

Ahora, para hacernos una idea de todos los productos químicos que se pueden obtener de la madera vamos a ver un esquema general:

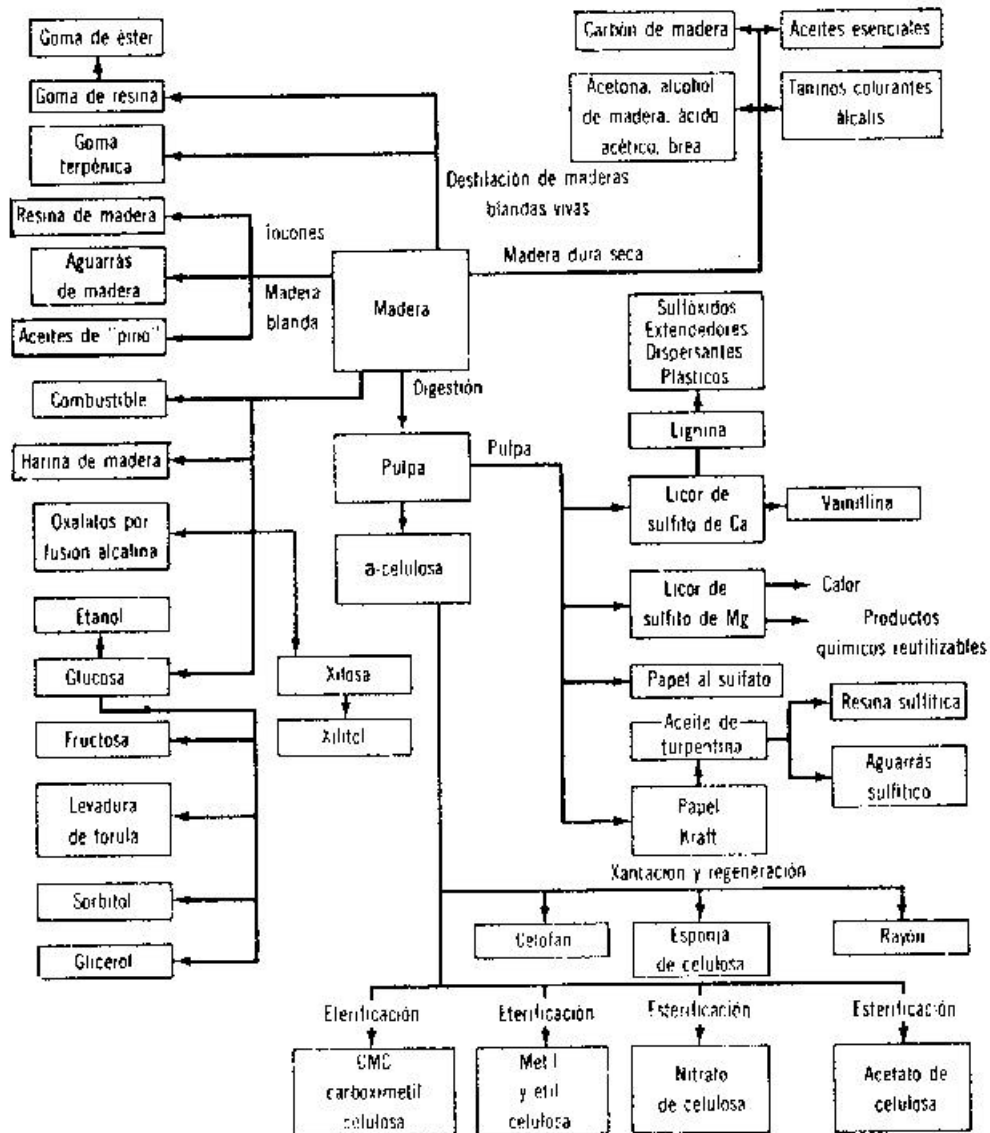


Fig. 32.5. Productos químicos de madera.

