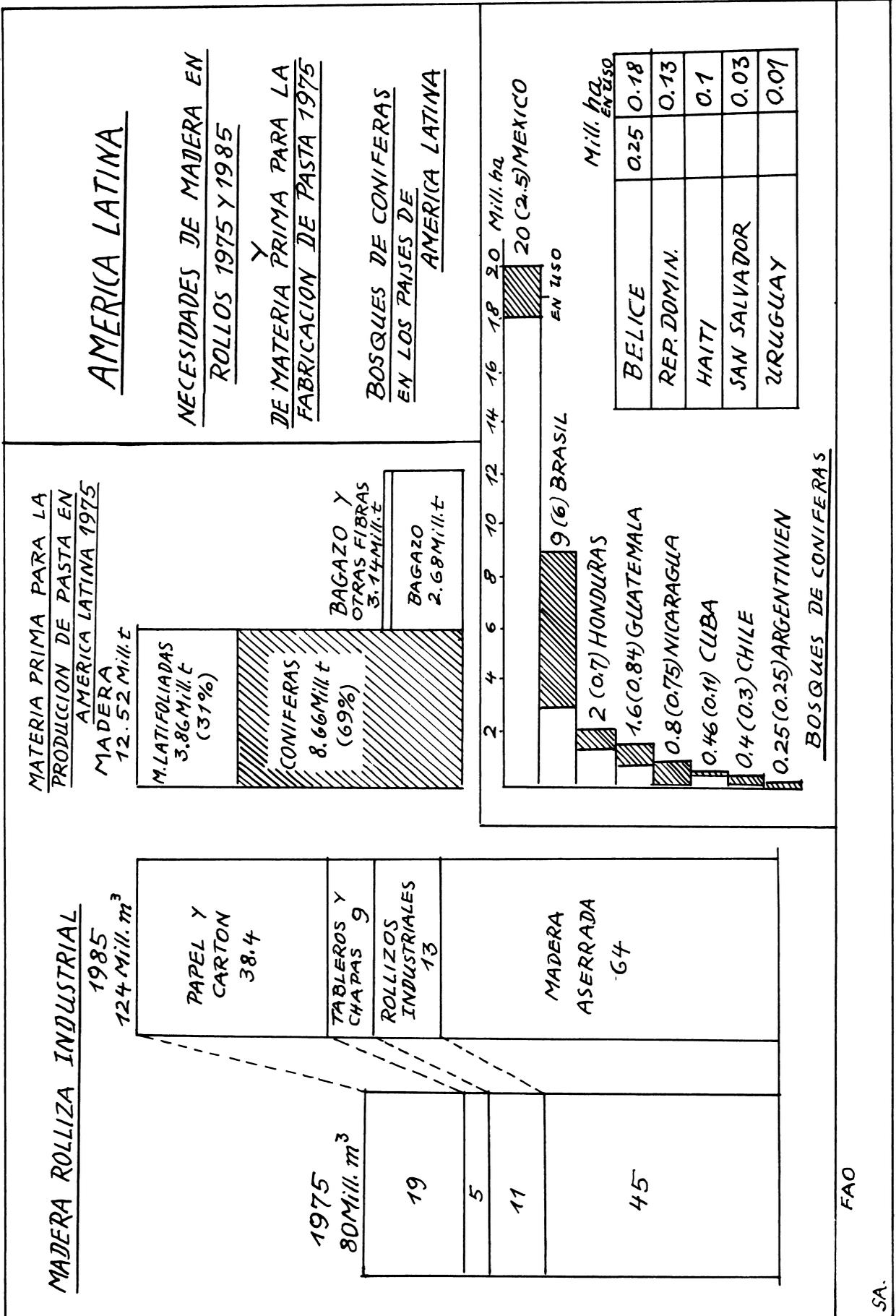
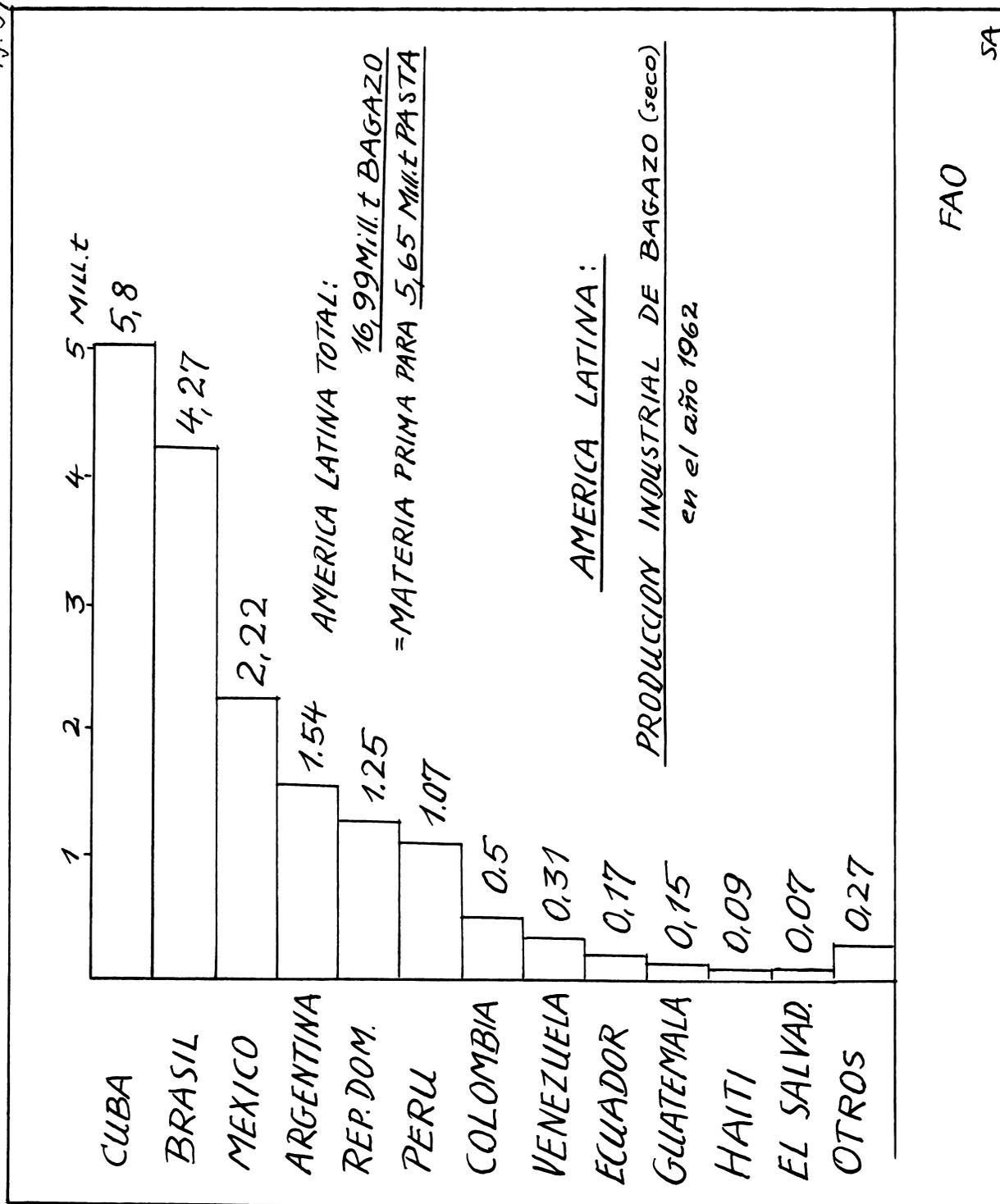


