

Recuperación de residuos de cartón para la fabricación de prototipos de mobiliario para paliar la deforestación mundial y la generación y acumulación de residuos plásticos

DOCUMENTO N°2
ANEXOS

E.P.S SEVILLA

AUTOR: ROCIO RISCART PEDROTE

DIRECTOR: JULIÁN LEBRATO MARTÍNEZ

I.T. DISEÑO INDUSTRIAL 2013/2014

ÍNDICE

	PÁGINA
1. ANEXO 1.....	2
1.1 HISTORIA DEL PAPEL.....	2
1.2 LA MADERA.....	5
1.3 FIBRAS DE PAPEL.....	8
1.4 OBTENCION DE LA PULPA DE PAPEL.....	10
2. ANEXO 2.....	45
2.1.1. CARTON CORRUGADO.....	45

ANEXO 1

1.1 HISTORIA DEL PAPEL

A lo largo de todos los tiempos, el papel ha sido el material más profusamente empleado por los hombres para dibujar y escribir, dos rasgos diferenciales del grado de civilización del ser humano con respecto al resto de componentes de la naturaleza. La aparición del papel se vio forzada por la necesidad de un nuevo soporte de transmisión de información de fácil obtención, manejo y almacenamiento, ventajas indudables que el papel presenta sobre otros soportes como eran anteriormente lajas de piedra y superficies de edificios.

Se cree que la invención de la escritura y de la numeración fueron inducidas por la necesidad de inventariar y contabilizar los excedentes de cosechas almacenados en épocas de bonanza por las primitivas culturas sedentarias y agrícolas de Mesopotamia, pero no es hasta el año 3000 a.C. cuando se estima que se descubrió, por parte de los egipcios, de la técnica de obtención de hojas de fibra rudimentarias, las cuales podían ser empleadas para la escritura. Estas hojas estaban confeccionadas a partir de una planta que crecía a la orilla del río Nilo, el papiro. El proceso de obtención de papel consistía en cortar los tallos de papiro y dejarlos reblandecer durante más de 30 días en las fangosas aguas del Nilo, aumentando entonces su flexibilidad. Una vez retiradas del agua, se disponían las fibras de forma entrecruzada, y formando ángulos rectos entre ellas, sobre una rejilla del mismo material y se dejaba secar al sol o cerca de una hoguera hasta su completo secado. El resultado era un soporte propicio para la escritura y de un peso y dimensiones óptimas para su manejo y transporte. El proceso era lento, pues los moldes no se



[Figura.1 Ts'ai Lun]

podían reutilizar hasta que la anterior hoja no se hubiese secado, lo que suponía una lenta producción. Aun así, el papiro fue utilizado tanto por la civilización egipcia como griega y romana en lo sucesivo para recoger valiosos textos jurídicos y espirituales.

Se tienen noticias que durante el mismo período histórico, se descubrieron técnicas similares de confección de papel (de modo similar al conocido hoy) en otras culturas (Centroamérica, Himalaya, Sudeste asiático, China...), aunque

existen discrepancias sobre si éstos materiales podrían denominarse papel tal y como lo entendemos hoy.

La invención del papel tal y como lo conocemos hoy corresponde sin embargo a , oficial de la corte del emperador, del que se tiene noticias de que en el año 105 a.C. había descubierto un método de obtención de papel más refinado que el papiro. El método consistía en mezclar diferentes tipos de fibras, como corteza de morera, cáñamo y trapos con agua, machacar la mezcla hasta conseguir la completa separación de las fibras, y luego disponerlas sobre un molde rectangular poroso y prensarlas para separar el agua y conseguir la unión solidaria de las fibras. Éste es pues, con todo derecho, el predecesor del papel existente en nuestros días, que con diferentes métodos y técnicas es producido a partir de fibras vegetales.



[Figura.2] Emperador chino

Sobre el siglo III d.C., el secreto de la preparación del papel salió de China y se extendió por los territorios vecinos, llegando a Corea, Vietnam y Japón hacia el siglo VI de nuestra era. A partir de ahí, el conocimiento de la técnica papelera fue avanzando hacia occidente, pasando por Asia central, Tibet, India, hasta llegar a manos de los musulmanes, los cuales, en su expansión por Asia Menor, y el norte de África fueron introduciendo el papel en sus dominios y mejorando la técnica. La entrada del papel en Europa se realizó en el siglo VIII, con la invasión árabe de España. Se tienen noticias de

que el primer centro de producción de papel en Europa estaba situado en Xátiva, en España, y fue fundado alrededor del año 1000. Tras la expulsión árabe de la península ibérica, el conocimiento de la técnica del papel fue exportada hacia la Europa cristiana, existiendo importantes centros de producción de papel en Italia en el siglo XIII, en donde se introdujeron importantes mejoras, como la utilización de la energía hidráulica en el proceso de fabricación, las prensas con alimentación continua,... A partir de esas fechas, la importancia del papel en toda Europa como medio de comunicación y expresión fue en espectacular aumento, por lo que el pergamino (pieles tratadas de animales), sucesor del papiro, cayó inmediatamente en desuso. La expansión del papel por Europa siguió por Francia, país que se convirtió en gran productor y exportador, y por Alemania.

Si antes de este período, la escasez de papel impedían la difusión de información, en esta época de abundancia de soporte papelero , era la velocidad de

los escribientes la que ralentizaba la producción de textos; este problema tuvo pronta solución cuando en 1453 Gutenberg inventó la imprenta, momento a partir del cual la impresión de textos creció de forma exponencial, lo que produjo que los conocimientos de los sabios europeos circularan a gran velocidad por todo el continente, lo que supuso un avance espectacular en todos los campos del saber.

En el siglo XVI la técnica del papel se introduce en Inglaterra, y en el año 1680 se funda la primera fábrica de producción de papel en el continente americano, en Culhuacan, México, de la mano de los españoles.

En el viejo continente, durante este período, el mayor problema planteado era el de satisfacer el volumen de producción demandado, pues hasta ahora la materia prima utilizada en la fabricación de papel eran trapos viejos de algodón u otras telas, lo cual suponía una serie de inconvenientes, tanto en cantidad requerida de materia prima como en disponibilidad o costes e impuestos sobre las mismas. Fue por ello que, durante el siglo XVIII se hizo imprescindible la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas para independizar la producción de la disponibilidad temporal de los tejidos usados.

Hacia el año 1720 el francés Ferchault de Reaumur sugirió que podría utilizarse la madera como fuente de fibras vegetales para la confección del papel. Otro de los inconvenientes existentes, la lentitud en la fabricación de papel fue resuelto a finales de siglo, cuando apareció la primera máquina de producción continua de papel, inventada por Nicholas Robert y comercializada por los hermanos Fourdrinier. A partir de ese momento la velocidad de obtención de papel aumentó considerablemente, y la automatización de todas las tareas fue un hecho en la mayor de las fábricas papeleras, siendo, pudiéndose obtener grandes bobinas de papel en un proceso en cadena continuo, el cual era fácilmente transportable y utilizable por las editoriales. A su vez, el problema de escasez de materias primas se acabó cuando en el año 1850 el alemán Friedrich Gottlob Sélter concibió un método para obtener papel a partir de la pulpa de madera, método perfeccionado más tarde por los descubrimientos de técnicas de obtención de pulpa a partir de la madera mediante métodos químicos, tales como el método al sulfito y al sulfato.

A partir de estos excepcionales descubrimientos, la producción de papel a gran escala y a precios económicos provocó la expansión de los nuevos métodos químicos, a escala mundial, y el número de fábricas experimentó un aumento increíble, al igual que la producción de papel acabado, del orden de los 2,5 millones de toneladas al año, lo que supuso un boom en cuanto a aparición de nuevos

periódicos y revistas de amplia tirada, los libros aparecieron masivamente en el todos los ámbitos sociales, sobre todo en la educación, donde la calidad y cantidad de los textos escritos mejoró el carácter universal del acceso a la cultura.

Durante todo el siglo XX, los métodos de obtención de papel no han sido modificados sustancialmente, pero sí la eficiencia, costo y el respeto al medioambiente de los mismos, gracias al gran avance en nuevos materiales y optimización de procesos (recuperación energética, recuperación reactivos, cogeneración,...). Además se han establecido multitud de variedades de papel, cartón y materiales de embalaje, por lo que cada una de estas clases se obtiene a partir de un proceso determinado, con un tratamiento específico de la materia prima en cada uno de los pasos del proceso, para obtener más fácilmente las características requeridas de resistencia, color, rugosidad,...

Los nuevos campos de investigación en nuestros días se basan en la posibilidad de mejorar los procesos ya existentes, descubrir nuevos procesos para utilizar mayor diversidad de materias primas, tanto nuevas especies vegetales accesibles, como desechos forestales o materiales reciclados.

1.2 LA MADERA

Estructura de la madera

Las fibras vegetales requeridas para la producción de papel están compuestas por largas cadenas de un polímero natural, la celulosa, el cual está formado por la repetición sucesiva de una unidad individual de celobiosa, la cual a su vez está constituida por dos unidades de un polisacárido denominado glucosa. Así, la fórmula molecular de la celulosa se puede expresar como $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo n el número de unidades que forman la cadena (también se denomina grado de polimerización, GP). La mayoría de las fibras utilizadas en la fabricación de papel tienen un GP de entre 600 a 1500. Este tipo de fibras utilizables suelen presentar un diámetro de entre 10 y 40 μ m, y su longitud se sitúa entre 0,5 y 30 mm.

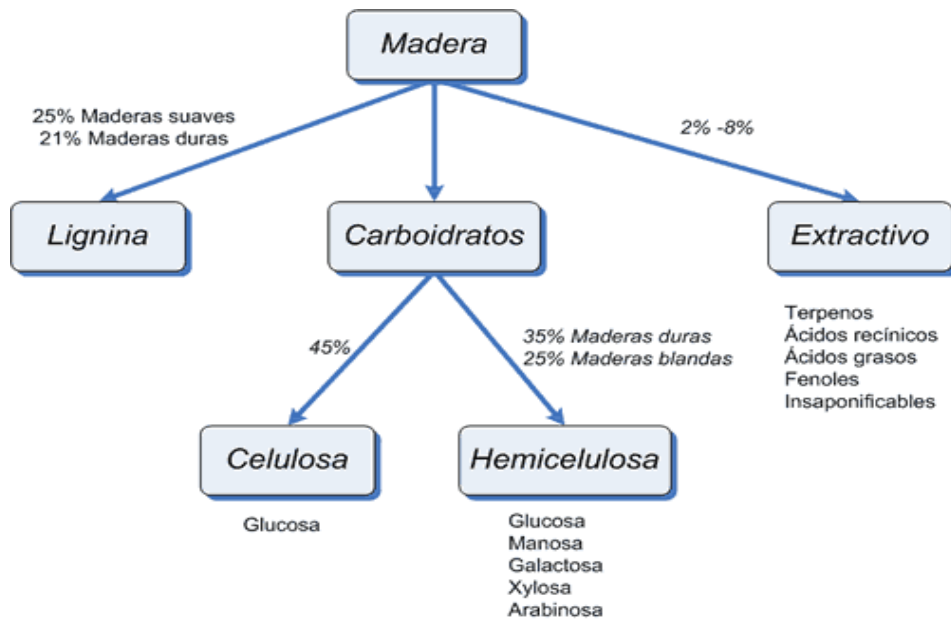
Las fibras celulósicas se disponen en el interior de la madera unidas entre sí, ordenadamente, formando regiones cristalinas, y dichos aglomerados cristalinos se unen a su vez entre sí por medio de fibras sobresalientes, creando entonces zonas amorfas de unión y zonas cristalinas. Las propiedades que hacen de la fibra celulósica el material idóneo para la confección del papel son las siguientes:

- Gran resistencia mecánica a tensión
- Buena flexibilidad, natural y adquirida
- Resistencia a la deformación plástica
- Insolubilidad en agua de la fibra
- Hidrofilia
- Amplio rango de dimensiones
- Facilidad inherente a enlazarse
- Facilidad para absorber aditivos modificantes
- Estable químicamente
- Relativamente incolora

En la estructura de la madera también aparecen otro tipo de fibras con base de polisacáridos, denominadas hemicelulosa; sus longitudes son menores, y las unidades de que están formados son diferentes: glucosa, manosa, galactosa, xylosa y arabinosa, dependiendo de la planta considerada.

Tanto las fibras de celulosa como las de hemicelulosa están unidas entre sí por una sustancia polimérica de estructura amorfa denominada lignina, la cual actúa como cemento de unión de las mencionadas fibras, dando consistencia y rigidez a la planta. La lignina se sitúa formando una capa externa alrededor de las fibras, y dicha capa externa se une a la existente en las demás fibras por medio de enlaces covalentes y de puente de hidrógeno. La estructura química de la lignina es extremadamente complicada, pero se basa en la unión tridimensional de unidades de fenilpropano, cuyos sustituyentes varían en función de la planta considerada. Las uniones entre los monómeros han de ser quebradas para poder separar las fibras celulósicas necesarias en la obtención de la pulpa.

Además de los anteriores componentes, existen en las maderas pequeñas cantidades de otros materiales de diferente naturaleza, los cuales son fácilmente extraídos durante el procesado de la pasta de papel: terpenos, resinas, fenoles ácidos grasos,... Su porcentaje varía de unas maderas a otras (entre 2 y 8%), pero en cualquier caso no representan ningún problema en el proceso de fabricación. La Figura 3.1 muestra un esquema aproximado de la composición química de la madera.



[Figura.3] Composición química de la madera

La distinción entre maderas duras y suaves se basa en la estructura interna de la madera, sobre todo por la densidad y la longitud de fibra.

Características físico-químicas de la madera

Las características químicas de los tres componentes principales de la madera, esto es, celulosa, hemicelulosa y lignina, son muy diferentes, y en consecuencia, su comportamiento ante agentes químicos y procesos mecánicos es diferenciado, y precisamente, aprovechando estas diferencias, se establecen los procesos de separación, que es al fin y al cabo el objetivo de la fabricación de la pulpa.