# **SEGUNDA PARTE: EL PAPEL**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El papel es un material en forma de hojas delgadas que se fabrica entretejiendo fibras de celulosa vegetal. El papel se emplea para la escritura y la impresión, para el embalaje y el empaquetado, y para numerosos fines especializados que van desde la filtración de precipitados en disoluciones hasta la fabricación de determinados materiales de construcción. El papel es un material básico para la civilización del siglo XX, y el desarrollo de maquinaria para su producción a gran escala ha sido, en gran medida, responsable del aumento de los niveles de alfabetización y educación en todo el mundo.

## **2. HISTORIA**

El hombre en su inquietud por comunicarse con sus semejantes y dejar constancia de su paso por el mundo, es posible que comenzara utilizando la corteza de los árboles para grabar y escribir y luego siguió haciéndolo en piedras, tablas de yeso y madera. Más tarde en Egipto, se empezó a usar el papiro hecho a base de fibras de plantas entretejidas y pegadas. Después se sustituyó el papiro por el pergamino (piel de animal pulida, preparada y secada).

Pero el papel propiamente dicho fue inventado en China hacia el año 105 de nuestra era. Aquí el papel original se hacía con trapos, fibra de corteza y bambú. Los trozos de bambú se remojabán durante más de 100 días y después se hervían en una lechada de cal durante casi 8 días para liberar las fibras. El papel más antiguo conservado se fabricó con trapos alrededor del año 150.

Durante 500 años, el arte de la fabricación de papel estuvo limitado a China, y fue introducido en Europa después de que los árabes apresaran algunos artesanos chinos. Finalmente el procedimiento pasó a Europa por España donde la primera fábrica de papel se estableció alrededor de 1150.

La invención de la imprenta en el siglo XV, propició la multiplicación de las fábricas de papel, y la progresiva difusión de la literatura impresa estimuló la inventiva para obtener mejores y más baratas calidades de papel, de ahí que en los siglos XVII y XVIII se realizaran numerosos intentos de reducir el coste de papel mediante el desarrollo de una máquina que reemplazara al proceso de moldeado a mano en la fabricación de papel.

Así la primera máquina efectiva fue construida en 1798 por el francés Nicholas Robert. Esta máquina fue mejorada por los hermanos británicos Henry y Sealy Fourdrinier, que en 1803 fabricaron la primera de las máquinas que llevan su nombre. Entonces, con el aumento de la demanda de papel, surgió la escasez de trazo (que era lo que en aquella época se empleaba como materia prima en la fabricación de papel), por lo que se ideó un proceso mecánico para hacer pulpa de madera (es decir, utilizando la madera como materia prima), pero la calidad del papel era mala. Por lo que se continuó investigando

en este campo y ya en 1851, Watt y Burgess desarrollaron el primer proceso químico (el proceso soda). A partir de aquí los experimentos se fueron sucediendo y en 1857 Tilghman consiguió la patente para el proceso de sulfito, y el proceso kraft se derivó de los experimentos realizados por Dahl en 1884.

En la actualidad siguen estando vigentes estos procesos para la obtención de la pulpa de papel, aunque con ciertas variantes lógicamente, pero con la idea básica de hace 100 años.

### **3. MATERIALES**

Para la fabricación del mejor papel todavía se utilizan trapos, sobre todo para el elaborado a mano. Las fibras herbáceas, lino, hierbas y otras plantas, son también fuente de materia prima, así como la paja. Pero en la actualidad, más del 95% del papel que se produce se obtiene de la pulpa de la madera (celulosa de madera).

La fabricación de papel se realiza casi exclusivamente con fibras de vegetales celulósicas. Tales fibras varían en magnitud y forma, pero todas ellas son huecas, como tubos cerrados por los extremos y a veces algo cónicas. En su estado natural permanecen unidas por diversas sustancias, principalmente lignina (contrariamente a la celulosa, la lignina es difícilmente biodegradable), que normalmente es preciso disolver y eliminar; este se lleva a cabo mediante un tratamiento químico y posterior lavado de la pulpa.