Fig. 51



de estos especialistas generalmente empieza con estudios básicos en las ciencias naturales, matemáticas, disciplinas forestales; luego se profundizan en los campos de investigación y tecnología de la madera. Aparte de los estudios universitarios, el estudiante está obligado a trabajar de practicante en la industria, para aprender la aplicación de sus conocimientos teóricos. De tal manera, se forma el personal bien adiestrado para las necesidades de la industria y la ciencia.

5. Q u í m i c a d e l a m a d e r a .

En este capítulo se tratan unos hechos fundamentales para el mejor entendimiento de la tecnología del aprovechamiento químico de la madera.

5.1 H i s t o r i a .

Con el experimento de H. BRACONNOT en el año 1819 en Francia, comenzó la investigación química de la madera. BRACONNOT trató la madera con ácidos minerales fuertes y obtuvo dos componentes, la glucosa y un residuo. Este experimento mostró que la madera no era una sustancia pura. Otro francés, A. PAYEN (1838), trató madera con ácido nítrico, después con álcali, alcohol y éter. Encontró que una parte, la lignina y las hemicelulosas, era soluble y que la otra parte era insoluble. Este residuo tenía la fórmula $C_6H_{10}O_5$ y es idéntico a la celulosa. PAYEN encontró también que celulosa, tratada con ácido sulfúrico (al 66%) y yodo, se coloreaba azul. Esta reacción no resultaba cuando se trataba madera entera. Por consiguiente PAYEN concluyó que la celulosa estaba rodeada dentro del compuesto madera, por lignina, que impedía la reacción.

F. SCHULZE (1857) obtuvo celulosa, tratando la madera con una mezcla de clorato de potasio y ácido nítrico. Esta mezcla, conocida como "mezcla de maceración de SCHULZE", es aún usada por los anatomistas de madera.

Entre 1860 y 1890, los científicos ya tenían buenos conocimientos de la química de la madera. Ellos sabían que la madera estaba constituida por tres componentes principales:

- 1.- Celulosa: Resistente a los álcalis, ácidos diluidos y a la mezcla de SCHULZE; soluble en cuproamoníaco; la fórmula de la celulosa es $C_6H_{10}O_5$.
- 2.- Hemicelulosa: Es más bien hidrolizable en ácidos diluidos que los hidratos de carbono.

- 3.- Lignina: Es soluble en la mezcla de SCHULZE. De acuerdo a KLASON (1890), la lignina es la parte de la madera la cual es insoluble en ácido sulfúrico (al 70%).

En los siguientes 50 años, científicos en todo el mundo trabajaban en la química de la celulosa, las hemicelulosas y la lignina. Se logró un progreso verdadero cuando la química de los polímeros activó la química de la madera. Los pioneros de los campos de la celulosa y la lignina fueron STAUDINGER, HIBBERT y FREUDENBERG. Hoy se tiene un conocimiento bastante claro acerca de los componentes de la madera. Sin embargo, todavía hay muchos problemas que necesitan investigación para su solución.

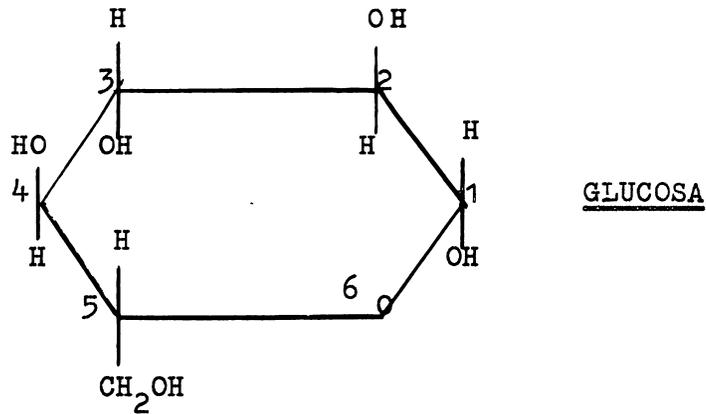
5.2 La estructura de la celulosa y sus derivados.

La celulosa es la sustancia de mayor cantidad en la naturaleza. Es el principal componente de muchas fibras y de la madera.

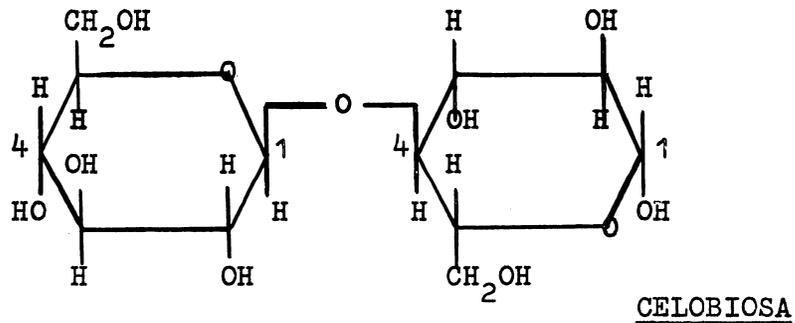
<u>Materia</u>	<u>% de celulosa</u>
Algodón	98
Lino, ramio	80-90
Yute	65-75
Madera	40-50

Otras materias que contienen celulosa son bagazo, paja, bambú y papiro.