El comportamiento frente al agua es muy diferente; la celulosa es altamente hidrofílica, debido a la presencia de grupos polares (grupo hidroxilo); cuando las cadenas de celulosa se ponen en contacto con el agua, las fibras absorben moléculas de agua (se hidratan) y se hinchan, mejorando simultáneamente su flexibilidad y la capacidad de enlace con otras fibras adyacentes. La absorción de agua es más eficiente en las zonas amorfas de la celulosa que las zonas cristalinas, por lo que es beneficioso intentar destruir las estructuras cristalinas (usualmente por procedimientos mecánicos).

Las hemicelulosas presentan cualidades mecánicas más débiles que la celulosa, y durante el procesado de la pulpa, ven modificadas drásticamente sus propiedades. Además son fácilmente solubles en gran cantidad de disolventes, pues

su estructura no les confiere marcadas características hidrofílicas o hidrófobas. Debido a esto, una gran proporción de las hemicelulosas iniciales son retiradas durante el procesamiento de la pulpa.

Por su parte, la lignina es un compuesto básicamente hidrófobo, característica frecuente en los compuestos aromáticos. Por ello, no puede ser disuelto en un medio acuoso, a no ser que se introduzcan en su estructura grupos sustituyentes polares mediante reacciones químicas, los cuales sean capaces de estabilizar las disoluciones de lignina en agua. Éste procedimiento se lleva a cabo en ocasiones, haciendo reaccionar la lignina con compuestos derivados del azufre, que introducen sustituyentes sulfonados en la estructura de la lignina, haciéndola entonces soluble.

El objetivo de la obtención de una buena pulpa es el de separar eficientemente las fibras celulósicas de la lignina sin modificar las características iniciales de la celulosa, la cual puede verse alterada durante el proceso; la resistencia mecánica del papel confeccionado depende en gran medida del tamaño de fibra, siendo más resistentes los papeles de fibra larga, pero también es importante la facilidad de unión entre fibras en el procesamiento, pues ello redundará en un papel más robusto. La eficiencia de la unión entre fibras depende a su vez en gran medida de la cantidad de lignina retenida en la superficie de las fibras y del estado de las fibras.

1.3 FIBRAS DEL PAPEL

Origen de las fibras papeleras

Del total del consumo mundial de madera para diferentes fines, el 19% se emplea en la fabricación de pastas vírgenes, lo que supone que el 42% de toda la madera extraída para usos industriales (todos excepto el combustible).

Se estima que en la actualidad, el 55% de las fibras para la producción de pasta de papel proceden de madera virgen (en España la industria papelera consume al año 5 millones de m³ de madera). Actualmente la mayoría de la madera procede de plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido, aunque aún se siguen explotando los últimos bosques vírgenes boreales y tropicales que existen en el planeta.

Para conseguir un abastecimiento sostenible de materiales celulósicos, no es posible basar los aprovisionamientos en la tala indiscriminada y masiva de bosques,

pues de no realizarse de forma controlada, puede ocurrir que dichas zonas no se regeneren, con lo que las materias primas escasearían cada vez más.

Una posible alternativa a la extracción de madera de los bosques pueden ser las plantaciones forestales, siempre que se gestionen con criterios sostenibles. En la actualidad se están introduciendo sistemas de gestión forestal sostenibles, que intentan reducir los problemas de degradación del entorno, desertización y plagas.

Dependiendo de su origen, las fibras celulósicas empleadas para la obtención de papel pueden clasificarse en dos grupos, fibras madereras y no madereras.

Fibras madereras

Proviene de especies vegetales que desarrollan un tronco donde se acumulan preferentemente las mejores fibras. En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies se puede realizar una nueva clasificación:

Fibras cortas. Corresponden a árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya), y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm. y los 2 mm. de largo, conteniendo además un porcentaje más elevado de celulosa.

Fibras largas. Proviene de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm., resultando la pasta de papel más resistente.

Fibras no madereras

Son originarias de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel (P ej. en China suponen el 60% de las fibras utilizadas para la producción de papel). Estas fibras presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras. Las especies más utilizadas son:

Algodón. Cuyas fibras tienen una longitud superior a los 12 mm y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.

Cáñamo. Con fibras de longitud superior a los 5 mm, procedentes de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel de fumar.

Lino. Sus fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm y se usan para fabricar papel moneda.

Paja de cereales. Cuyas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel.

Fibras recuperadas

Las fibras presentes en el papel y cartón viejo pueden volver a utilizarse para fabricar papel y cartón de nuevo. A través del proceso de reciclado se pueden recuperar la mayoría de las fibras de celulosa que contiene el papel, aunque este proceso no se puede repetir indefinidamente, pues las fibras recuperadas pierden resistencia, siendo necesario aportar según la resistencia del papel que se quiera fabricar, una proporción de fibras vírgenes al proceso de reciclado, ya sea procedentes de madera o de otras fibras vegetales.

1.4 OBTENCIÓN DE PULPA DE PAPEL

Para la obtención del papel, es necesaria la obtención de la suspensión de fibras celulósicas con unas características determinadas en cuanto a tamaño de fibras, distribución de tamaños, composición, flexibilidad, resistencia,... Para obtener estas características, se aplicará sobre las materias primas diferentes procedimientos encaminados a obtener una pulpa de características adecuadas, tratando siempre de obtener el mayor rendimiento posible, es decir, cantidad de pulpa obtenida por tonelada de madera empleada y cantidad de reactivos empleados para obtener una tonelada de pulpa. Existen muchos procedimientos, los cuales se han ido desarrollando y mejorando a lo largo del tiempo, los cuales presentan ventajas e inconvenientes que han de ser evaluados conforme al tipo de producto final que se desea obtener, teniendo en cuenta parámetros tales como resistencia mecánica del papel a la rotura, al rasgado, al rozamiento, al plegado, rugosidad, blancura, deteriorabilidad, etc. Además de costo unitario del proceso, impacto medioambiental de la producción, tipo de materia prima disponible, etc.

Ya que la materia prima más utilizada en la fabricación del papel son las pulpas de madera virgen, se describirá el proceso de fabricación de pulpa a partir de fibras vegetales madereras.

Acondicionamiento de materias primas

Cualquiera que sea el método utilizado en el procesamiento de la madera para obtener la pulpa, ésta necesita unas operaciones previas que tienen como fin que en el proceso de deslignificación (separación de las fibras celulósicas) no se introduzcan impurezas que puedan perjudicar el proceso. Éste es un tratamiento estándar para todo tipo de maderas, aunque dependiendo del tipo específico empleado, cada uno de los tratamientos será más o menos crítico.

Lavado de la madera. Este tratamiento se realiza mediante aspersion de agua a presión para tratar de retirar cualquier partícula adherida a la madera, de forma natural o durante el transporte, para evitar impurezas en la línea de proceso.

Descortezado. La importancia de esta operación radica en que la cantidad de corteza que debe utilizarse tiene que ser mínima, ya que produce un efecto debilitador indeseable en la pasta de papel. Durante este proceso se pierde una mínima fracción de madera, pero esto es admisible en aras de la superior calidad de la pulpa obtenida.

Una vez acondicionada la madera, se introduce en la unidad correspondiente para separar las fibras que constituyen el esqueleto de la madera.

Existen tres grandes grupos de procesado de la madera para la separación de las fibras y la lignina, que se clasifican en función de la naturaleza de la separación; estos son:

- *Procesos mecánicos*

La única acción separadora es la aplicación de fuerzas mecánicas de compresión y cizalladura para conseguir la separación de las fibras.

- *Procesos semiquímicos*

Se utiliza una combinación de tratamientos mecánicos con la adición de ciertos reactivos químicos que aceleran y optimizan la separación.

- *Procesos químicos*

Están basados en tratamientos puramente químicos, adicionando a la madera reactivos químicos que producen por sí solos la separación de la lignina de la celulosa. Normalmente son llevados a cabo a alta temperatura y presión.

- *Producción mecánica de pulpa*

Estos procesos son los más antiguos, y sus orígenes datan de la época de invención del papel, es decir, hace más de 5000 años. Conceptualmente el proceso es muy sencillo, pues se basa en reducir la madera a partículas de pequeñísimo tamaño mediante aplicación de fuerzas que desgarran la estructura interna de la madera, Existen diversos tipos de producción mecánica de pulpa, de los cuales se describen a continuación los más importantes.

Producción de pasta mecánica en molinos de piedra

El funcionamiento de este método es muy sencillo, pues se trata simplemente de obtener partículas de madera de pequeñísimo tamaño, las cuales puedan ser aplicadas directamente en la fabricación de papel, es decir, el tamaño final de partícula ha de ser del orden de unidades de milímetro, tamaño que posibilita la confección de papel.

El proceso consiste en la acción mecánica de frotamiento de un disco giratorio (molino), originariamente de piedra, sobre los troncos de madera. Los troncos son introducidos longitudinalmente de forma perpendicular al disco giratorio, y son presionados contra él para promover la acción abrasiva. El disco está parcialmente sumergido en agua y es rociado constantemente con agua para disipar el calor generado por el rozamiento entre la madera y la piedra. Debido a este calor generado, se alcanzan temperaturas en la zona de molido de hasta 150°C, temperatura suficiente para fluidificar la lignina y permitir la separación de las fibras, las cuales pasan por unas ranuras situadas en la propia piedra de moler hacia un pozo que contiene agua, donde se forma la suspensión de fibras en agua. Esta pulpa es llevada hacia unas cribas donde se seleccionan los tamaños de partícula adecuados; las partículas no válidas se vuelven a moler en molinos mecánicos o se desechan definitivamente. Con este procedimiento se obtienen fibras celulósicas largas, pero recubiertas de una capa de lignina, pues por este procedimiento no es posible separarla definitivamente. Debido a esto, los rendimientos de pulpa a madera son muy altos, del orden del 90 al 95%.

Por otro lado, el gasto en energía requerido para hacer funcionar el molino es muy elevado, pues el rozamiento ejercido entre tronco y piedra es muy elevado. Es por ello, que este tipo de instalaciones se suele instalar en zonas donde la energía es relativamente barata, pues su precio es el factor determinante de la rentabilidad de este proceso. Una forma económica de satisfacer los requerimientos energéticos de este tipo de instalaciones es utilizar una energía distinta de la eléctrica, es decir, no emplear la energía suministrada por las líneas generales de abastecimiento, obtenida de muy diversas fuentes, tales como carbón, petróleo, combustibles nucleares,... los cuales comportan altos precios de producción, sino utilizar una fuente de energía autóctona, inagotable y económica, como es la energía hidroeléctrica. Ya que es necesaria una fuerza de tipo rotatoria para hacer girar el molino, se puede aprovechar la presencia en las inmediaciones de un cauce de agua (río, torrente, etc.) para que con su movimiento accione una turbina que comunique el trabajo de eje hacia la piedra del molino, consiguiendo entonces un funcionamiento muy económico del mismo, pues sólo es necesaria la inversión inicial en instalaciones y equipos, tras lo cual la factura energética será muy reducida. Dada la gran facilidad de aprovechar la energía de los cauces hídricos, la mayoría de las instalaciones de este tipo se encuentra anexa a ríos, en zonas donde exista un salto de agua natural o construido artificialmente; incluso es posible aprovechar las instalaciones de una central hidroeléctrica, siempre que se compenetren las dos actividades a un mismo tiempo.

La facilidad de obtención de pasta de papel por este método ha llevado a la instalación de pequeñas unidades de producción, de tamaño artesanal a las orillas de riachuelos, para el abastecimiento de pequeñas poblaciones o usos de aplicación reducida.

Se estiman que los costes energéticos de molido de una instalación de tamaño medio son de unos 1500 KWh por tonelada de pasta de papel producida, considerando rendimientos de madera a pasta del 90%. Los costes de molido pueden ser reducidos si se somete a la madera a un tratamiento previo consistente en someterlo a vapor de agua a presión durante un corto período de tiempo, de modo que las altas temperaturas y presiones ablandan la madera y reducen considerablemente la resistencia al molido, pues la estructura interna se debilita, pues se hinchan las fibras de celulosa, produciendo un efecto de cuña sobre el tronco, y la lignina se reblandece, permitiendo un mejor acceso del agua a las fibras. Para valorar la conveniencia de este tratamiento previo es imprescindible conocer los recursos energéticos de los cuales se cuenta y aprovecharlos; es decir, si se cuenta con energía mecánica barata (la mencionada energía hidráulica), la aplicación de vapor previo

supondrá un gasto no justificable con el ahorro energético en el molido, ya que este es nulo. Pero si por el contrario se disponen de corrientes de vapor a presión provenientes de otra parte del proceso que no son aprovechadas, o se dispone de una fuente barata de energía calorífica, tal como la geotérmica, se utilizarán estas corrientes para ahorrar trabajo de molido. Usualmente se llega a una solución de compromiso, realizando un estudio del grado de reblandecimiento de la madera en función del vapor aplicado, y del ahorro en el molido debido a este vapor, operándose entonces a valores económicamente óptimos.

La pulpa obtenida por este proceso produce papeles de baja calidad, los cuales eran usados antiguamente para papeles de baja exigencia en términos de resistencia mecánica y blancura, como eran los papeles de periódico de principios de siglo. Hoy en día, este tipo de pulpa ha de ser mezclado con al menos un 25% de pulpa de alta resistencia (pulpa semiquímica). Una gran ventaja que presenta este proceso es la posibilidad de variación de la producción en función de la demanda, pues al ser un proceso tan simple, no existen grandes problemas a la hora de la puesta en marcha y parada del proceso, al contrario de los procesos de producción en cadena continua. Hoy en día, la producción a partir de pulpa a partir de este método es muy reducida, empleándose sobre todo en pequeñas instalaciones de carácter artesanal, sobre todo debido a las malas condiciones del papel confeccionado, pues en términos globales de costo total del kilo de pulpa producida es relativamente bajo, pues aunque el molido consume mucha energía, es el único gasto importante de este proceso, pues no entraña el gasto en reactivos químicos, equipos de recuperación de materia y energía, tratamiento medioambiental de residuos producidos,... como es el caso de otros métodos de origen químico.

Producción de pasta con refinador mecánico

Este proceso apareció sobre el año 1950 debido a lo costoso que resultaba el utilizar la pasta obtenida en molinos de piedra para la confección de papel periódico, pues era necesario mezclarle más de un 25% de pulpa de origen químico, la cual es más cara.