Por lo tanto actualmente la principal materia prima empleada es la madera. Las especies de madera más utilizadas son:

- Coníferas (pinos, abetos): Se utilizan en fabricación de pasta química al sulfato, pasta mecánica y mecanoquímica. Se les llama de fibra larga o resinosas.
- Frondosas (hayas): La especie más empleada es el eucalyptus. Se emplea para procesos al sulfato. Se las llama de fibra corta.

Como se puede apreciar, tanto la madera dura (de árboles de hoja caduca hayas)), como la blanda (de coníferas) se emplean para hacer papel, pero se prefiere la blanda porque tiene las fibras largas.

En cuanto a la corteza no se puede usar porque no es fibrosa y es difícil de blanquear. La corteza se elimina en las fábricas de pulpa por uno de dos métodos de descortezamiento: El primero raspa la corteza para quitarla utilizando la fricción entre los troncos de madera rodándolas en un tambor cilíndrico rotativo. La corteza se transporta en una corriente de agua, se cuele y generalmente se quema. Una compañía en Oregón recupera cera y un material parecido al corcho de la corteza. El segundo es el método hidráulico de descortezado, que es el más empleado. En éste, un chorro de agua a alta presión se dirige tangencialmente al tronco (con una presión de alrededor de 10 MPa) descortezándolo limpiamente, rompe la corteza y se la lleva por un canal. La corteza recuperada se comprime antes de quemarla para reducir el contenido de agua y facilitar la combustión.

## 4. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PASTA

El objetivo de los procesos de obtención de la pulpa (producto intermedio en la manufactura de papel y cartón) es la separación de fibras de celulosa de la madera, para ello hay que librar dichas fibras de la matriz de lignina que las une, manteniendo intactas las celulosas y de esta manera aumentar el rendimiento de fibras utilizables.

Las propiedades de los productos terminales, papeles y cartón, dependerá de las propiedades de las pulpas utilizadas en su manufactura. Estas variarán a su vez con las especies de fibras de distintas maderas, así como del proceso empleado en la obtención de pulpa.

Hay muchos procesos y variaciones de procesos básicos que se pueden usar para hacer pulpa de madera. Algunos funcionan mejor con madera blanda que con la dura; otros proporcionan rendimientos altos de papeles de menor calidad. Así, la producción de pulpa se logra por medios químicos o mecánicos, o por combinación de los dos procesos, ya que las fibras se pueden separar **mecánicamente** o por disolución de la lignina por medios **químicos**.

### 4.1 PROCESOS QUÍMICOS:

El aislamiento de fibras de celulosa se realiza consumiendo reactivos químicos para disolver la lignina.

Con estos procesos las ligninas y hemicelulosas se pierden, por lo que los rendimientos no pasan del 40 al 60%. En cambio, las fibras se blanquean mejor y son más resistentes y de mayor calidad. Los métodos químicos se dividen en ácidos o alcalinos, según el pH del reactivo. Los primeros son más enérgicos, la separación de la celulosa es mejor y se puede aplicar para fines químicos y para obtener papeles de buena calidad. Tienen el inconveniente de que no pueden emplearse con maderas resinosas, pues a pH bajos, los fenoles y ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y coloreados que manchan la pasta. En los métodos alcalinos, por el contrario, esas sustancias se eliminan en las lejías residuales en forma de sales o fenolatos solubles. Esta es una de las razones por las que en un 80% se utilice el proceso kraft.