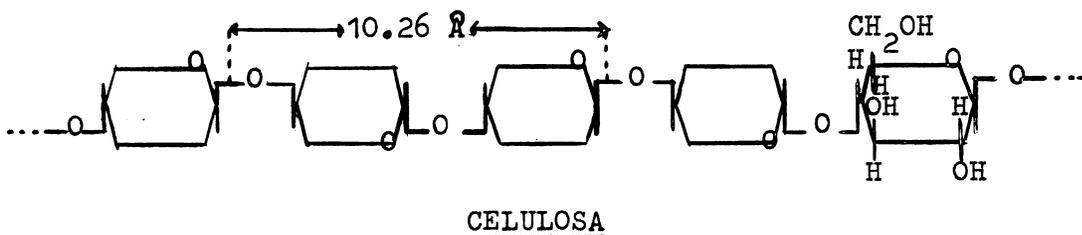
El descubrimiento más importante de la constitución de la celulosa fue el saber que estaba constituida de glucosa. En 1921, se obtuvo por hidrólisis un 90% de glucosa. La fórmula de la glucosa fue determinada por HAWORTH en 1921 (fig.52). Esta fórmula es cíclica. Es importante el hecho de que los grupos OH en las posiciones 1 y 4 son opuestos. Las posiciones 1 y 4 son responsables para la formación de cadenas largas de unidades de glucosa. La prueba se verifica por medio



de un tratamiento con anhídrido acético, ácido acético y ácido sulfúrico concentrado. Este procedimiento llamado acetólisis, lleva como resultado la celobiossa en forma de octa-acetato:



La estructura de la celobiossa muestra claramente que las unidades de glucosa se encuentran combinadas en las posiciones 1 y 4. Además de la celobiossa, también se aislaron residuos de celulosa que tenían 3, 4, 5, 6 y 7 unidades de glucosa. De acuerdo a éstos resultados, la cadena de celulosa se forma por deshidratación, la cual ocurre entre las unidades de glucosa (fig.52):



Los rendimientos de un 99.9% de glucosa han demostrado que ésta es la única unidad de la celulosa. La ocurrencia de celobiosa en la cadena de la celulosa fue demostrada por medio de rayos X. SPONSLER y DORE mostraron que la longitud de 10.26 Å era exactamente la longitud de la unidad de celobiosa. De acuerdo a estos resultados la definición para la estructura de la celulosa es:

La celulosa es un polímero, que es formado en cadena, por unidades de glucosa, las cuales se encuentran combinadas en la posición 1-4-β-glucósida.

Para determinar, cuántas unidades de glucosa se han combinado para formar la macromolécula de celulosa, se han utilizado los métodos de determinación del peso molecular de los compuestos altamente polímeros: Ultracentrifugación, Osmometría, Viscosimetría.

Estos métodos son demasiado complicados para ser tratados en este capítulo. El más interesante es la viscosimetría, la cual también es utilizada en los laboratorios de la industria de pulpa. Por este método, se tratan soluciones de celulosa en "Cuoxam", o sea, cuproamoníaco, o en "Cadoxen". También se utilizan soluciones de acetato de celulosa en acetona, o nitrato de celulosa en acetona o acetato de etilo. De tal manera, se logra determinar el grado de polimerización (DP= degree of polymerization) de la celulosa, lo que indica el número de unidades de glucosa en la macromolécula de celulosa.

Se ha encontrado que el valor DP de la celulosa de diferentes especies no es igual, por ejemplo:

<u>Especie</u>	<u>DP</u>
Eucalyptus regnans	2.400
Acer nigrum	4.460

El DP es de valor estadístico, ya que es el valor medio de todas las longitudes de las cadenas que forman las macromoléculas de celulosa que se encuentran en la muestra. Diversas muestras de celulosas pueden tener el mismo DP y ser diferen

tes. Esto se muestra con los ejemplos siguientes:

	<u>Grupo de moléculas</u>	<u>DP</u>	<u>Promedio DP</u>
<u>Muestra 1</u>	I	500	
	II	1000	
	III	3000	1500
<u>Muestra 2</u>	I	1500	
	II	1500	
	III	1500	1500
<u>Muestra 3</u>	I	500	
	II	1500	
	III	2500	1500

El ejemplo muestra que en algunos casos el valor DP no es suficiente para caracterizar la longitud de la cadena de la celulosa. Por esta razón se han introducido en la ciencia de la celulosa, curvas de distribución para las diferentes celulosas. Estas curvas resultan del siguiente procedimiento:

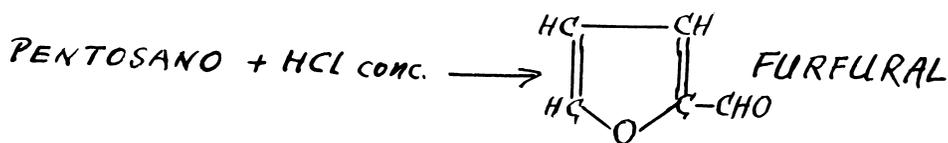
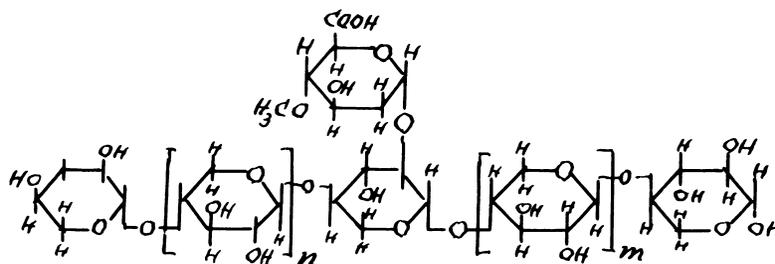
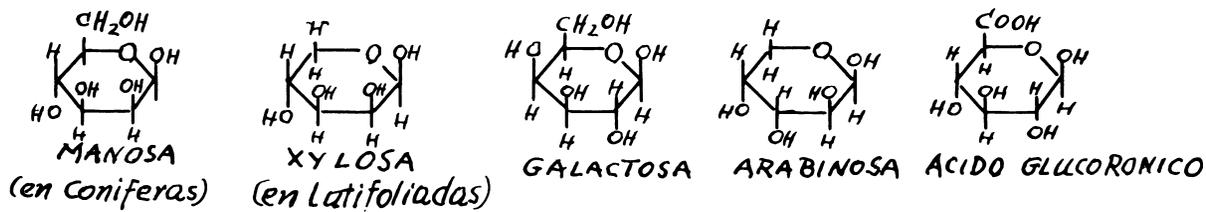
Se disuelve una muestra de celulosa nitrada en acetona, y luego por adición de otros solventes se obtienen diferentes fracciones de nitrocelulosa. Estas fracciones tienen valores de DP diferentes. Los resultados de estas determinaciones analíticas dan las curvas de distribución del DP, las cuales son más típicas y características para una muestra de celulosa. Las curvas pueden tener uno, dos o tres máximos (fig.52).

El mayor DP promedio encontrado para una madera es de 5.000. En esta muestra hay, por supuesto, valores de DP mayores para algunas de las macromoléculas. En base a lo anterior, daremos ahora una definición más clara de la celulosa:

La celulosa es una molécula en cadena compuesta de 1.000 a 8.000 unidades de glucosa, las cuales se encuentran en la posición 1-4 en la forma β -glucósida.

HEMICELULOSA

UNIDADES:



	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Betula verrucosa</i>
	%	%
LIGNINA	26,4	19,6
PENTOSANOS	11,0	27,1
CELULOSA, pura	39,7	38,5
Glucanana	65,0	58,5
Galactana	6,0	1,5
Manana	12,5+	9,5
Xylana	13,0	39,0 +
Arabana	3,5	0,5

Análisis de coníferas y latifoliadas

En la práctica, la celulosa es identificada de la siguiente forma: Se añade a la muestra, que se halla a una temperatura de 20°C, una solución de NaOH al 17.5%. La parte de la celulosa insoluble es α -celulosa; la parte que es soluble y precipitada con ácidos es β -celulosa, y la parte que permanece en solución es γ -celulosa.

Cada unidad de la molécula tiene 3 grupos OH; una celulosa con DP de 1000 tiene 3 x 1000 grupos, más 2 grupos OH por las unidades en los extremos. Es bien conocido que los compuestos que tienen grupos OH se disuelven mejor en compuestos con grupos OH. Así, el agua disuelve al alcohol pero no al éter, puesto que éste no tiene grupos OH. El glicerol y el polialcohol son solubles en agua. La celulosa es diferente: A pesar de sus grupos OH no es soluble en agua. Hoy día se conoce la razón de la insolubilidad de la celulosa:

Por mediciones de rayos X se ha encontrado que cerca del 70% de la celulosa de las fibras naturales es cristalina. El microscopio electrónico ha mostrado que la parte cristalina de la celulosa se encuentra formada de largas fibrillas elementales de 30 x 70 Å de longitud y 70 Å de ancho. Entre las micelas existe un material no cristalino de celulosa y hemicelulosas. Esta parte es más hidrófila y es el 30% aproximadamente de la micela. Si se le añade ácido mineral a la celulosa, la parte hidrófila no cristalina de la fibrilla elemental se disuelve, obteniéndose pequeñas partículas de celulosa de hasta 500 Å, las cuales quedan en suspensión (fig.54 y 55).

La mayoría de los derivados de la celulosa son ésteres o éteres que se forman por la reacción de los grupos OH de la unidad de celulosa. La nitrocelulosa se forma por la reacción con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

Otro de los derivados es el acetato de celulosa, el cual se forma de la reacción con anhídrido acético y ácido sulfúrico. En esta reacción se forma el triacetato el cual es insoluble en todos los solventes técnicos.

Por saponificación (transformación de algunos grupos acetilos en grupos hidroxilos), se forma el acetato de celulosa, el cual es soluble. El acetato es usado para la fabricación de fibras de acetato, plásticos, películas, etc.