Se basa en la separación de las fibras de la madera por medio de fuerzas de cizalladura en un molino de discos de fricción, denominados refinadores mecánicos. Para introducir la madera en los refinadores, es necesario primero someter a los troncos de árbol a un proceso de astillado, el cual consiste en el corte y molienda de la madera hasta reducirla a partículas de pequeño tamaño (astillas), del orden de centímetros. Una vez obtenidas las astillas, éstas se introducen en los refinadores.

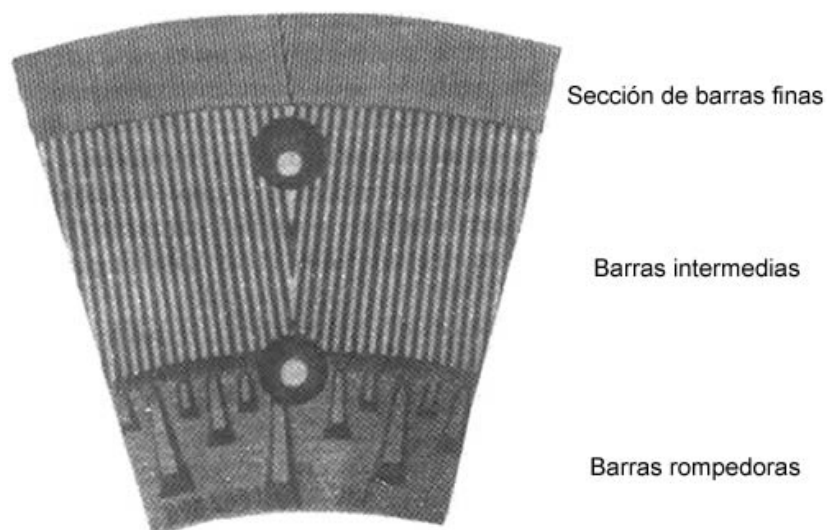
Un refinador consiste básicamente en la conjunción de dos discos de metal, uno de los cuales es móvil y gira a gran velocidad (1800 rpm), y en cuyas caras comunes existen unos surcos o ranuras de profundidad variable. La separación de estos discos depende del tamaño inicial de las astillas y del tamaño final deseado de las fibras separadas. La forma y profundidad de los surcos es diferente en la parte más interior del disco que en la parte exterior, distinguiéndose tres partes diferenciadas en un disco, dependiendo de la función realizada en cada sección.

Barras rompedoras. Son los surcos de la parte interna del disco; son profundos y anchos para procesar las astillas de mayor tamaño. Su misión es romper las astillas. Las astillas originales se introducen por el centro del disco y alimentan esta sección.

Barras refinadoras. Son los surcos de la parte intermedia del disco; en esa sección las barras son angostas y poco profundas, dispuestas en paralelo entre sí, y son alimentadas por las astillas provenientes de las barras rompedoras a través de ranuras de entrada. En esta sección las astillas son reducidas hasta aproximadamente el tamaño de una cerilla.

Barras finas. Son la sección más externa del disco refinador. Los surcos en esta zona son muy estrechos y de poca profundidad, y son los encargados de producir las astillas de tamaño final deseado.

En la Figura se puede apreciar la forma y disposición de los diferentes elementos que componen el disco refinador



[Figura.4] Disposición de los elementos en un disco refinador

La pasta obtenida por el proceso con refinador mecánico es de mayor calidad que la pasta de molino de piedra debido a la uniformidad, tamaño y forma de las fibras obtenidas. Esto se debe a que, mientras en el molido con piedra, las fibras se obtenían de tamaño y grosor arbitrario, en el refinador se tienen astillas de dimensiones perfectamente controladas.

En el refinador, la obtención de fibras tiene lugar en dos etapas, el fiberizado o desfibrado y la fibrilación. El fiberizado consiste en convertir la estructura inicial de la madera en fibras simples y largas con un mínimo desperdicio. Este objetivo se consigue utilizando relativamente poca energía específica (energía por unidad de masa tratada), pero el diseño del disco refinador ha de ser muy preciso, pues se requiere una acción de rozamiento entre fibras, siendo preciso reducir el rozamiento entre fibra y disco, lo cual produce el acortamiento de la fibra. Deben obtenerse en esta etapa pocos mazos de fibras y astillas, pues no pueden ser eliminados en la segunda etapa. La etapa de fiberizado se lleva a cabo en las barras rompedoras. En el proceso de fibrilación se convierten las fibras obtenidas en fibrillas y fragmentos de pared celular, lo que suministra las características de unión requeridas por el papel. Esta etapa tiene un gran gasto en energía específica, y se requiere un diseño cuidado para no perjudicar las fibras. El fibrilado se lleva a cabo en las secciones de barras refinadoras y finas del disco.

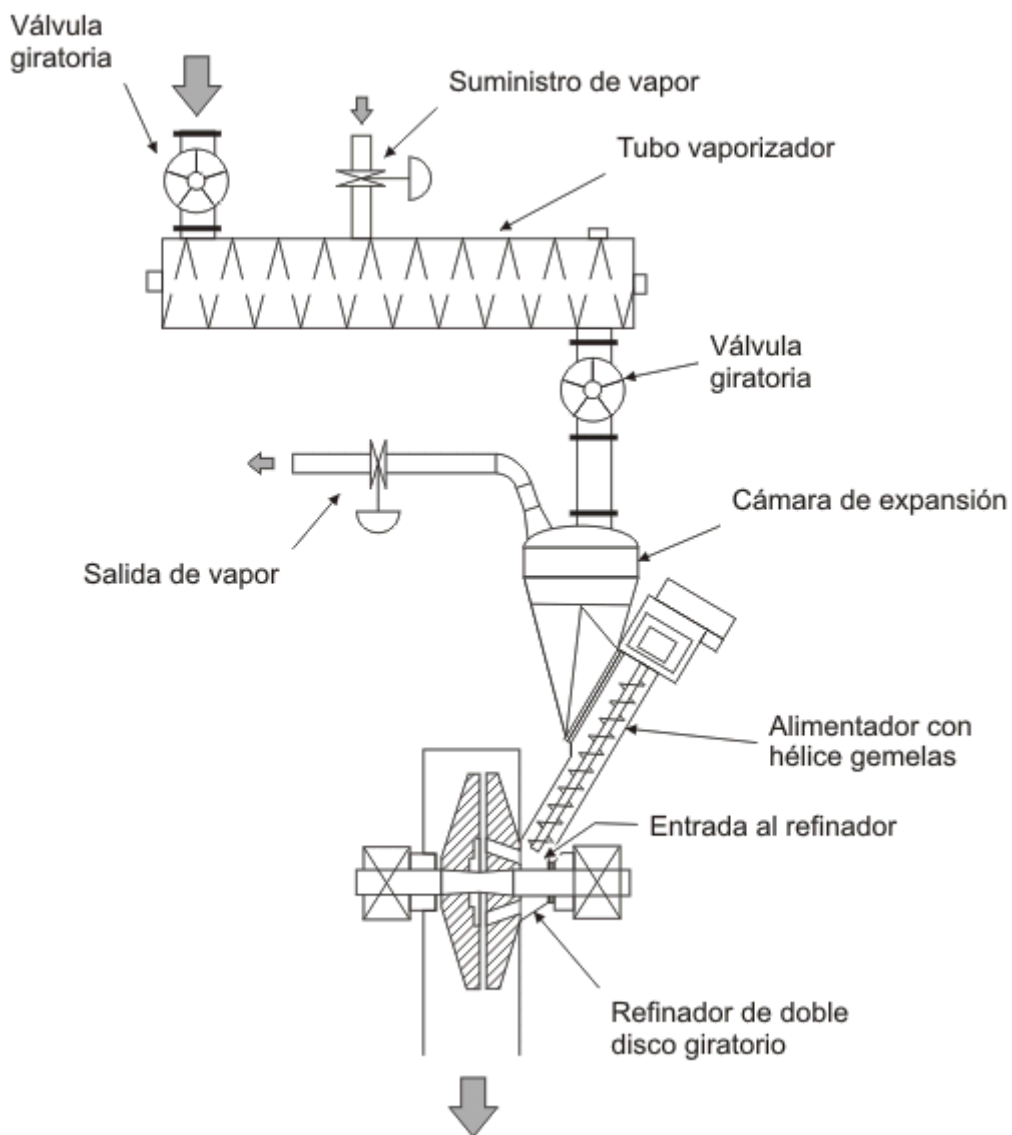
La energía suministrada a los refinadores es utilizada, como se ha explicado, para reducir las astillas a fibras de tamaños y formas adecuadas, pero debido al intenso rozamiento existente entre las partículas de madera entre sí y entre los discos, se genera gran cantidad de calor, el cual produce la evaporación del agua que portan las astillas inicialmente introducidas. Este vapor ha de ser retirado del interior del molino, pues de otra forma ejercería una presión que podría perjudicar el equipo o impedir el avance de las partículas. Por ello, el diseño del disco está hecho de tal forma que el vapor es conducido hacia el exterior por la parte central de los discos, por el mismo conducto de entrada de las astillas. La solución elegida no es arbitraria, pues de esta forma se consigue un efecto de reblandecimiento de las astillas antes de la entrada al molino, que facilita su procesado, al tiempo que ahorra energía de molido y además facilita el movimiento de las partículas de madera, pues el agua tiene efecto lubricante.

Siguiendo el proceso de refinador mecánico, se obtiene una pulpa con un alto rendimiento de madera a pulpa, aproximadamente del 90%, pues la lignina no es separada de las fibras celulósicas, pero debido a este alto contenido en lignina y a que las fibras han sido sometidas a un agresivo procesado mecánico que produce el

debilitamiento de las mismas, el papel confeccionado a partir de esta pulpa tiene poca resistencia mecánica, y por ello es empleado para la fabricación de papel de periódico y similares. Además, debido a la presencia de la lignina, el papel así obtenido sufre reversión de brillo, es decir, el papel se oscurece por la acción de la luz solar.

Producción de pasta termomecánica

El proceso termomecánico es una mejora introducida sobre el proceso de refinador mecánico, que consisten en la instalación en la línea de entrada de una unidad de vaporizado (la disposición del equipo se muestra en figura 7).



[Figura.5] Sistema producción termomecánica de pulpa

En esta unidad, las astillas de madera se someten a vapor de agua a presiones de entre 6 y 10 kg/cm², lo que corresponde a una temperatura de entre 165 y 185°C. Si se consigue acoplar perfectamente la sección de vaporizado con el refinador mecánico, el proceso de refinado tendrá lugar a las mismas condiciones de presión y temperatura. En estas condiciones, la lignina, que actúa como ligante de las fibras se reblandece, por lo que la estructura de la madera se debilita enormemente y las fibras quedan casi totalmente separadas. Las fibras separadas a estas temperaturas no solo no sufren daño alguno, sino que quedan recubiertas con una delgada capa de lignina, depositada tras el enfriamiento, que las endurece. Este recubrimiento crea una superficie suave en la fibra, lo que produce que cualquier intento de fibrilación resulte muy difícil, por lo que no este proceso no es adecuado para la obtención de papel, pues la cohesividad entre fibras es baja, pero la hace óptima para la fabricación de tableros para construcción, pues la resistencia individual de las fibras es muy alta, gracias a la resistencia transferida por la capa de lignina. Para la obtención de papel a partir de este proceso no puede sobrepasarse la temperatura de transición vítrea de la lignina.

Proceso Masonite

El proceso Masonite es un tratamiento singular de producción papel directamente a partir de la madera. El proceso consiste en introducir las astillas de madera en un digestor y calentarlas a muy elevada presión durante un período sumamente corto, para a continuación liberar la presión mediante una válvula de apertura rápida. Debido a la descompresión, las astillas de madera se rompen y forman una masa fibrosa, donde las fibras contienen casi la totalidad de la lignina original, pero en estado termoplástico, por lo que dicha masa puede conformarse y prensarse para obtener un producto de alta densidad en el que la lignina actúa como aglutinante. El producto así obtenido es utilizado en aplicaciones muy específicas. Además, a consecuencia del tratamiento sufrido, se producen ácidos orgánicos y azúcares, los cuales pueden ser aprovechados como valiosos subproductos del agua de lavado de las fibras.

- Producción semiquímica de pulpa

Los procesos de producción de pulpa de papel por medios semiquímicos implican aquellos procedimientos donde se utilizan etapas de tratamientos químicos y etapas de procesado mecánico. Los dos tipos de tratamientos son complementarios, y aún en la pasta final las ventajas de las pastas químicas y de las mecánicas.

En la producción sólo mecánica y en la termomecánica de pulpa, las maderas suaves tienden a quebrarse para producir fibrillas con buenas propiedades en cuanto a la formación de enlace de las hojas. Sin embargo, las maderas duras, por razón de su estructura fibrosa más rígida, no forman dichas fibrillas, sino que se rompen en desperdicios cortos no fibrilares, que contribuyen muy poco a las propiedades de enlace, lo que no se mejora ni siquiera sometiendo a las astillas a vaporización por debajo del punto de transición vítrea antes del refinado. Es por ello que el tratamiento termomecánico de maderas duras no logra una buena resistencia de la fibra. Es por ello que para el procesado mecánico de maderas duras es imprescindible recurrir a métodos de pretratamiento químico que mejoren las propiedades de las fibras, someténdolas posteriormente a un refinado mecánico.

Proceso a la sosa fría

De los procesos semiquímicos (o quimicomecánicos) el proceso a la sosa fría es el más antiguo. Consiste en el refinado mecánico de las astillas una vez remojadas en una disolución de sosa, durante un período de tiempo de entre 30 y 120 min, dependiendo del tipo de madera y a temperatura ambiente. De esta forma, las astillas se ablandan debido a la absorción acelerada que experimenta la hemicelulosa y las zonas amorfas de la estructura celulósica (las más fácilmente accesibles), produciendo una hinchazón de las mismas que debilita la estructura de la madera.

La temperatura de aplicación de este proceso no puede ser superior a 25°C si no se quieren obtener pulpas oscurecidas (válidas sólo para la fabricación de cartón), pero a esta temperatura la velocidad de impregnación de la madera por la sosa, sobre todo en maderas duras y densas es lenta, por lo que a veces se lleva a cabo bajo presiones de hasta 10 atm.