#### ***PROCESO KRAFT***

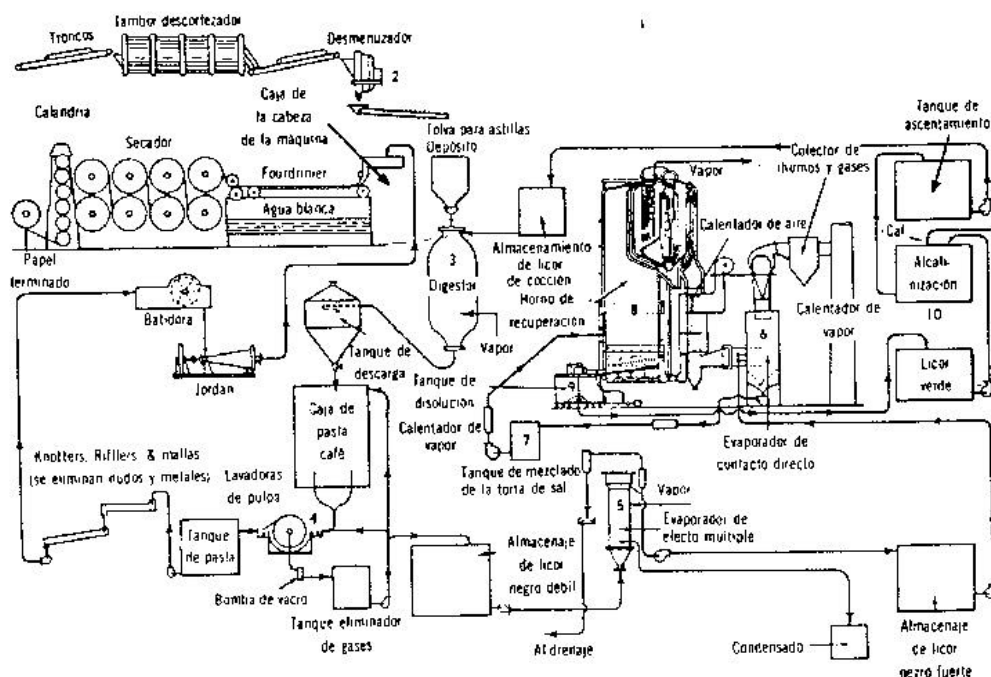
El proceso kraft (del alemán kraft=fuerte, resistente; que es la cualidad que poseen este tipo de pulpas) o de sulfato, es de tipo alcalino y es con el que se obtiene la mayor cantidad de pulpa que se fabrica actualmente. Es la superación del proceso obsoleto de soda que actuaba con una solución fuerte (12%) de NaOH y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, y que proporcionaba bajos rendimientos y sólo funcionaba bien con maderas duras de fibra corta.

Recibe el nombre de proceso con sulfato porque se añade Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (en el de soda se añadiría Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al licor de cocimiento del proceso. Sin embargo, la cocción se hace

con una solución que contiene  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaOH}$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  formado del sulfato durante la preparación y recuperación del licor para la cocción.

Aunque se pueden cocer todo tipo de maderas por el proceso kraft y las fibras obtenidas son blanqueables y fuertes, es muy importante que las soluciones utilizadas se puedan recircular y regenerar, para reducir o eliminar el problema de la contaminación de los ríos. Las sustancias odoríferas que se desprenden durante la cocción son fuertes contaminantes del aire y difíciles de controlar.

Este proceso de fabricación consta de las siguientes etapas:



Para producir una tonelada de pulpa seca se necesitan los siguientes materiales:

Madera	1.5-2 t	Vapor	6500 kg
Cal nueva	250 kg	Electricidad	900 MJ
Ceniza de soda	125 kg	Mano de obra directa	5.5 horas de trabajo

- DESCORTEZADO Y DESASTILLADO PREVIO DE LOS TRONCOS:** Los troncos se cortan al tamaño conveniente y se descortezan como ya se describió, luego se llevan a la troceadora, en donde grandes discos giratorios con cuchillas pesadas reducen la madera a astillas de tamaño preseleccionado. Las astillas se clasifican sobre mallas vibratorias para separar las demasiado grandes, las de tamaño adecuado y el aserrín. Las astillas grandes se mandan a retroceadoras para reducir las al tamaño adecuado.
- COCCIÓN EN DIGESTORES ALIMENTADOS CON VAPOR:** En el digestor se utilizan como reactivos solubilizantes de la lignina el  $\text{NaOH}$  y el  $\text{Na}_2\text{S}$ . Entonces a causa de las reacciones de hidrólisis y solubilización

de la lignina se liberan las fibras de celulosa, pero la hidrólisis también libera mercaptanos y sulfuros orgánicos, que son los responsables de los malos olores.