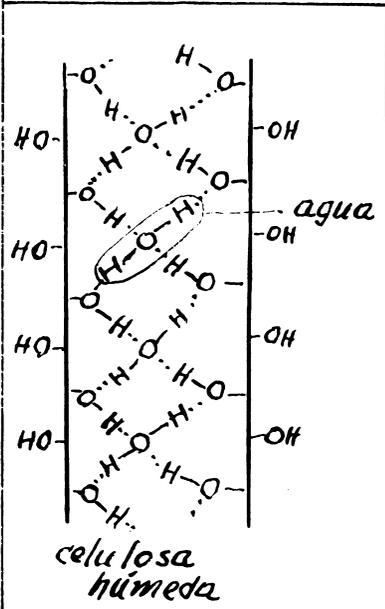
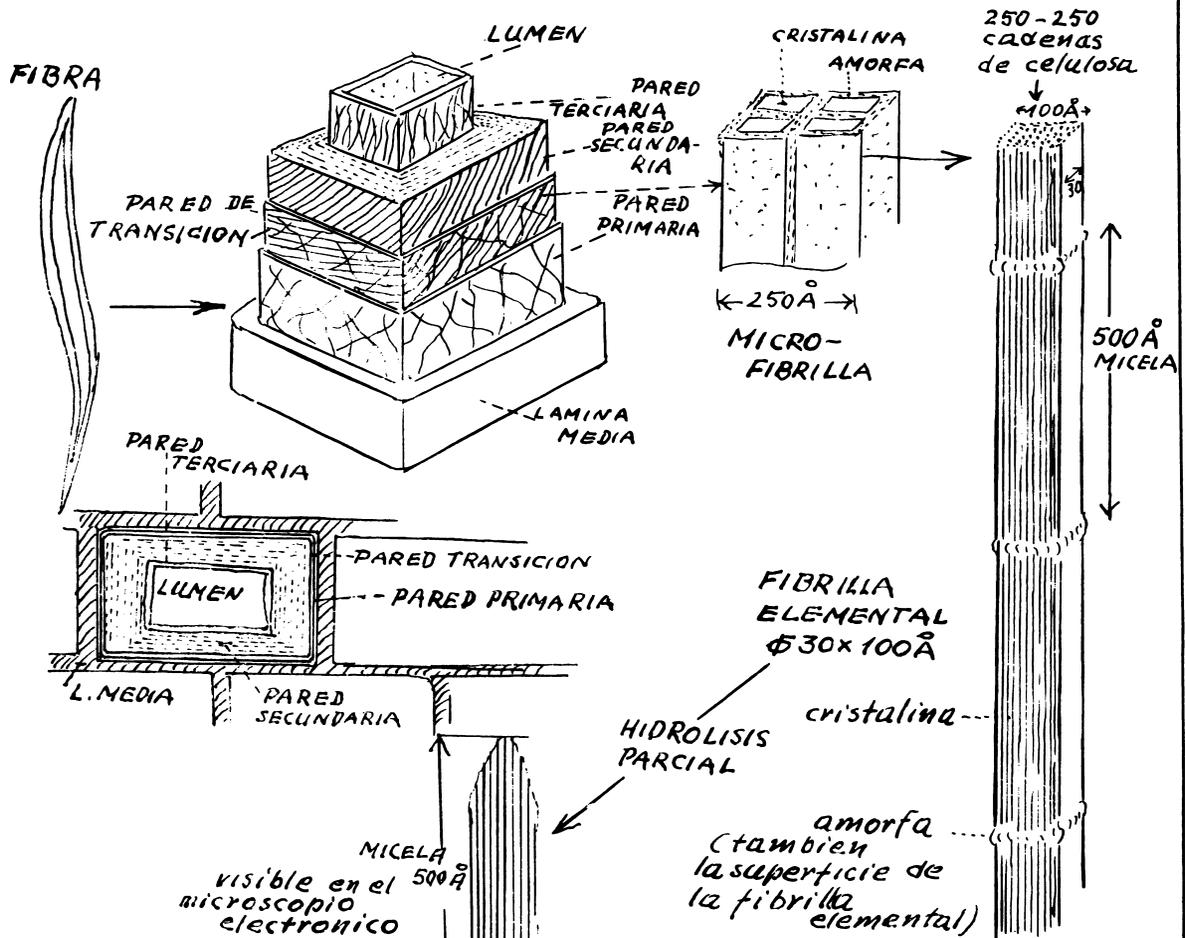
En forma similar se obtienen ésteres mixtos como el acetobutirato y el acetopropionato de celulosa. Estos plásticos son usados en la industria de aviones, para lacas, etc.

El éster más importante es el xantato de celulosa, del cual se produce el rayón y el celofán.

Los éteres se forman por la reacción de álcalicelulosa y un halógeno. La reacción de álcalicelulosa con cloruro de metilo da el metil de celulosa, el cual es soluble en agua y se usa como emulsificante. Etilcelulosa es la base para lacas de alta calidad; uno de los derivados de más importancia es la celulosa metilcarboxilica (carboximetilcelulosa), la cual se obtiene cuando se hace reaccionar álcalicelulosa con ácido cloroacético. Es usado como emulsificante y cola en la industria de papel.

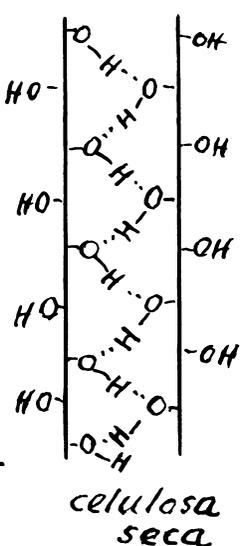
Los derivados más interesantes son aquéllos que se usan en la hidrofobización de textiles, madera y algunos otros productos celulósicos. La técnica está apenas comenzando. El método del "grafting" (injertar) consiste en formar radicales en la cadena de la celulosa, mediante la acción de rayos γ , los cuales serán polimerizados por la acción de ciertos agentes químicos. La cadena hidrófila de la celulosa tendrá ramas laterales de polímeros de cadena corta. Hasta ahora esta técnica no se encuentra bien desarrollada debido a la formación de algunas ramas laterales largas en vez de cortas. Sin embargo, no hay duda que por medio de este método la madera, la celulosa, textiles, papel y productos similares junto con estirenos y otros compuestos darán nuevos productos con propiedades favorables.