El rendimiento de madera a pasta es de entre el 87 y el 92% para maderas duras, y el consumo de sosa, aunque variable en función de la madera, está alrededor de 60 kg de sosa cáustica por tonelada de pulpa para la producción de papel periódico. El costo de este procesado es menor que el de la pasta mecánica, pues aunque es necesario contar con el gasto en productos químicos, éste se compensa ampliamente con el ahorro energético de la desfibración, que está entre 630 y 900 kWh por tonelada de pulpa seca. El licor utilizado en la impregnación puede volver a ser utilizado de nuevo, añadiéndole la cantidad adecuada de sosa, hasta un máximo de 15 o 20 ciclos, ya que más usos supondrían un oscurecimiento de la pasta. Las características del papel obtenido por este método son muy similares a las de los obtenidos por métodos mecánicos, y sus aplicaciones son las mismas, aunque este

método está casi en desuso debido a las mejores propiedades obtenidas por otros métodos similares.

Proceso al sulfito básico

Este proceso se lleva a cabo en el tratamiento de maderas suaves o maderas duras de baja densidad (como el álamo y el eucalipto). El licor empleado para la extracción está compuesto de sulfito sódico (Na_2SO_3) y por una serie de productos que consigan regular el pH del medio a valores de entre 9 y 12; estos compuestos son carbonato de sodio (Na_2CO_3), hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na_2S). La acción del sulfito en medio básico es similar a la de la sosa, es decir, acelera el proceso de hidratación de la celulosa, y por consiguiente ablanda la madera, pero presenta la ventaja frente a ésta de producir pulpas más blancas y generar papeles más resistentes.

Las condiciones de operación son más severas que en el proceso a la sosa, pues se lleva a cabo a alta temperatura (proceso quimicotermomecánico), entre 130 y 170°C, temperatura a la cual la impregnación de las astillas de madera es muy efectiva, lo que acelera la velocidad del proceso y facilita el posterior refinado. La energía consumida en la etapa de digestión química a alta temperatura se estima que resulta 1000 KWh por tonelada de pulpa seca, y la energía consumida en el proceso de refinado es de 800 KWh por tonelada de pulpa seca. El rendimiento del proceso, expresado en porcentaje de pulpa obtenido por cantidad de madera empleada, se sitúa entorno al 60%.

La elección de este sistema en relación con el proceso exclusivamente mecánico habrá de ser evaluado en términos de economía de proceso y beneficios de los productos. Por una parte, el consumo energético total es ligeramente superior al del proceso mecánico, estimado en 1600 KWh, y el rendimiento es inferior (60% frente a 90%), pero por el contrario, la calidad de la pulpa obtenida es muy superior, ya que puede ser empleada en la producción de papeles de altas exigencias de resistencia mecánica, en contraposición con la debilidad de la pasta mecánica. Es por ello que dependiendo del producto que se desee obtener, se empleará uno u otro método.

Proceso al bisulfito

En este proceso se emplea bisulfito sódico para promover la separación de la lignina de las fibras celulósicas en una etapa previa al refinado mecánico final. La acción del bisulfito sobre la lignina produce la sulfonación de las moléculas de lignina,

generando ácidos lignosulfónicos más hidrofílicos, de manera que la fibra puede hincharse y absorber agua. Para producir una pulpa quimicomecánica de alta resistencia aplicando maderas duras de elevada densidad resulta necesario un alto grado de sulfonado, debiendo cocerse las astillas para obtener un rendimiento elevado (de hasta el 85%).

Durante el proceso es importante mantener los valores de pH entre 4 y 6, pues en ese rango se obtienen las pulpas más resistentes y más blancas, lo que es importante a la hora de fabricar el papel. Además, para conseguir un buen impregnado de las astillas en reactivos, este proceso se lleva a cabo bajo presiones de entre 5 y 10 kg/cm² y en ausencia de aire. También es importante tener en cuenta los problemas producidos cuando se supera la temperatura de transición vítrea de la lignina, fenómeno que tiene lugar en el procesado termomecánico, donde la lignina termina por adherirse a la fibra, reduciendo su cohesividad a la hora de confeccionar el papel. Pues bien, si la temperatura habitual de transición vítrea es de 120 a 150°C, en las astillas tratadas previamente por el procedimiento del bisulfito, ésta se rebaja hasta 70 a 90°C, debido al cambio en la estructura química ocasionado. Es por ello que deben controlarse las temperaturas alcanzadas en la etapa de refinamiento mecánico, a fin de no superar dichos límites, que perjudicarían considerablemente la calidad de la pulpa.

Con el proceso al bisulfito se puede regular el rendimiento y la calidad de la pulpa obtenida, pues tiempos altos de impregnación supondrán bajos rendimientos (45 a 60%), pero calidades similares a la de las pastas químicas (alta calidad y resistencia mecánica); si el tiempo de impregnación es bajo, el rendimiento aumenta (80 a 85%), pero la calidad de la pulpa es similar a las pastas mecánicas (poca resistencia mecánica y deteriorabilidad).

Proceso al sulfito ácido

En este proceso se emplea una disolución de sulfito sódico a la que se le agrega cierta cantidad de dióxido de azufre (SO₂). La acción de este licor sobre las astillas de madera es la de sulfonar intensamente las moléculas de lignina, produciendo entonces que ésta sea más soluble en agua y pueda ser extraída fácilmente.

Las etapas que componen este proceso son, en primer lugar la impregnación a presión atmosférica de las astillas con el licor, cuyo pH se ajusta a valores entre 1.5 y 2. La impregnación dura alrededor de 60 min, y es seguida por la vaporización en un

digestor de vapor a unos 120°C, el cual puede estar o no directamente acoplado al refinador mecánico.

La velocidad global del proceso es aproximadamente tres veces superior al tratamiento al bisulfito, y el grado de blancura de la pasta es elevado. El rendimiento obtenido está entre el 60 y el 70%, según los tiempos relativos en cada una de las etapas.

Procesos al sulfato y al sulfito neutro

Proceso al sulfato

Se pueden producir pulpas semiquímicas empleando una mezcla de reactivos denominada licor Kraft (La composición de este licor se explicará más tarde en el apartado de producción química por método Kraft), el cual cuenta en su base con compuestos de sulfato. El procedimiento es muy similar al proceso a la sosa fría, aunque resulta más efectivo en términos de rendimiento de pulpa a madera, que aquí se sitúan entre el 65 y el 80%. Por el contrario, presentan varios inconvenientes, como es el color oscuro de la pulpa, su baja resistencia y su mayor contenido en lignina, pues esta no es fácilmente extraída. Debido a estas desventajas, este proceso se utiliza para obtener cartones y medios corrugantes. La importancia de este proceso se basa en la posibilidad de acoplarse a fábricas de pulpa que utilizan el método Kraft de obtención química de pulpa, el cual es el mayoritario en todo el mundo, por lo que se presenta como una posible actividad paralela a la producción química.

Proceso al sulfito neutro (NSSC)

El método semiquímico al sulfito neutro (Neutral Sulfite Semi Chemical) es utilizado como mejora a los tratamientos mecánicos para las maderas duras, pues éstas presentan bajos rendimientos por dichos métodos.

Este procedimiento fue descubierto en 1874, pero la primera fábrica que lo empleó para la obtención industrial de pulpa se construyó en 1922, extendiéndose más tarde ampliamente por todo el mundo, pues la pulpa así obtenida tuvo buena aceptación.

Al igual que el proceso al sulfito ácido, el efecto del sulfito sódico sobre la madera es el de sulfonar la lignina, transformándola en ácidos sulfónicos solubles, aunque en condiciones neutras la velocidad de este proceso se reduce bastante, además de aumentar la cantidad requerida de reactivos, pero por el contrario, se

tiene la ventaja de obtener pulpas de mayor blancura y de mayor resistencia. Para mantener el pH neutro se utiliza un tampón con base de bicarbonato sódico, el cual se agrega de modo tal que sea capaz de neutralizar los ácidos orgánicos que se crean durante la digestión.

La digestión de las astillas se lleva a cabo a una temperatura de 120°C , durante un tiempo inferior al de la cocción total (separación total de lignina), durante el cual el licor impregna las astillas, sulfona la lignina e hidroliza los ácidos generados. Las astillas parcialmente convertidas en pulpa son introducidas a continuación en un refinador mecánico donde son desfibradas sin ocasionar daños a las fibras. Mediante este proceso, se elimina entre el 25 y el 50% de la lignina y entre el 30 y el 40% de las hemicelulosas, lo que resulta un porcentaje muy bajo en comparación con los métodos químicos (90 a 98% eliminación de lignina y 50 a 80% eliminación de hemicelulosas); este no es un problema crítico, pues debido al tratamiento, la lignina es fácilmente eliminable durante el blanqueo de la pasta, cuando ésta se emplea en la fabricación de papel, por lo que el resultado final se asemeja mucho a las pastas totalmente químicas. De esta forma, la gran ventaja que se obtiene por este proceso es la posibilidad de obtención de pulpas blanqueada de calidad química a partir de maderas duras, con unos rendimientos del 60%, superiores a los valores típicos para el proceso químico, que se sitúan entre 45 y 50%. Para este tipo de maderas, la resistencia obtenida en el papel es mayor a la correspondiente al proceso químico.

El proceso NSSC es el más utilizado entre los métodos semiquímicos, ya que los productos obtenidos son superiores al resto de los métodos, la recuperación de reactivos es más sencilla y económica y al operar a pH neutros, el costo de los equipos es menor, pues no requieren materiales resistentes a ácidos y bases. En cuanto a los requerimientos energéticos de funcionamiento, estos se estiman entre 180 a 360 kWh por tonelada de pulpa producida, lo que resulta bastante económico en comparación con los otros métodos, lo que supone una seria ventaja.

Al igual que en el proceso al bisulfito, el rendimiento obtenido por el proceso NSSC es variable en función del tipo de pulpa que se desee obtener y de la eficacia de pulpa a madera. Así, para rendimientos superiores al 80% la resistencia del papel fabricado es muy baja, pero aumenta constantemente al disminuir el rendimiento hasta aproximadamente el 65%. Por ejemplo, en la fabricación de medios corrugantes y papel de envolver, se puede trabajar satisfactoriamente a un rendimiento del 75%, aunque esta pulpa contenga cierta cantidad de astillas, las cuales pueden ser

separadas por separación centrífuga. Para la producción de papel de calidad libro se puede operar a rendimientos del 64%, sobre base de pulpa blanqueada.

En el siguiente cuadro se muestra una comparativa entre las características mecánicas de los diferentes tipos de pulpas semiquímicas.

Resistencias comparadas de pulpas semiquímicas

	Indice de rotura (KPa*m²/g)	Indice de rasgado (mN*m²/g)	Separación de rotura (% relativo)	
Semiquímico neutro, blanqueo	1.32	10.7	100	100
Semiquímico neutro, sin blanquear	0.96	8.7	73	81
Sulfato, sin blanquear	1.08	7.6	82	71
Sulfato, blanqueo	0.96	9.2	73	86
Sosa, sin blanquear	0.78	7.6	59	71
Sosa, blanqueada	0.60	6.1	45	57
Sulfito, sin blanquear	0.60	6.1	45	57

Tabla 1. Resistencias comparadas de pulpas semiquímicas

- Producción química de pulpa

El tercer gran grupo de métodos de obtención de pulpa de papel lo forman los procedimientos puramente químicos, los cuales son capaces de transformar la madera en pasta de papel sin recurrir a la acción mecánica en ninguna de sus etapas, excepción hecha de la etapa de astillado.

Ya que no existe acción mecánica a lo largo del proceso, la separación de las fibras de la lignina ha de ser llevada a cabo aplicando métodos químicos selectivos que provoquen una separación efectiva de las fibras celulósicas de la lignina. Para ello se utilizan distintos métodos, los cuales son capaces de conseguir dicha separación.

Proceso al sulfito

El método al sulfito fue descubierto hacia el año 1870 por B.C. Tilman, que observó que se podía producir una pulpa de aspecto brillante si se trataba la madera a altas temperaturas y presiones con ácido sulfuroso (H_2SO_3) y bisulfito cálcico ($Ca(HSO_3)_2$); pero debido a problemas de corrosión no se pudo montar una planta a gran escala hasta unos años más tarde, cuando se utilizaron digestores de cerámica calentados por vapor directo, lo que permitía construir unidades grandes, con lo que pasó a convertirse en el método dominante aplicado a la producción de pulpas químicas.

Las ventajas principales de este proceso eran varias en los orígenes de su invención, entre ellas puede citarse:

- Alto rendimiento
- Bajo costo de reactivos respecto a los métodos alcalinos
- Alta blancura de las pulpas no blanqueadas, que permite utilizarlas muchas veces directamente sin blanquear
- Fácil blanqueabilidad de las pulpas con los agentes simples disponibles

Por el contrario, presenta ciertas desventajas evidentes

- Número reducido de especies leñosas que pueden ser utilizadas
- Resistencia de pulpa reducida respecto a otros métodos químicos

El proceso al sulfito fue el método químico más utilizado hasta los años 30, momento en el cual pasó a ser desplazado por el proceso Kraft, debido a la calidad de la pulpa y del costo específico del proceso de fabricación y blanqueo, aunque en

El licor utilizado en el proceso al sulfito se obtiene fácilmente. Primero se quema azufre para producir dióxido de azufre (SO_2), el cual se enfría a continuación y se absorbe en una disolución acuosa que contiene a su vez alguna sal básica, usualmente carbonatos, hidróxidos o sulfitos de metales alcalinos.

La elección de la base para el proceso, cuya función es regular el pH y aumentar la eficiencia del licor de cocción, es muy importante, pues en función de ella los rangos de temperatura y pH de operación son diferentes, siendo estos parámetros críticos para el buen funcionamiento del proceso. Los tipos de bases que pueden ser empleadas se describen a continuación.

Base de calcio

Fue la primera en ser utilizada, pues resulta ser barata y de alta disponibilidad, ya que se obtiene de la piedra caliza. El mayor problema para su utilización es que la solubilidad del sulfito cálcico (CaSO_3) en función de la temperatura presenta un comportamiento inverso, es decir, se vuelve insoluble al aumentar la temperatura. En consecuencia, el intervalo de concentraciones del sulfito en el licor es reducido, lo que condiciona a su vez los rangos de pH a los que se pueden operar. Por otra parte, los elementos calefactores se pueden recubrirse de incrustaciones sólidas de dicha sal o de los correspondientes sulfato y carbonato. Además, se presenta el problema de la dificultosa recuperación de reactivos.