Cuando las astillas entran al digestor, se les da un tratamiento previo con vapor de aproximadamente 100 kPa, volatilizando el aguarrás y los gases incondensables. Luego pasan a una zona de impregnación de presión mayor a más o menos 900 kPa, donde se ajusta su temperatura y encuentran el licor de cocimiento. El tiempo de cocción es de 1.5 horas a 170°C. Una corriente de licor de cocción frío detiene rápidamente la reacción de cocción. Y a continuación y también en el digestor, se procede a realizar un lavado de las astillas, reduciendo el contenido químico de éstas y reduciéndose la presión, produciendo vapor de evaporación instantánea que se emplea para el tratamiento previo con vapor de las astillas que entran.

- **PASTA CAFÉ:** El contenido del digestor, es decir, las astillas con el licor que se les adhiere (pasta café), pasan a un tanque de descarga. Y de aquí esta pasta es trasladada a lo que se llama caja de pasta café, donde se lleva a concentraciones muy bajas, utilizando lejía negra diluida.
- **LAVADO:** En la sección de lavado, se lava la pasta mediante un sistema de filtración a vacío y en contracorriente. Después esta pasta pasa a la sección de depuración y espesado donde como líquido filtrado se obtiene la lejía negra diluida (con sulfato sódico, carbonato sódico y materia orgánica).
- **PRODUCTOS:** El licor de cocción filtrado (lejía negra diluida), está ahora listo para su tratamiento de recuperación de su contenido químico y su consiguiente reutilización. La pulpa lavada se depura y concentra en un espesor enviándose a blanqueo o fábrica de papel.

Después del blanqueo (en caso de que lo haya), la pulpa se lava y se vuelve a espesar en preparación para hacer hojas gruesas lo suficientemente secas para hacer bultos, almacenarlas y embarcarlas; a estas hojas se les llama láminas. También se puede hacer papel directamente con la pulpa.

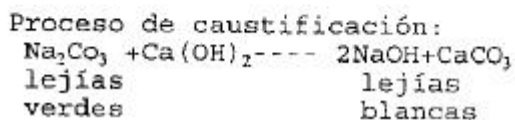
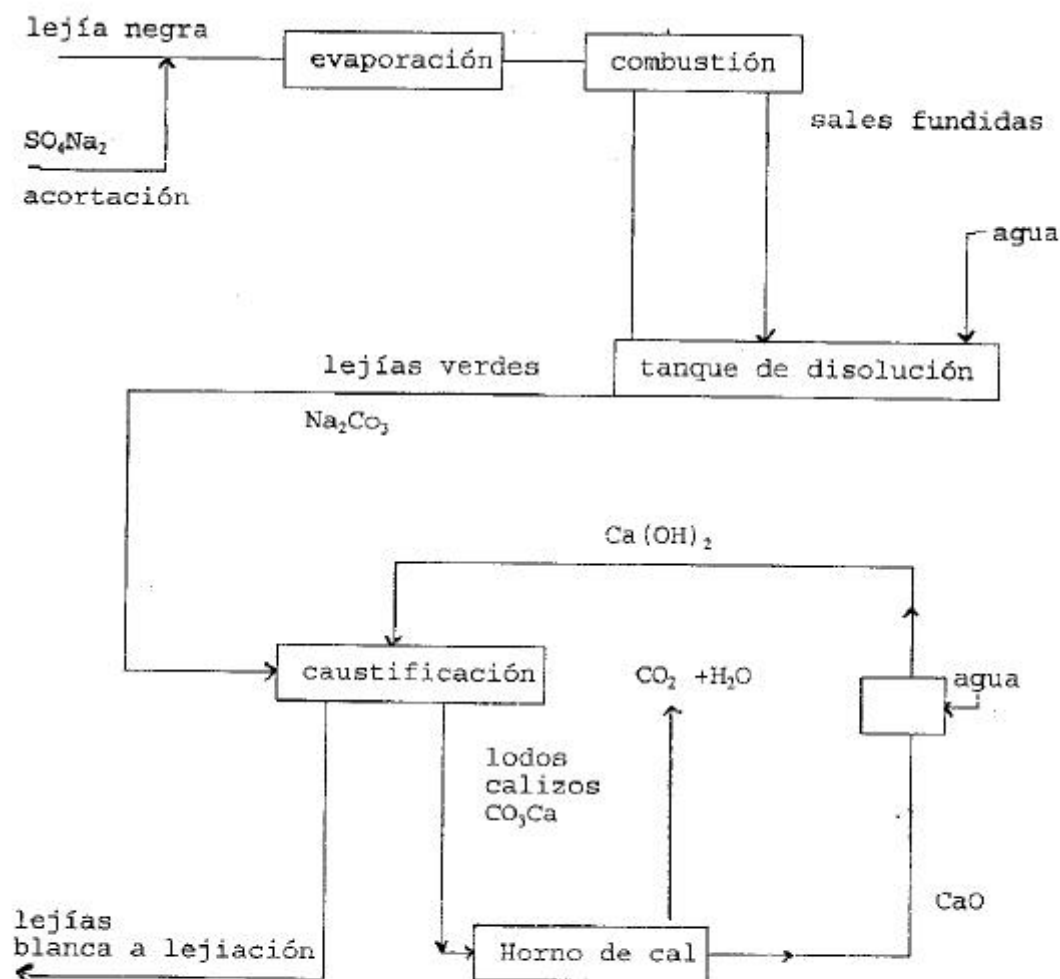
La pulpa kraft, hecha con madera de coníferas, tiene las fibras más largas de todas las pulpas. Esto, unido al hecho de que las materias químicas empleadas no son tan fuertes en su acción como las utilizadas en otras pulpas químicas, hace posible que se produzcan papeles muy fuertes. Aunque en el pasado, el color oscuro del papel kraft limitó su empleo a papeles para envolver, bolsas y cartón.