ESTRUCTURA SUBMICROSCOPICA DE LA CELULOSA



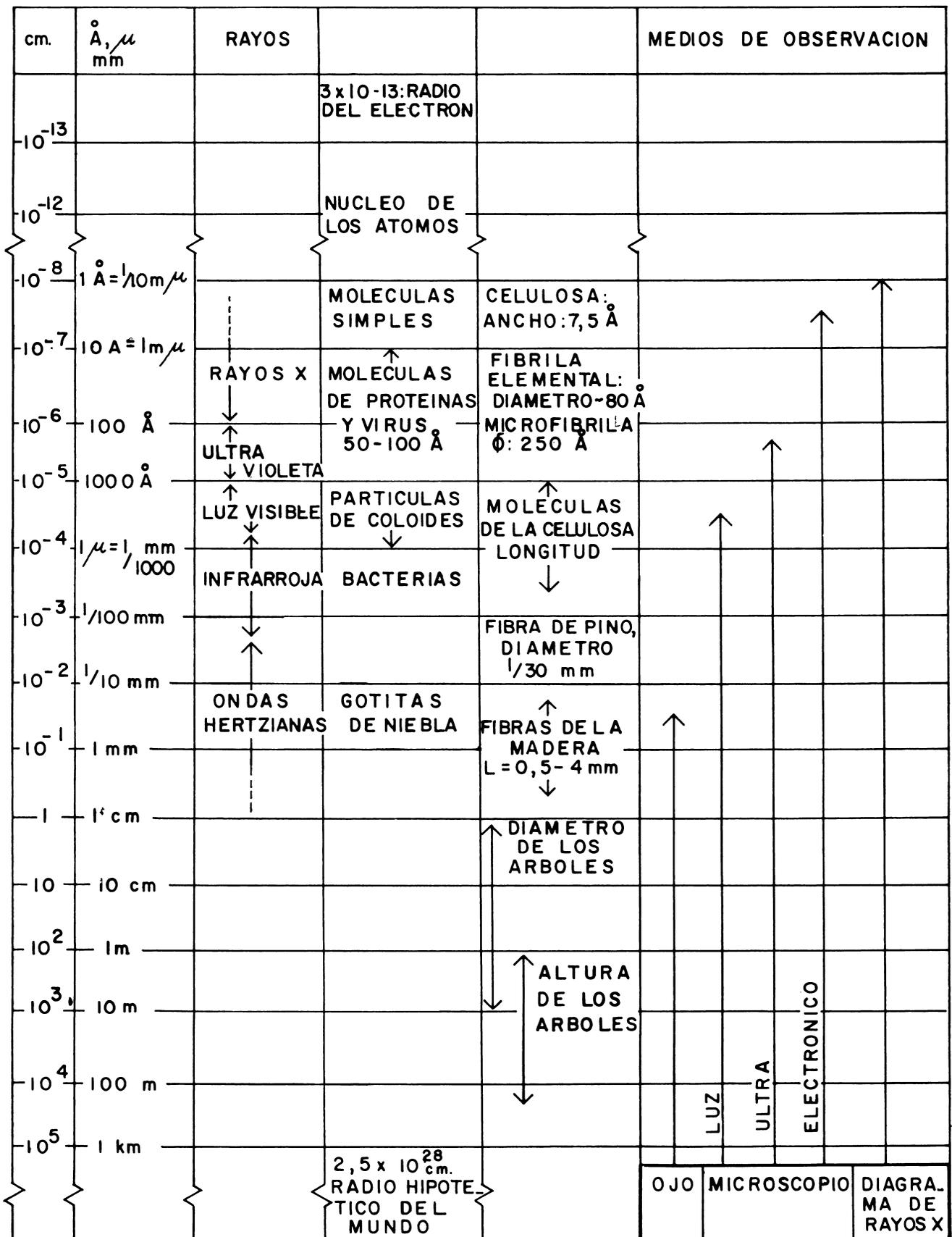
Las cadenas de la celulosa, en la parte cristalina de la fibrilla elemental, están adheridas por "ENLACES HIDROGENOS" entre oxígeno e hidrógeno(---)

ENLACES HIDROGENOS



DIMENSIONES EN LA NATURALEZA Y EN LA CIENCIA DE LA MADERA

FIG. 65



5.3 Las hemicelulosas .

Las hemicelulosas son carbohidratos, los cuales se encuentran estrechamente asociados con la celulosa. La cantidad de hemicelulosas en la madera oscila entre el 20 y el 30%. Las hemicelulosas se hidrolizan más rápido por la acción de los ácidos que la celulosa. Se conocen varios tipos de hemicelulosas con una o más unidades, p.ej. manosa, galactosa, pentosa, xilosa, arabinosa.

La química de las hemicelulosas es más bien complicada. Parece como si una parte de las hemicelulosas se encuentra combinada con la lignina por uniones débiles (fig.53). Las hemicelulosas se aíslan mediante la acción de clorito de sodio en una solución diluída de ácido acético.

Por extracción de la holocelulosa (= celulosa + hemicelulosas) y acidificación de los extractos se aíslan diferentes fracciones de hemicelulosas. Por hidrólisis de estas fracciones se forman diferentes azúcares.

En las hemicelulosas de las coníferas, la manosa es el azúcar más importante mientras en las latifoliadas la predominante es la xilosa. En ambas maderas el ácido glucorónico se encuentra en cantidades considerables. De acuerdo a los resultados de los últimos años la composición en carbohidratos de latifoliadas y coníferas es como sigue:

Coníferas : Celulosa 40-45%

Hemicelulosas: glucomanano y acetato de galactoglucomanano 12-20%, metilglucuronoarabinosilana 10-14%, galactano o arabinogalactano 2%.

Latifoliadas: Celulosa 40-45%

Hemicelulosas: acetato de metilglucuronosilano 20-35%, glucomanano 2-5%, arabinogalactano y glucanos no celulósicos 1-2%.

Las hemicelulosas se encuentran localizadas en la pared celular y en la lámina media, pero se encuentran predominantemente en las partes exteriores de la pared celular. Las cantidades y proporciones de las hemicelulosas también varían de árbol a árbol. El DP de las hemicelulosas va de 60 a 200; debido al DP bajo y a las cadenas laterales, una gran parte de las hemicelulosas no es cristalina, pero algunas sí lo son como el "Celulosan". Una pequeña parte se encuentra estrechamente asociada con la celulosa y es insoluble en NaOH al 17.5%. Esta parte es incluida en la α -celulosa (fig.52).

Las hemicelulosas son hidrófilas lo que hace que sean responsables de la hinchazón de la madera. Las pulpas para la manufactura de fibras deben tener un bajo contenido de hemicelulosas, pues el contenido de α -celulosa debe ser alto. En pulpas para papel es deseable un contenido alto de hemicelulosas, por ser éstas las responsables de la adhesión entre las fibras en la formación de la hoja de papel. Las pentosas pueden ser transformadas por fermentación a levaduras o a furfural (fig.53).

5.4

L a l i g n i n a .

La cantidad de la lignina en la madera es de 20-35%. Este contenido varía con las especies y la rapidez de crecimiento del árbol. El porcentaje de lignina en las especies tropicales es mayor que el de las especies de la zona templada.

La fórmula de la lignina es completamente diferente a la de la celulosa y de las hemicelulosas. Es un compuesto aromático, constituido por diferentes unidades las cuales tienen cadenas laterales de 3 carbonos. Estas unidades son: alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapínico.

El componente principal de la lignina de las coníferas es la unidad coniferílica mientras en las latifoliadas es la sinapínica. Tanto en las coníferas como en las latifoliadas se encuentran pequeñas cantidades de unidades de p-cumarílico.