Base de magnesio

La base de magnesio puede utilizarse sobre un amplio margen de pH, superior al del calcio, debido a la mayor solubilidad del sulfito de magnesio (MgSO_3). La fuente de magnesio utilizada usualmente es el hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), pues el carbonato reacciona lentamente con el dióxido de azufre. La mayor ventaja de la base de magnesio es que se pueden recuperar fácilmente los reactivos quemando el licor en un horno, con lo que se obtiene óxido de magnesio y dióxido de azufre. Además, puede agregarse sulfato de magnesio (MgSO_4) al licor antes de entrar al horno para reponer las pérdidas.

Base de sodio

Tanto el sulfito como el bisulfito sódicos presentan una gran solubilidad, por lo que tanto la absorción del dióxido de azufre como la producción de pulpa se simplifican, pues en las condiciones de operación no ocurre nunca la precipitación. El

sodio se puede obtener fácilmente de la sosa cáustica (NaOH) o ceniza de sosa (NaCO₃). Pero la mayor desventaja frente al magnesio es la dificultad de la recuperación de reactivos, pues ello supone el manejo de compuestos de azufre reducidos, que son fuente habitual de emisiones nocivas.

Base de amonio

El sulfito y bisulfito amónico ((NH₄)₂SO₃,NH₄HSO₃) son solubles en todo el rango de pH, se pueden obtener fácilmente a partir de amoníaco líquido anhidro por disolución, pero se requieren instalaciones especiales de descarga y mezcla, además de ser imprescindible un gran cuidado en el proceso de absorción con SO₂ para impedir la fuga de vapores.

Como ventaja respecto a las demás bases presenta la mayor velocidad de deslignificación debido al pH ácido inducido por las sales de amonio, pero la pulpa obtenida presenta un color oscuro, por lo que no se puede utilizar directamente en la producción de papel, aunque el proceso de blanqueo no se ve impedido por esta coloración. Otra desventaja importante es que la recuperación del dióxido de azufre es muy dificultosa, y el amoníaco no se puede recuperar, ya que pasa a nitrógeno gas durante la incineración, por lo que el gasto de reactivos es mucho más elevado.

Sin base

El proceso al sulfito mediante disoluciones de dióxido de azufre en agua simplifica el proceso de producción de pulpa, a la vez que soluciona los problemas de incrustaciones y presencia de cenizas y facilita la recuperación del SO₂. Los inconvenientes son sobre todo la gran corrosividad de la disoluciones acuosas de dióxido de azufre, la necesidad de enfriamiento del licor para la recuperación y la alta presión parcial de SO₂ necesaria para desplazar el equilibrio hacia la formación del bisulfito, necesario para producir la sulfonación de la lignina. Debido a estos inconvenientes, este método no se utiliza industrialmente en la obtención de pulpas.

Comparación de las bases para la obtención de pulpas química al sulfito

Un resumen de las ventajas e inconvenientes de la elección de una u otra base en el proceso del sulfito se muestran en la siguiente tabla.

	Calcio	Magnesio	Sodio	Amonio
Sistema de absorción del SO ₂	Complejo	Relativamente simple	Simple	Simple
Margen del pH para la digestion	Por debajo de 2	Por debajo de 5	De 0 a 14	De 0 a 14
Velocidad de producción de pulpa	Intermedio	Intermedio	El más lento	El más rápido
Nivel de cernido	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo
Tendencia a producir incrustaciones	Alto	Moderado	Bajo	Bajo
Facilidad para la incineración del licor	Difícil, sin recuperación de la base o del SO ₂	Simple, se recupera tanto la base como el SO ₂	Complejo, se recupera tanto la base como el SO ₂	Simple, pero no se recupera la base

[Tabla 2]. Comparación de las bases para la obtención de pulpas química al sulfito

En cuanto a las características de las pulpas obtenidas por las diferentes variedades de tratamientos al sulfito, cabe destacar ciertas diferencias que hacen que dependiendo del tipo de materia prima con que se cuenta y con las propiedades

finales deseadas para el papel, sea recomendable un proceso u otro. Estos métodos son:

Sulfito ácido

Es la configuración inicial del proceso al sulfito, donde se utiliza una base de calcio, se trabaja a un pH de entre 1.2 y 1.5, conseguido por agregación de SO₂ en exceso, trabajando a temperaturas más suaves, de entre 130 y 145°C y presiones moderadas (5-7 atm). Este tratamiento no es recomendable cuando se utilizan maderas resinosas o cuando las astillas contienen una cantidad relativamente elevada de corteza. A veces se producen malos olores por pérdidas de dióxido de azufre, debido a su elevada presión parcial en el medio para conseguir pH tan bajos. Las pulpas producidas son de baja resistencia, y se utilizan para confeccionar papel de periódico, tejidos suaves, rayón,...

Bisulfito

Se utiliza un licor que contiene igual cantidad de dióxido de azufre libre y combinado (en forma de H₂SO₃, SO₃²⁻, HSO₃⁻); de esta forma, el licor tiene la composición real de bisulfito, sin contener el exceso de SO₂. El pH del medio se sitúa entre 3 y 5. En este procedimiento no se puede utilizar base de calcio por su baja solubilidad, y se emplean bases de magnesio o sodio. El ciclo de cocción es más rápido (de unas 6 h), que en el caso de proceso ácido (sobre 8 h), pero también se precisan temperaturas más elevadas, de hasta 170°C. Este tipo de proceso admite más tipos de madera, y además, no degrada tanto la celulosa originaria. El mayor inconveniente es que la pulpa producida es un poco más oscura que en proceso ácido, y no se puede emplear directamente en la producción de papel sin ser blanqueda.

Sulfito alcalino

En este proceso se utiliza una combinación de sulfito de sodio y de hidróxido de sodio como reactivos del proceso. Este proceso reúne las características del proceso al sulfito con el proceso Kraft, pues de acuerdo al primero, no genera olores significativos en el digestor, y las pulpas se pueden blanquear fácilmente; en cuanto a su semejanza al proceso Kraft, cabe destacar el ritmo de producción rápido, la no limitación en el uso de especies madereras y la alta resistencia de las pulpas.

Como se puede observar, hay muy distintos métodos englobados en la misma familia, la producción química al sulfito, pero en general, cabe citar como ventajas

- Buena blanqueabilidad de las pulpas
- Alta blancura de la pulpa (utilizable directamente)
- Problemática ambiental moderada (ausencia de olores sulfurados)
- Alto rendimiento (en torno al 53% llegando a 65% con refinado mecánico)

Proceso de obtención de pulpa al sulfato o Kraft

El proceso Kraft fue descubierto por Dahl en 1879, que cuando observó que el álcali perdido en el proceso a la sosa era sustituido por sulfato de sodio, en vez de por carbonato de sodio, el sulfato se reduce a sulfuro durante la incineración del licor gastado, por lo que realmente los agentes activos en el proceso son el sulfuro sódico y el hidróxido sódico, y no el sulfato (el sobrenombre Kraft proviene del alemán, donde significa fuerte, debido a las buenas características de la pulpa obtenida). El avance en el uso de este método ha sido imparable desde su invención, pues ya en los años 30, la producción mundial de pulpa Kraft igualaba al método del sulfito, y a partir de ahí, fue aumentando hasta nuestros días, donde es el proceso de producción mayoritario.

Las reacciones que tienen lugar durante la digestión Kraft no son totalmente conocidas, ya que la multiplicidad de compuestos presentes en el medio reactivo, y la complejidad de la lignina dificultan la determinación de las reacciones determinantes de la velocidad global; pero se sabe que la presencia de sulfuro acelera la disolución de la lignina sin que aumente la degradación de la celulosa, y que el ataque a las moléculas de lignina implica la formación de grupos que hacen a la lignina más soluble en el álcali.

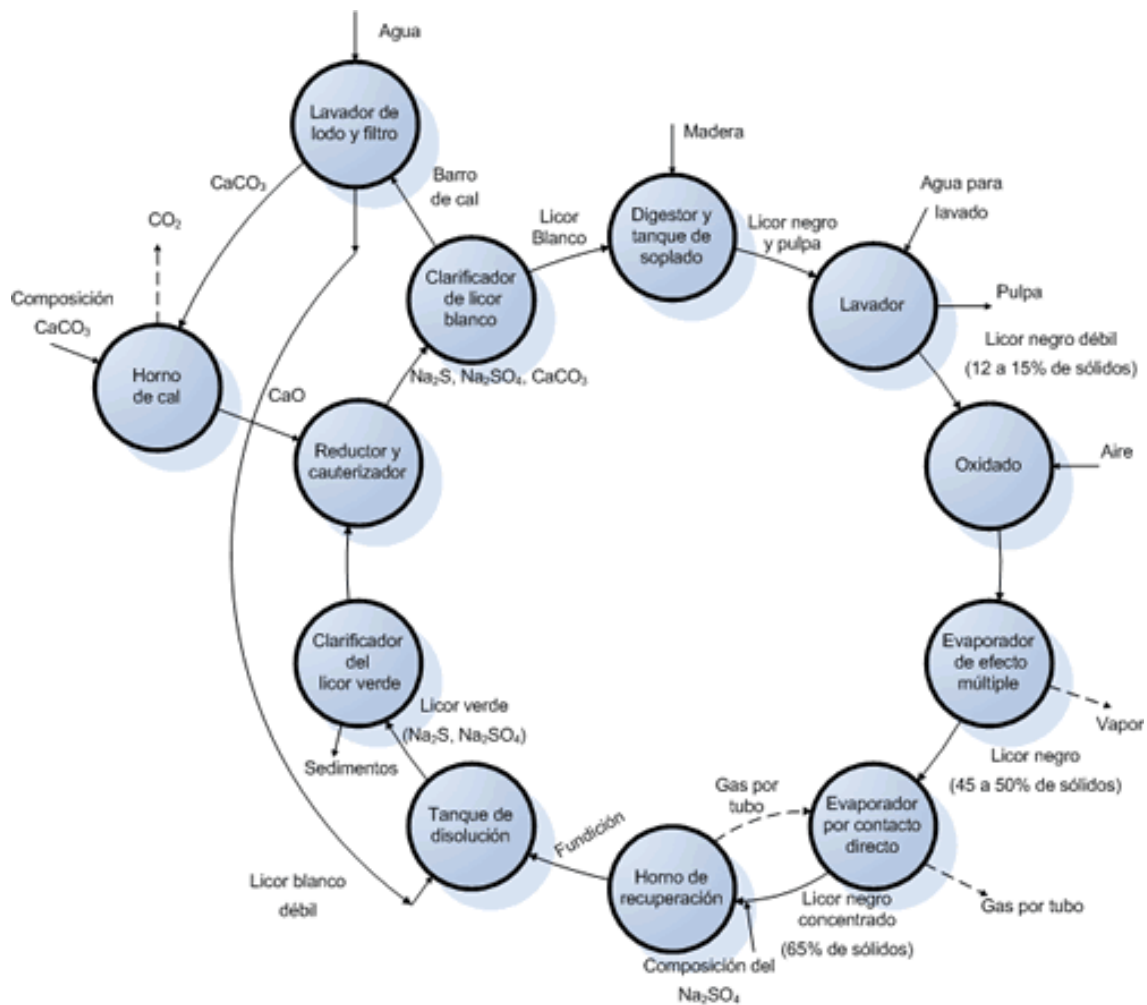
Durante la digestión es importante obtener una alta densidad de masa de madera en relación al licor, es decir, es aconsejable que la mezcla de astillas y licor sea íntimo. Para conseguirlo, se introducen las astillas y el licor simultáneamente, para así mejorar las propiedades lubricantes del licor y que las astillas resbalen entre sí y se asienten bien en el recipiente digestor. Además, es importante una perfecta mezcla en el interior del reactor, ya que de lo contrario la cocción sería desigual en todo el volumen, y el producto final sería heterogéneo, lo que se traduce en un elevado rechazo de la fracción de pulpa de tamaño más grueso en la etapa de cernido, lo que supone un aumento en el coste del proceso. Es por ello que la convección natural no es suficiente para obtener el grado de mezcla deseado, y se recurre a la

convección forzada, inducida por la reducción súbita de presión en la parte alta del digestor, produciéndose entonces la ebullición generalizada de la masa reaccionante, con lo que la mezcla está asegurada.

En cuanto a los requerimientos tecnológicos, el proceso al sulfato presenta la gran ventaja de ser mucho menos corrosivo que el empleado en el proceso al sulfito, por lo que los materiales empleados en la construcción de los equipos pueden ser más económicos y duran más tiempo en activo (un tiempo típico para un digestor es de 20 años).

El procedimiento de operación en una fábrica de pulpa de tipo Kraft es similar al proceso del sulfito. Primero se cargan en el digestor las astillas y el licor blanco⁴, simultáneamente para obtener una buena mezcla de ambos, y en proporción adecuada para la obtención del ratio licor/madera elegido. A continuación se calienta el digestor por vaporización directa hasta llegar a temperaturas de entre 160 y 180°C, manteniéndose estas condiciones hasta alcanzar el grado deseado de cocción. Una vez terminada la cocción la mezcla de pulpa y astillas no digeridas salen del digestor y se separan por cernido, siendo devueltas al digestor las partículas de mayor tamaño, y se separa la pulpa, que a continuación pasa a una etapa de lavado.

El licor gastado, denominado licor negro, se pasa al ciclo de regeneración; allí, se mezcla con sulfato sódico y se oxida, para evitar olores indeseables (provenientes de compuestos sulfurosos). Una vez oxidado se incinera en un horno de recuperación, produciéndose una ceniza que contiene carbonato sódico y sulfuro sódico, los cuales se caustifican por agregado de cal apagada; de aquí se obtiene carbonato cálcico, que se regenera a cal viva por combustión. Además, el calor generado en los hornos se aprovecha para calentar la caldera, precalentar el vapor y para evaporar disolvente en la etapa de concentración del licor negro.