### *RECUPERACIÓN DEL LICOR NEGRO*

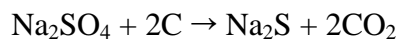
Un proceso esencial para el proceso kraft es la recuperación del licor gastado del proceso de cocción. Este proceso es más difícil de llevar a cabo económicamente que el proceso mismo de obtención de la pulpa.ooooo

El licor negro eliminado de la pulpa en el lavador de pulpa contiene el 95 o 98% de los productos químicos cargados al digestor. Los compuestos orgánicos de azufre están presentes en combinación con sulfito de sodio. Hay también carbonato de sodio, así como pequeñas cantidades de sulfato de sodio, sal, sílice y trazas de cal, óxido de hierro, alúmina y potasio. Los sólidos son generalmente del orden del 20%.

El proceso de recuperación de lejías seguiría la siguiente secuencia:



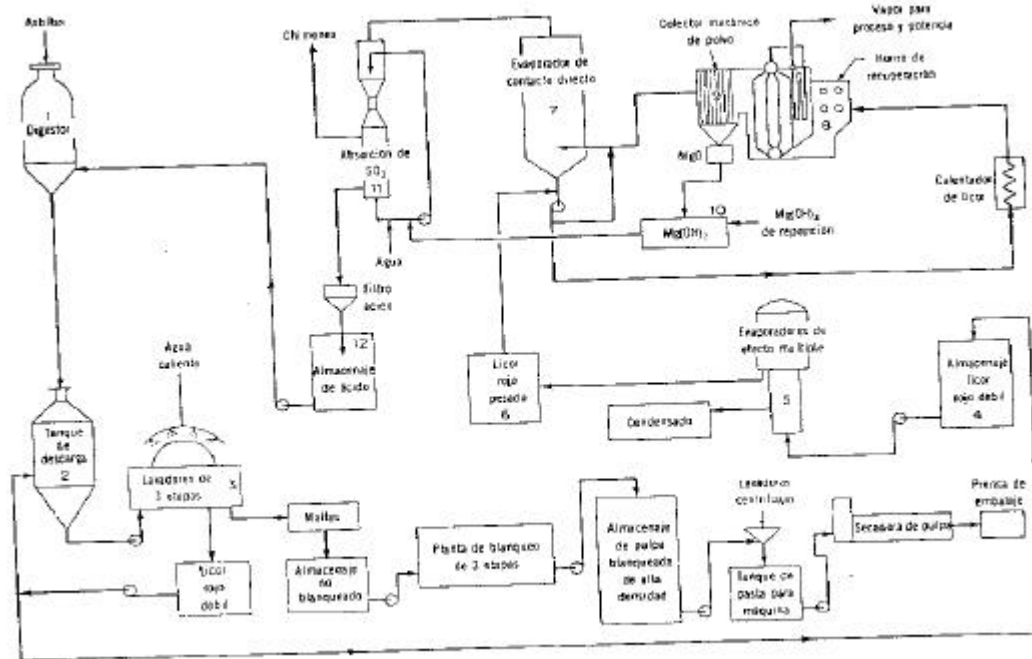
El licor negro procedente de los lavadores de pulpa se concentra en evaporadores de múltiple efecto. Este concentrado es rociado directamente a un horno de recuperación de reactivos donde se quema la materia orgánica mediante combustión y tiene lugar la reducción del sulfato a sulfito, produciéndose vapor y una mezcla de sales fundidas o escoria:



El carbón (agente reductor) viene de las sustancias orgánicas de la madera.



Las condiciones de cocción en el digestor dependen de la naturaleza de la madera, la composición del ácido y la calidad de pulpa cargada. La presión varía desde 480 hasta 1100 kPa, dependiendo del tipo de planta. El tiempo y la temperatura van desde 6 a 12 horas y de 170 a 176°C.