La determinación de la estructura de la lignina fue muy difícil. Los principales estudios al respecto fueron hechos en Alemania por K. FREUDENBERG. Por su trabajo se conoce la molécula de lignina como más bien "larga". La estructura de la lignina ha sido determinada de la constitución de los productos de degradación, por el espectro infrarrojo y especialmente por la biosíntesis de la lignina de coníferas a partir del alcohol coniferílico. La deshidratación del alcohol coniferílico junto con enzimas deshidratadas, provenientes de hongos, da primeramente una dimerización. La deshidratación de estos dimeros lleva como resultado un polímero, el cual es idéntico con la lignina natural. La biosíntesis de las unidades se ve en la fig.56.

Según la fórmula de FREUDENBERG la lignina es una molécula tridimensional, un polímero constituido de unidades de fenilpropano. Algunos grupos funcionales son:

- 1.- Grupo metoxil: Las coníferas contienen un 16% de grupos metoxil mientras las latifoliadas contienen un 22% de estos grupos. Esta diferencia se debe a que la unidad principal de la lignina de latifoliadas contiene 2 grupos metoxil, mientras que la de las coníferas sólo contiene uno.
- 2.- Grupo hidroxilo: Se distingue entre grupos fenoles, grupos OH primarios, secundarios y terciarios.
- 3.- Grupo carboxil: 0.05% por unidad.
- 4.- Grupo carbonil: 0.1-0.2% por unidad.
- 5.- Alquenos: 0.03-0.04% por unidad.
- 6.- Uniones éter: Para una unidad de lignina se han determinado grupos éteres alifáticos y aromáticos en una proporción de 0.3 y 0.7 respectivamente.

Los valores de DP son diferentes en coníferas (5-500, promedio 60) y latifoliadas (5-10). La lignina está unida en partes con carbohidratos, probablemente con hemicelulosas.

En la producción de pulpa por el proceso al bisulfito toman lugar las siguientes reacciones:

Los grupos "A" reaccionan inmediatamente en un medio neutral o poco ácido con el bisulfito. Los grupos bencil-alcohol y bencil-éter son activados por los grupos fenólicos libres del núcleo benceno. En el grupo "B", el cual reacciona con el bisulfito solamente en medio ácido, el grupo libre de fenol es eterificado. Por cada monómero se encuentran 0.7 - 1.0 grupos sulfonables, los cuales se encuentran en la posición α . Por esta sulfonación la lignina llega a solubilizarse.

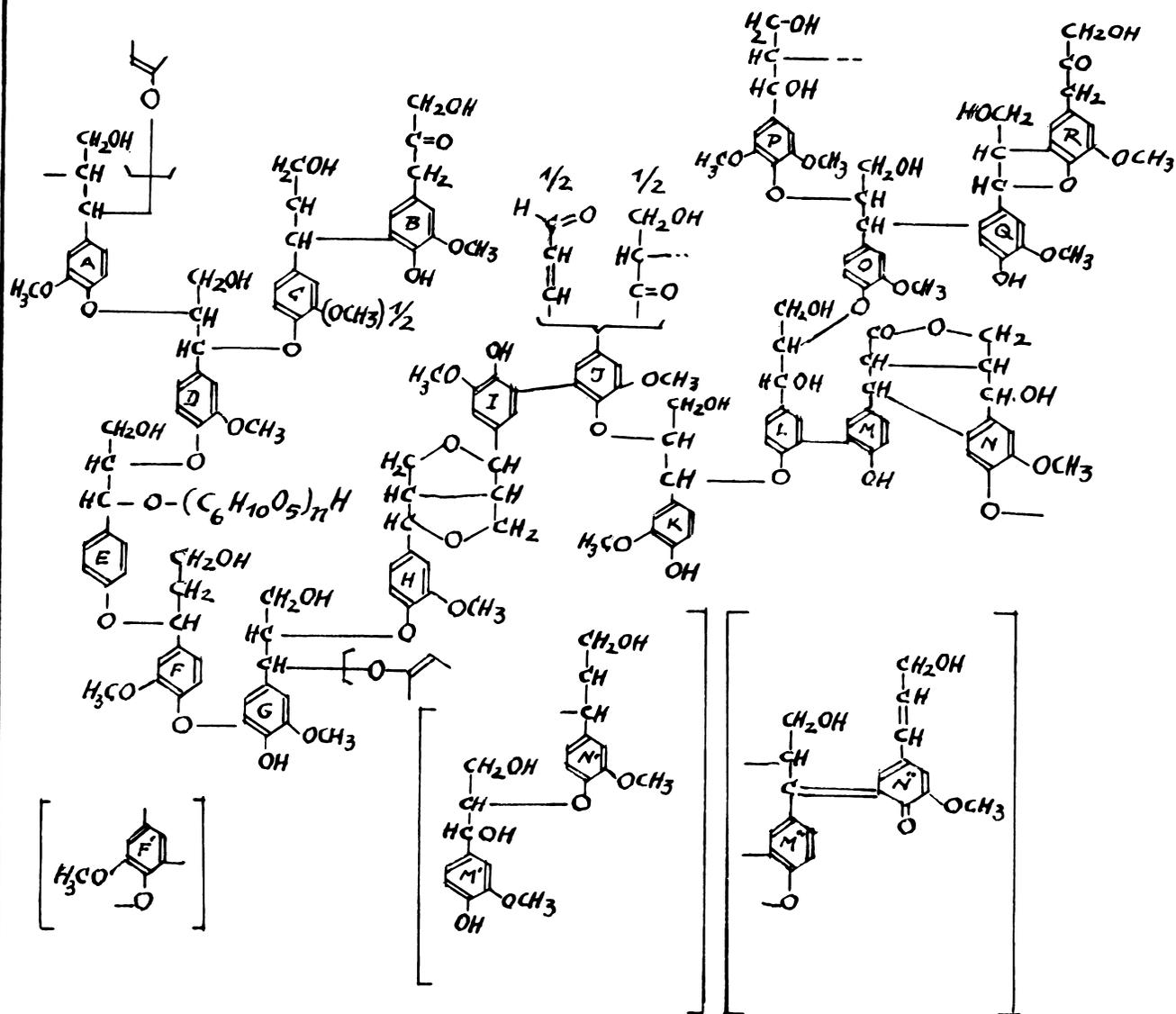
Las reacciones que ocurren durante el proceso al sulfato son las siguientes:

A temperaturas altas, la solución alcalina rompe los enlaces fenol-éter. Esta reacción facilita por la presencia de hidrosulfuro. Se forman grupos fenoles ácidos que son de importancia porque ellos forman sales alcalinas solubles en agua.