[Figura. 7] Proceso Kraft de obtención de pulpa y ciclo de recuperación

Para el proceso Kraft se pueden utilizar todo tipo de maderas, pero las que mejor resultado dan son las maderas duras. El rendimiento obtenido es bajo para la pulpa no blanqueable (sobre 52%), ya que se separa mucha cantidad de lignina (hasta el 90%), pero la resistencia de la pulpa es muy alta. El color de las pulpas obtenidas en el proceso normal es más oscura que las obtenidas por el procedimiento del sulfito, con lo que no pueden ser empleadas para fabricar papel de impresión, por lo que las pulpas sin blanquear se utilizan para la fabricación de papel de envolver y cartón, debido a su gran resistencia. Aún así, el proceso de blanqueo es fácil y eficiente para las pulpas Kraft, y su mayor aplicación es la fabricación de papel de imprimir.

Como características del proceso, que lo han llevado a ser el más empleado, pueden citarse, en resumen:

- Posibilidad de utilización de cualquier especie de madera, por lo que se consigue una gran flexibilidad al suministro de madera

- Buena tolerancia en las astillas de una cantidad relativamente grande de corteza
- Tiempos de cocción breves, con lo que aumenta la velocidad del proceso
- Menores problemas de deposiciones sólidas (alquitrán)
- Excelente resistencia de la pulpa, debido a la alta concentración de lignina residual
- Buen conocimiento y eficiencia del proceso de recuperación del licor gastado
- Obtención de productos secundarios valioso: trementina y tall oil

Como inconveniente más notable cabe citar la dificultad de control de olores sulfurosos, los cuales aparecen a concentraciones de incluso partes por mil millones, y que son difíciles de evitar.

Otros procesos de producción de pulpa

Existen otros tipos de procesos de producción de pulpa de papel a partir de productos no convencionales. Estos son: fibras no leñosas, trapo y borra de algodón y fibras secundarias (reciclado).

Fibras no leñosas Las fibras no leñosas se emplean como sustitutos de la madera, y la producción a nivel industrial se está investigando en los últimos tiempos, pues presentan la ventaja del corto tiempo necesario para su obtención a partir de plantaciones forestales (silvicultura), y además de ser posible su plantación en zonas de difícil obtención de especies madereras.

Las fibras utilizadas son:

- Desperdicios agrícolas y agroindustriales, entre los que figuran las pajas de los cereales y el arroz y el bagazo de la caña de azúcar.
- Plantas silvestres, entre las que figuran el bambú, las cañas y el esparto.
- Cosechas de fibras cultivadas, entre ellas las fibras de hojas, las fibras de lino,...

Estas fibras se suelen utilizar solas o mezcladas con pulpa Kraft adquirida, para conseguir las características requeridas. A menudo, se emplean para fabricar papeles especiales, de alto valor añadido, y con producciones reducidas. La producción masiva está en fase de estudio, donde se incluyen estudios de viabilidad sobre la producción y disponibilidad continuada de materias primas.

Los métodos de tratado de estas materias primas, una vez acondicionadas, es similar a los procesos descritos, con las modificaciones pertinentes que requieren las características diferenciales entre productos madereros y fibras no leñosas.

Trapos y borras de algodón. La utilización de trapos viejos y de borras de algodón, materia prima exclusiva en los primeros momentos de la fabricación de papel, se reducen ahora a papeles de altísima calidad y producción muy limitada, para usos muy especiales u ornamentales.

Obtención de pulpa a partir de Fibras secundarias

La utilización masiva de fibras secundarias, provenientes de papeles y cartones reciclados, es relativamente reciente, pues su obtención ha de estar ligada a la recogida selectiva de los desperdicios urbanos e industriales, lo que supone un enorme esfuerzo en logística y planificación. Esta reutilización puede ser posible hoy en día gracias al aumento de la conciencia ecológica, pues la utilización de fibras recicladas implica una menor necesidad de madera talada y un ahorro de energía.

El papel reciclado, antes de su incorporación al ciclo de la pulpa, requiere de su clasificación (no todos el papel puede ser reciclado), en cuanto a origen y calidad y de un tratamiento de lavado para eliminar las impurezas; la impureza más importante que aporta el papel reciclado es la tinta que contiene, y que de no ser separada, produciría papeles oscuros. El tratamiento del papel reciclado sigue los siguientes pasos:

Triturado o desfibrado.

Una vez separada la materia prima según las calidades, se vierte el papel junto con agua en el pulper o desfibrador, donde se tritura para separar las fibras de celulosa. El pulper es una pila circular con un disco ubicado en el fondo que lleva una serie de aletas que sobresalen y que al girar hace que el material se desmenuce y sea evacuado por una cámara de extracción. Por si este proceso no llega a deshacer de forma idónea las fibras, la pasta es tratada en el despastillador. La pasta tiene que pasar por una serie de aberturas que contienen dientes en hileras circulares que se mueven de forma giratoria.

Depuración de la pasta

Como en el proceso de producción de pasta virgen, la pasta que se produce en el pulper tiene que ser depurada ya que puede contener una serie de materiales

impropios que pueden perjudicar el proceso. Para la separación de estos contaminantes se utilizan los mismos procesos que para la producción de pasta virgen: cribado y centrifugación.

Destintado

Puede llevarse a cabo mediante lavado o flotación. En ambos casos, a la pasta se le añaden una serie de productos químicos que hacen que la tinta sea atraída o repelida por el agua, sometiéndola a continuación a diferentes lavados o aireación, lo que la retirada de la tinta

Blanqueo

En función del grado de blancura que se quiere aportar al papel reciclado, la pasta reciclada se blanquea con cloro, hipoclorito o peróxido, o preferiblemente con compuestos oxigenados menos contaminantes. También es habitual que una vez depurada la pasta sea tratada para mejorar la calidad de la misma. En estos casos se añade pasta virgen u otros productos como almidón o colorantes.

Es necesario precisar que el papel no se puede reutilizar indefinidamente, pues cada vez que sufren este proceso, las fibras se debilitan, perdiendo flexibilidad y resistencia; se estima que el papel es inservible después de entre seis y diez ciclos de reciclado, según la calidad inicial.

Comparativa entre tipos de pulpas

Siempre dependiendo del tipo de papel que se desea obtener, la utilización de uno u otro tipo de pulpa es recomendable en términos de eficiencia y coste.

En la tabla que se encuentra a continuación se muestra un resumen de todos los métodos disponibles en la fabricación de pulpas de papel, donde se muestra el nombre común del proceso, el tratamiento mecánico o químico sufrido y el rendimiento típico conseguido, en términos de porcentaje de pulpa obtenido por unidad de masa de madera empleada.

Clasificación de los procesos de producción de pulpa de madera

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
<i>Mecánico</i>				
Tarugos	Madera molida, fría y caliente	Ninguno	Piedra de molino	93-98
Astillas	Refinador mecánico (RMP)	Ninguno	Refinador de disco	93-98
Astillas	Masonite	Vapor	Expansión de vapor	80-90
Astillas	Asplund (fibra burda)	Vapor	Refinador de disco	80-90
Astillas	Termomecánica (TMP)	Vapor	Refinador de disco (presión)	91-95
<i>Quimicomecánica y quimicotermomecánica</i>				
Tarugos	Madera molida vaporizada	Vapor	Piedra de moler	80-90
Tarugos	Madera molida,	Sulfito ácido	Piedra de	80-90

	proceso Decker	(Ca, Na, Mg)	moler	
Tarugos	Madera molida, proceso Fish	Kraft	Piedra de moler	85-90
Tarugos	Madera molida químicamente	Sulfito neutro	Piedra de moler	80-90
Astillas	Sosa fría	Sosa cáustica	Refinador de disco	80-90
Astillas	Sulfito alcalino	Sulfito alcalino	Refinador de disco	80-90
Astillas	Quimicotermodinámica	Vapor + productos químicos	Refinador de disco (presión)	65-85
<i>Semiquímica</i>				
Astillas	Sulfito neutro (NSSC)	$\text{Na}_2\text{SO}_3 +$ $\text{Na}_2\text{CO}_3,$ NaHCO_3	Refinador de disco	65-90
Astillas	Kraft	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	Refinador de disco	75-85
Astillas	Licor verde	$\text{Na}_2\text{S} +$ Na_2CO_3	Refinador de disco	65-85

Astillas	Sosa	Hidróxido de sodio	Refinador de disco	65-85
Astillas	Sin azufre	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$	Refinador de disco	65-85
<i>Químico de alto rendimiento</i>				
Astillas	Kraft (sulfato)	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	Refinador de disco	55-65
Astillas	Sulfito	Sulfito ácido (Ca, Na, Mg)	Refinador de disco	55-70
Astillas	Sulfito	Bisulfito (Na, Mg)	Refinador de disco	55-70
<i>Totalmente químico</i>				
Astillas	Kraft (sulfato)	$\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$	Suave o ninguno	40-55
Astillas	Polisulfuro (una etapa)	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	Suave o ninguno	45—60
Astillas	Polisulfuro (dos etapa)	Pretratamiento o H_2S ; kraft	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Sosa	Sosa cáustica	Suave o ninguno	40-55

Astillas	Sosa-AQ	NaOH + antraquinona	Suave o ninguno	45-55
Astillas	Sosa-oxígeno, dos etapas	NaOH; oxígeno	Refinador de disco	45-60
Astillas	Sulfito ácido	Sulfito ácido (Ca, Na, Mg, NH ₃)	Suave o ninguno	45-55
Astillas	Bisulfito	Bisulfito (Na, Mg, NH ₃)	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Magnefita	Bisulfito de magnesio	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Sulfito neutro	Sulfito neutro	-	45-55
Astillas	Sulfito, multietapas			
	Stora	Sulfito-bisulfito; SO ₂	Ninguno	45-55
	Sivola	Sulfito; sulfito alcalino	Ninguno	45-55
<i>Pulpa para disolver</i>				
Astillas	Prehidrólisis kraft	Prehidrólisis kraft	Ninguno	35

Astillas	Sulfito	Sulfito ácido (Ca, Na)	Ninguno	35
----------	---------	---------------------------	---------	----

[Tabla.3] Clasificación de los procesos de producción de pulpa de madera

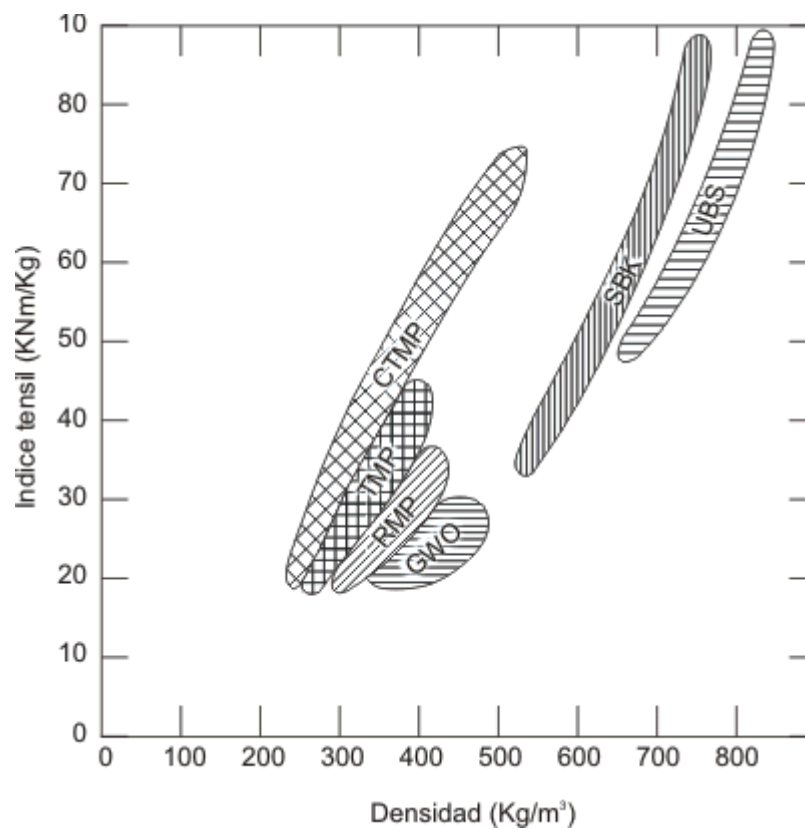
Comparativa de pulpas mecánicas y químicas

En general, la comparación entre los dos grandes grupos de procesado de pulpa, el químico y el mecánico, arroja las siguientes conclusiones

Parámetro analizado	Pulpa mecánica	Pulpa química
Consumo energético	1000 KW/ton pulpa	Autosuficiente
Rendimiento	95%	45%
Tamaño de fibra	Fibras cortas	Fibras largas
Resistencia del papel	Baja	Alta
Costes de producción	Baja	Mayores que pulpa mecánica

[Tabla 4]. Comparativa de pulpas mecánicas y químicas

En cuanto a resistencia mecánica de los tipos de pulpas obtenidas por los métodos discutidos, se puede destacar que las pastas químicas y semiquímicas producen papeles de mayor resistencia, siendo los métodos mecánicos claramente inferiores. En la gráfica se muestra la resistencia del papel en función de la densidad de la propia hoja, y se puede apreciar claramente la ventaja de las pulpas químicas y semiquímicas.



[Figura. 8] Resistencia mecánica a tensión de diferentes pulpas: quimicotermomecánica (CTMP), mecánica con piedra (GWO), refinador mecánico (RMP), termomecánica (TMP), sulfito sin blanquear (UBS) y Kraft semiblanqueada (SBK)

El auge de las pastas químicas a partir de los años 40 y 50 fue espectacular, tendencia que ha persistido hasta nuestros días, debido a sus ventajas y economía, aunque debido al aumento de producción de papel en países subdesarrollados, que no cuentan con la complicada tecnología de producción química, y el gran peso que supone la fabricación de papel de periódico (el cual se realiza en gran parte con pasta mecánica), producen que la producción mecánica no se haya visto relegada al olvido. Además, no hay que olvidar que la Figura 4.10 muestra la producción mundial de pulpa calculada en términos de venta comercial de pulpa, por lo que no se contabiliza la cantidad (muy notable) de pulpa transformada en papel en las propias fábricas de producción de pulpa, pues suelen ser frecuentes las sinergias de este tipo, colocando las fábricas de papel anexas e incluso integradas en las fábricas de pulpa.

Blanqueo de la pulpa de papel

La siguiente etapa en el proceso de obtención del papel es el del blanqueo de la pulpa, siempre que la aplicación final del papel así lo requiera. Durante el blanqueo no solo se eliminan las sustancias coloreadas de la pulpa, sino que se completa el procesado de la pulpa, consiguiendo exactamente las características deseadas en cuanto a cantidades de lignina, hemicelulosa, residuos orgánicos,...

El método más antiguo de obtener papel blanqueado, era someter a las telas, que se utilizaban como materia prima, a decoloración natural mediante exposición a la luz solar. Este método, utilizado comercialmente, era, obviamente muy lento y precario, pues además, el efecto de la radiación ultravioleta producía sobre la tela una acción de debilitamiento que no resulta nada conveniente.

Hasta el siglo XVIII esto era la práctica habitual, pero hacia finales de siglo se disponía de cloro y de hipoclorito, compuestos utilizados a partir de entonces para el blanqueo. Concretamente, el hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) fue el compuesto elegido por su facilidad de preparación y transporte en forma de polvo.

El hipoclorito fue prácticamente el único agente empleado para el blanqueo hasta los años 30 del pasado siglo, al aplicar comercialmente el cloro elemental como agente blanqueador de pulpa. Este procedimiento se reveló muy interesante cuando se aplicó a las pulpas Kraft, las cuales alcanzaban un grado de blancura muy alta, pues la acción del cloro sobre la pulpa es el de eliminar la lignina, compuesto muy abundante en las pulpas Kraft. El principal problema para la implantación del método al cloro era la resistencia de los materiales, lo que se pudo resolver con la aparición del acero inoxidable.

El siguiente paso de vital importancia en el proceso de blanqueo de pastas es la aplicación del dióxido de cloro (Cl_2O). La acción blanqueadora de este compuesto se descubrió en 1920, pero su primera aplicación comercial no tuvo lugar hasta los años cincuenta, pues además de problemas en cuanto a resistencia de materiales, existía el problema de la elevada toxicidad y el riesgo de explosiones (explota a concentraciones en fase acuosa superiores al 15%).

Otros agentes blanqueadores importante son el hidrosulfuro, utilizado para blanquear pulpas mecánicas; hacia mediados de siglo se introdujo también el peróxido, en forma de peróxido de sodio o d hidrógeno.

Un agente blanqueador muy potente también es el oxígeno, pero no fue empleado hasta los años 70; la mayor ventaja radica en que la materia prima es gratuita, pues proviene del aire, pero el proceso de separación puede ser demasiado costoso si no es para fábricas de tamaño considerable. Otro agente que puede ser utilizado es el ozono, pero éste presenta problemas de toxicidad y peligro en el manejo.

La elección del método de blanqueo, además de atender a requerimientos técnicos de efectividad y viabilidad económica y técnica, ha de contar como parámetro de decisión el efecto contaminante sobre el medio ambiente, tanto en vertidos gaseosos como acuosos, y en menor medida, sólidos, ya que los compuestos utilizados como los compuestos residuales de los tratamientos de blanqueo, que son procesos oxidativos, pueden producir intermedios peligrosos y residuos nocivos para la salud humana y del entorno natural, por lo que en la evaluación de alternativas, ha de considerarse el coste de equipos adecuados para el tratamiento de dichos compuestos.

ANEXO 2

2.1 FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CARTON CORRUGADO

El proceso de fabricación de cartón es homogéneo, y siempre se utilizan las mismas materias primas: papel acanalado, papel kraft y semikraft. **Aunque vamos a fabricar muebles, la empresa fabricante será una empresa especializada en cajas de cartón.**

Se describirá el proceso completo, incluyendo impresión, grapado, adhesivos...aunque para los muebles se obviarán ciertos pasos del proceso.

Las escalas posibles de producción que se pueden lograr son:

	Escala (rango de producción)
Microempresa/artesanal:	Hasta 1 ton/día
Pequeña empresa:	De 1 a 3 ton/día
Mediana empresa:	De 3 a 5 ton/día
Gran empresa:	Más de 5 ton/día

[Tabla 5]. Escalas de producción

En cuanto al grado de actualización tecnológica se destaca lo siguiente:

- Microempresa/artesanal:

El proceso de elaboración de cajas de cartón puede ser considerado como tradicional.

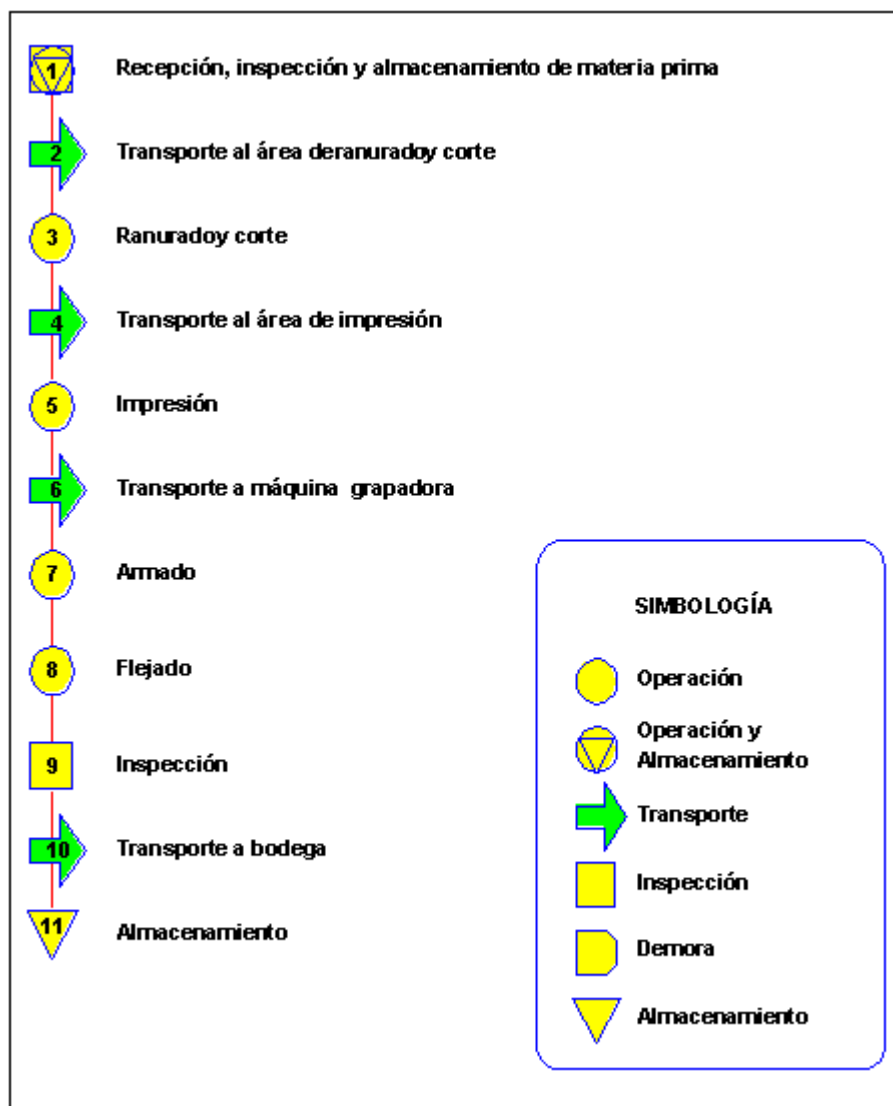
- Pequeña empresa:

El proceso continúa siendo tradicional y para obtener mayores volúmenes de producción se aumenta el número de máquinas y ranuradoras. Esto permite abaratar costos.

Flujo del proceso de producción en una escala de micro empresa/artesanal

Se presenta el flujo del proceso productivo a nivel general, para una fábrica de cajas de cartón.

Sin embargo, éste puede ser similar para otros productos, si el proceso productivo es homogéneo, o para variantes del mismo. Al respecto, se debe evaluar en cada caso la pertinencia de cada una de las actividades previstas, la naturaleza de la maquinaria y el equipo considerado, el tiempo y tipo de las operaciones a realizar y las formulaciones o composiciones diferentes que involucra cada producto o variante que se pretenda realizar.



[Figura. 9] proceso productivo

A continuación, se presenta una explicación del proceso productivo a nivel microempresa/artesanal:

1. Recepción, inspección y almacenamiento de las materias primas.- Las materias primas y materiales auxiliares se reciben y se verifica que cumplan con las características requeridas, posteriormente se almacenan. La materia prima principal son láminas de cartón corrugado de las dimensiones estipuladas, las cuales se presentan flejadas con metal o plástico.

Entre las materias auxiliares se encuentran las siguientes:

- Pigmento a base de almidón, bórax y sosa cáustica el cual se presenta en botes o tambos de diferentes capacidades.
- Tintas de aceite o agua para impresión de las cajas.
- Grapas, flejes de acero o plástico y cordel de ixtle.

El almacén debe tener una temperatura media y humedad relativa.

2. Transporte al área de ranurado y corte.- Las láminas de cartón corrugado se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina ranuradora.

3. Ranurado y corte.- Una vez que las láminas de cartón se encuentran al pie de la máquina ranuradora se procede a realizar el desfleje de las láminas usando para esta parte del proceso unas pinzas de corte o alicates. Después de esto se ranuran y cortan las láminas de cartón.

Por medio de la máquina ranuradora, las láminas de cartón son ranuradas de modo que se doble a lo largo de líneas trazadas, teniéndose cuidado de que el cartón en la ranura no quede cortado, sino solamente quebrado. Las ranuras se realizan en los lugares indicados por un patrón que tendrá a la vista el operador de la ranuradora. Inmediatamente después se le aplican al cartón, los cortes necesarios para que quede lista para su armado.

4. Transporte al área de impresión.- Las cajas de cartón se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina impresora.

5. Impresión.- Se entiende por impresión un logotipo o un trabajo en tinta (serigrafía) que identifique una marca comercial determinada. Este tipo de presentación se hace dependiendo de las necesidades y la información que cada cliente requiera para su producto.

Las tintas más comunes en la impresión de las cajas son rojo, azul, verde, negro y café, ya sean de aceite o de agua.

Para efectuar la impresión existen un sin fin de procedimientos, desde la serigrafía manual, hasta la utilización de máquinas sofisticadas de impresión.

6. Transporte a máquina grapadora.- Las cajas ya impresas se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina grapadora.

7. Armado.- En esta máquina se engrapan las cajas. Existen dos procedimientos:

Automático.- El operador solamente alimenta cajas en bloque y la máquina aplica la grapa con la presión y distancia dada.

Semiautomática.- El operador alimenta y direcciona cada caja y la máquina aplica la grapa con la presión y distancia dada.

La grapadora realiza la operación de armado de las cajas mediante la unión (cuando se requiere) de los extremos longitudinales de éstas con grapas. Después se flejan las cajas desarmadas con flejes de acero o plástico.

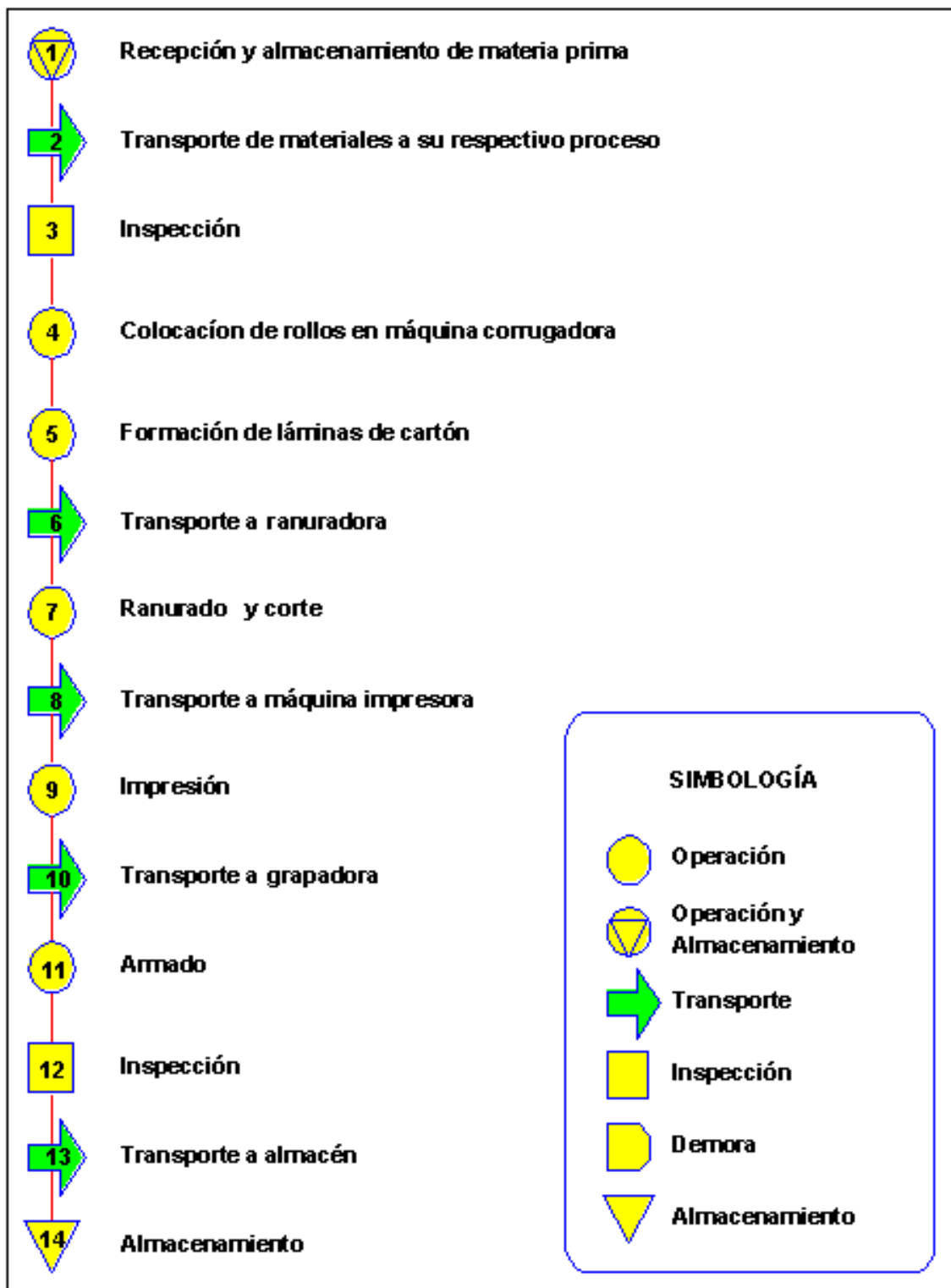
8. Flejado.- Se flejan las cajas desdobladas con tiras metálicas o de plástico.