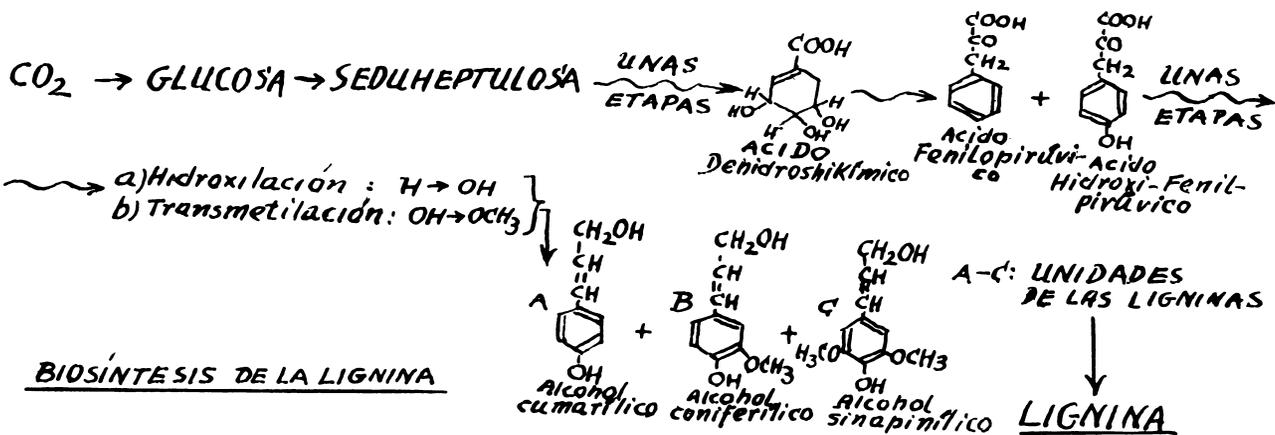
La lignina da algunas reacciones de color. En papeles y periódicos hechos de pasta mecánica, se torna amarilla con sales de anilina. Aquellos papeles que contienen un alto porcentaje de lignina se tornan azules cuando son sumergidos en una solución alcohólica de 2.6 dicloro quinona-cloroimida, secados y expuestos a una atmósfera de amoníaco (reacción según GIBBS). La reacción clásica con floroglucina en ácido clórico da un color rojo.

La reacción de la lignina con sales preservadoras de WOLMAN y BOLIDEN, empieza con una reacción por la cual las sales se vuelven insolubles en agua. La lignina reduce el cromato a un cromo, el cual forma sales insolubles con ácido arsénico y con flúor para formar un complejo del tipo criolito.

El aislamiento de la lignina se hace por tratamiento con solventes alcohólicos acidificados y dioxano. A. BJOERKMAN trata aserrín en un desmenuzador vibratorio junto con un diluyente inerte, seguido por la extracción con solventes neutrales.



CONSTITUCION DE LA LIGNINA
(FREUDENBERG, 1965)



BIOSÍNTESIS DE LA LIGNINA

Esta lignina también se llama "milled wood lignin".

5.5 L a s s u s t a n c i a s e x t r a c t i v a s .

Los extractos de la madera se encuentran asociados con los compuestos de la pared celular o en el lumen de la célula. Su cantidad varía desde el 1% hasta un 30%. Los extractos pertenecen a diferentes grupos químicos: ácidos grasos, fenoles, taninos, terpenos, resinas, caucho, azúcares, quinonas, alcaloides, glucósidos. Todos estos influyen a las propiedades de la madera:

Así, madera que tiene un alto contenido en minerales, causa daños a las sierras durante el aserrado.

Los fenoles complican la cocción de la pulpa al bisulfito. Los taninos pueden dar con el hierro una decoloración.

Quinonas de cierta constitución causan enfermedades de la piel. Algunos árboles de Teca son venenosos, también de Dalbergia.

Las maderas que contienen quinonas y fenoles dan dificultades al lacado.

El contenido en azúcares y taninos inhibe el fraguado del cemento en los productos mineralizados de madera.

El endurecimiento de las colas no sólo es determinado por el pH de las maderas, sino por algunos extractivos; las especies bastante ácidas no necesitan mayores cantidades de endurecedor.

Extractivos favorables hacen la madera resistente al ataque de hongos e insectos. Tales maderas durables son Achras zapota, Dalbergia sp., Morus alba, Tectona sp. y otras.

Los extractos de valor económico se encuentran tratados en el capítulo 3.5.

6. L i t e r a t u r a .

El material estadístico se basa mayormente sobre fuentes de la FAO. Los gráficos han sido elaborados según otra obra del autor.

SANDERMANN, W. Chemische Holzverwertung. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München, 1963.

BRAUNS, F. F. Chemistry of Lignin. Academic Press, New York, 1952.

KEIM, K. El Papel. Asociación de investigación técnica de la industria papelera española, Madrid, 1966.

KOHLER, R. La fabricación de la Tabla de Pajilla de Madera y Cemento. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano, Mérida, Venezuela, Nº 20/21, 1966.

SANTACRUZ, Z. Los desperdicios forestales como fuente productora de proteínas. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ingenieros Forestales, Nº2, 1964, Caracas.

FO:L AFC - 67/4. Las industrias forestales en América Latina y sus perspectivas de desarrollo, Roma, agosto de 1967.

FO:L AFC - 67/5. Plantaciones forestales en América Latina: Desarrollo y perspectivas. Roma, noviembre de 1967.

FAO. Latin American timber trends and prospects, New York, 1963.

FAO. El papel y la celulosa en América Latina: Situación actual y tendencias futuras en su demanda, producción e intercambio. Santiago de Chile, marzo de 1966.

FAO. A preliminary survey of the wood based panel industry in Latin America. Chile, June 1967.