9. Inspección.-Se verifica que las operaciones anteriores estén de acuerdo a las especificaciones.

10. Transporte a bodega.- Las cajas terminadas se transportan por medio de plataformas rodantes a la bodega.

11. Almacenamiento.-El producto terminado se almacena y de ahí se suministra a embarques para su empaque, embalaje y/o empaletizado.

Flujo del proceso de producción en una escala de pequeña empresa:



[Figura. 10] flujo de proceso de producción

1. Recepción y almacenamiento de materia prima.- Las materia primas y materiales auxiliares se reciben y guardan en el almacén de materia prima.

En la fabricación de cajas de cartón corrugado la materia prima básica es el papel kraft o semikraft. El kraft está hecho únicamente de celulosa nueva, mientras que el semikraft es una mezcla de celulosa y desperdicios de papel.

En calidad el papel kraft es mejor por su resistencia a la carga y tiene un mayor precio.

El papel se clasifica también, por su aplicación, en "liner" o "medium". El "liner" forma la capa exterior del cartón (flauta o corrugado).

Los gramajes de papel más utilizados en la elaboración de cajas de cartón corrugado varían en lo que respecta al tipo de cartón liner entre 100 y 400 gr./ m² y en el medium entre 120 y 180 gr/m², generalmente para el medium se usa únicamente papel semikraft y para el liner el kraft o también el semikraft.

El papel se recibe en forma de bobinas de ancho entre 1.90 y 2.15 m. y de diámetro entre 1.10 y 1.27 m. El peso de las bobinas varía entre 1,300 y 1,569 kg.

Se utiliza también pegamento a base de almidón o bórax y sosa cáustica, los cuales se presenta en botes o tambos de diferentes capacidades.

Se reciben también tintas de aceite o de agua para la impresión de las cajas.

Se utilizan además grapas, flejes de acero y de plástico, así como cordel de ixtle.

La materia prima que requiere de ciertos cuidados en su almacenamiento son las pinturas y algunos silicones debido a su carácter de inflamables. El almacén de materias primas debe tener una temperatura media y humedad relativa.

2. Transporte de materia prima a su respectivo proceso.- Las materias primas se transportan por medio de montacargas y de plataformas rodantes a su proceso respectivo.

3. Inspección.- Se verifica que los papeles usados en la fabricación de las cajas de cartón cumplan con las especificaciones de gramaje y que sea el papel que se requiere (kraft o semikraft).

4. Colocación de rollos en máquina corrugadora.- El rollo de papel se coloca en la máquina corrugadora y se corta con navaja, la parte inicial que está adherida, alimentando con esta parte a la máquina, la cual jalará el papel automáticamente durante todo el proceso de corrugado.

El papel dentro de la máquina pasa por una primera fase donde se le aplica humedad, por medio de vaporizadores, los cuales tienen una temperatura de 170°C.

El papel, en seguida, pasa por una segunda fase donde se le une internamente, una hoja del corrugado o flauta; pasa a una tercera fase donde se elabora la lámina de cartón mediante la adhesión, por medio del pegamento, de 3 papeles, dos liners (papeles exteriores) y un medium (papel corrugado) para el caso de cartón doble. Después de esto el cartón pasa por una última fase donde es secado por temperatura y cortado según las dimensiones requeridas.

Todo lo anterior se realiza internamente en la máquina corrugadora, obteniendo a su salida piezas rectangulares de cartón corrugado o láminas de cartón.

5. Formación de laminas de cartón.- El papel dentro de la máquina pasa por una primera fase donde se le aplica humedad, con vaporizadores a una temperatura de 170 ° C.

El papel, en seguida pasa por una segunda fase donde se le une internamente el corrugado o flauta; pasa a una tercera fase donde se elabora la lámina de cartón mediante la adición, por medio del pegamento de tres papeles, dos liners (papeles exteriores) y un medium (papel corrugado) para el caso de cartón sencillo; o bien, tres liners y dos mediums para el cartón doble. Después de esto el cartón pasa por una última fase donde es secado por medio de temperatura y cortado según las dimensiones requeridas.

Todo lo anterior se realiza internamente en la máquina corrugadora, obteniendo a su salida piezas rectangulares de cartón corrugado o láminas de cartón.

6. Transporte a ranuradora.- Las láminas de cartón corrugado se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina ranuradora.

7. Ranurado.- Por medio de la máquina ranuradora las láminas de cartón son ranuradas de modo que se doble a lo largo de líneas trazadas, teniéndose cuidado de que el cartón en la ranura no quede cortado, sino solamente quebrado. Las ranuras se realizan en los lugares indicados por un patrón que tendrá a la vista el operador de la

ranuradora, inmediatamente después se le realizan al cartón los cortes necesarios para que quede lista para su armado.

8. Transporte a máquina impresora.- Las cajas de cartón se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina impresora.

9. Impresión.- Se entiende por impresión un logotipo o un trabajo en tinta (serigrafía) que identifique una marca comercial determinada. Este tipo de presentación se hace dependiendo de las necesidades específicas y con la información que cada cliente requiera para su producto.

Las tintas más comunes en la impresión de las cajas son rojo, azul, verde, negro y café, ya sean de aceite o de agua.

Para efectuar la impresión existen un sin fin de procedimientos, desde la serigrafía manual, hasta la utilización de máquinas sofisticadas de impresión.

10. Transporte a grapadora.- Las cajas ya impresas se transportan por medio de plataformas rodantes a la máquina grapadora.

11. Armado.- En esta máquina se engrapan las cajas. Existen dos procedimientos:

Autómático.- El operador solamente alimenta cajas en bloque y la máquina aplica la grapa con la presión y distancia dada.

Semiautomática.- El operador alimenta y direcciona cada caja y la máquina aplica la grapa con la presión y distancia dada.

La grapadora realiza la operación de armado de las cajas mediante la unión (cuando se requiere) de los extremos longitudinales de éstas con grapas.

Después se flejan las cajas desarmadas con flejes de acero o plástico.

12. Inspección.- Aquí se verifican las características que deben tener las cajas de cartón de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.

13. Transporte a almacén.- Las cajas terminadas se transportan por medio de plataformas rodantes al almacén de producto terminado.

14. Almacenamiento.- El producto terminado se almacena y de ahí se suministra a embarques para su empaque, embalaje y/o empaletizado.

Un día tradicional de operaciones

El proceso productivo para la fabricación de cajas de cartón se realiza de forma continua y coordinada, en el cual se recomienda que la pequeña empresa trabaje un turno iniciando labores a las 8:00 hrs. Y destinando una hora para que tomen sus alimentos los empleados.

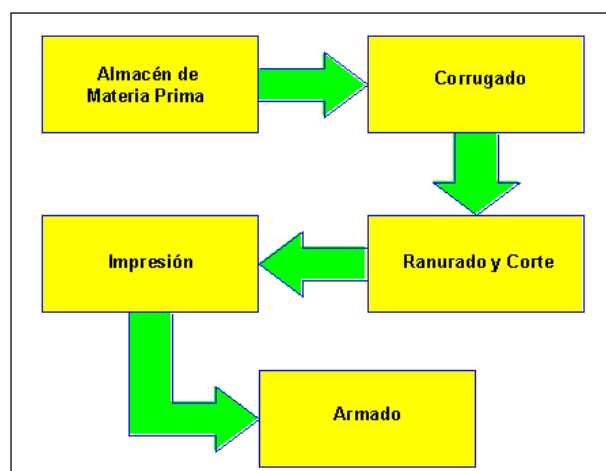
Al finalizar la jornada se destina un tiempo específico para la limpieza de las áreas, equipo y maquinaria, actividad que debe ser realizada por los propios operadores de los equipos.

Distribución Interior de las Instalaciones:

Los factores a considerar en el momento de elaborar el diseño para la distribución de planta son:

- a) Determinar el volumen de producción
- b) Movimientos de materiales
- c) Flujo de materiales, y
- d) Distribución de la planta.

Se recomienda utilizar, como esquema para la distribución de instalaciones, el flujo de operaciones orientado a expresar gráficamente todo el proceso de producción, desde la recepción de las materias primas hasta la distribución de los productos terminados, pasando obviamente por el proceso de fabricación.



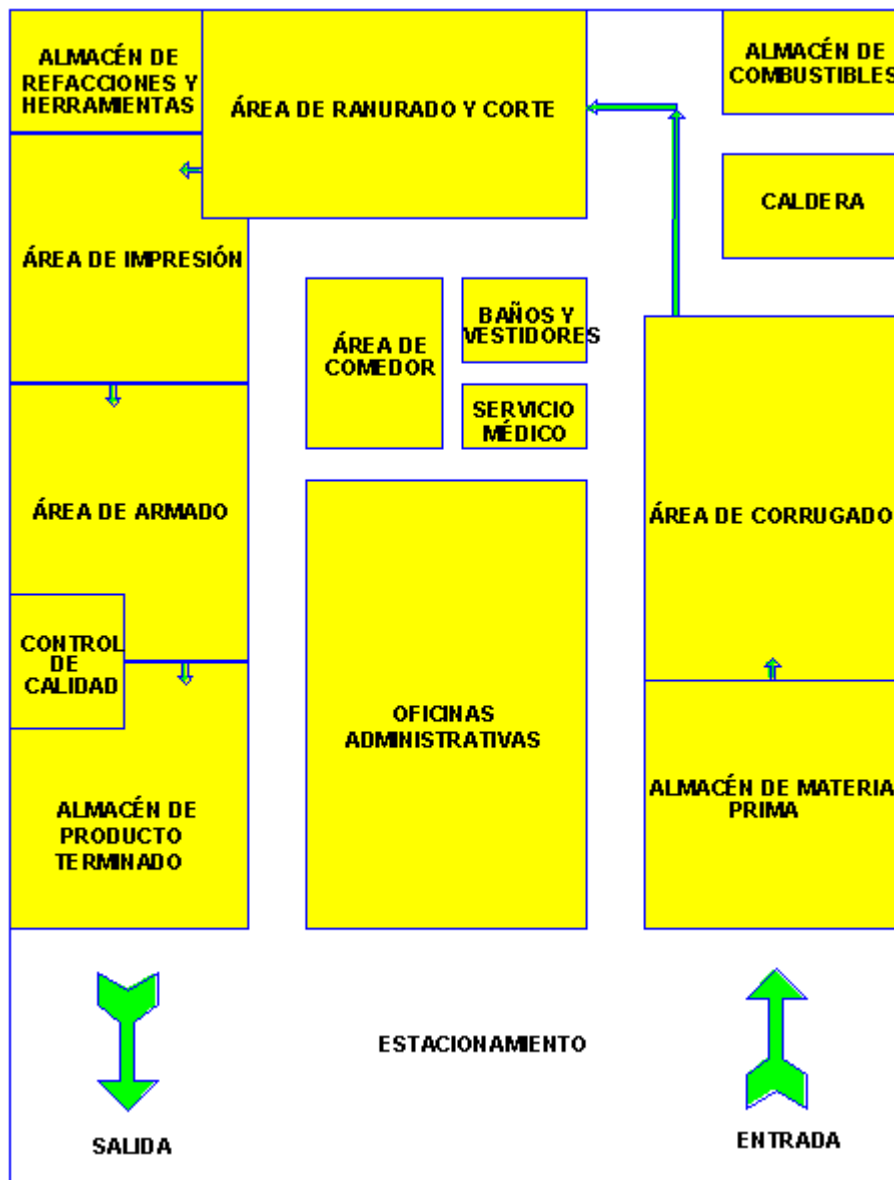
[Figura. 11] Flujo de materiales

Además de la localización, diseño y construcción de la planta es importante estudiar con detenimiento el problema de la distribución interna de la misma, para lograr una disposición ordenada y bien planeada de la maquinaria y equipo, acorde con los desplazamientos lógicos de las materias primas y de los productos acabados, de modo que se aprovechen eficazmente el equipo, el tiempo y las aptitudes de los trabajadores.

Las instalaciones necesarias para una pequeña empresa de este giro incluyen, entre otras, las siguientes áreas:

- Almacén de materia prima
- Almacén de combustible
- Almacén de refacciones y herramientas
- Almacén de producto terminado
- Area de corrugado
- Area de caldera
- Area de ranurado y corte
- Area de armado
- Impresión
- Control calidad
- Comedor
- Baños y vestidores
- Servicio médico
- Oficinas administrativas

Ejemplo de la distribución interna de las instalaciones de la planta:



[Figura.12] distribución interna de las instalaciones de la planta

Determinación de costos y márgenes de operación:

El estudio de los costos de operación es la piedra angular en toda clase de negocios, ya que permite no sólo la obtención de resultados satisfactorios, sino evitar que la empresa cometa errores en la fijación de los precios y que esto derive en un resultado negativo.

En la determinación de los costos, se debe tomar en cuenta que su valor cambia por posibles fluctuaciones en los precios o por diversos grados de utilización de la capacidad instalada.

En términos generales, el precio se puede establecer por debajo o por encima del de la competencia o ser igual al de ella.

El costo del producto final deberá estar integrado por:

Papel semikraft, pegamento y grapas	50 %
Mano de obra indirecta y directa	23 %
Impuestos y seguros	10 %
Servicios, renta y mantenimiento	5 %
Depreciación de equipo y maquinaria	10 %
Imprevistos y gastos varios	2 %
TOTAL	100 %

[Tabla 10]. Costo final

A los costos anteriores se debe agregar un margen de utilidad y una vez obtenido el precio del producto final, ponderar en relación con el precio de los productos similares en el mercado y la situación de oportunidad (oferta - demanda).

Distribución del producto:

La importancia del sistema de distribución se subestima muchas veces a pesar de que impacta en los volúmenes de venta y de que se refleja en un mal aprovechamiento del potencial del mercado, así como en acumulaciones excesivas de inventarios que, en otras consecuencias, incidirán en la rentabilidad del capital.

Los canales de distribución de las empresas en el giro son a través de comerciantes, intermediarios y detallistas. Asimismo, se distribuye directamente a empresas industriales que utilizan las cajas de cartón para embalar sus productos.