Una vez realizada la correspondiente digestión en las condiciones fijadas, el contenido del digestor (1) se pasa a un tanque de descarga (2) grande y redondo con un fondo falso y equipado con los medios para lavar la pulpa con agua fresca, y desde aquí la pulpa se bombea a una serie de mallas (3), donde se eliminan los nudos y grandes hacimientos de fibras. El producto aceptado de las mallas se envía a centrífugas para eliminar materias extrañas. La pulpa relativamente pura se concentra en espesadores. El agua pasa y la pulpa se retiene en la malla.

La pulpa se envía luego a los blanqueadores, donde se introduce dióxido de cloro. Cuando se agota el cloro se añade lechada de cal para neutralizar la masa. La pasta se lava, se espesa y se envía a los tanques de pasta de la máquina. La pulpa de los tanques se transforma en láminas con un contenido aproximado de 35% de fibra base seca, y las láminas se secan y se empaquetan como producto con 80 a 90% de fibra seca.

La pulpa de sulfito es un tipo de alta calidad que sirve para fabricar algunos de los papeles más finos. Es fácil de blanquear, pero las fibras son débiles y el proceso se empezó a reemplazar tan pronto como el proceso de blanqueo con  $\text{ClO}_2$  hizo práctico el blanqueo del método kraft, de ahí que la cantidad de pulpa obtenida con este proceso disminuya constantemente. Actualmente genera menos del 10% de la producción de pulpa química para papel.

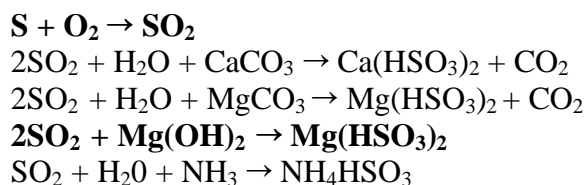
## LICOR DE DESECHO DEL PROCESO AL SULFITO

Al inicio del desarrollo de la pulpa sulfítica, hemos hecho referencia al bisulfito de calcio como alimentación al digestor, pero el licor residual del proceso al sulfito basado en calcio no permite ni la recuperación ni la reutilización del contenido de Ca ni del S, de ahí que se detuviera la práctica común de emplear la base de calcio y tirar el licor residual en un río cercano (tanto por motivos medio ambientales como por la necesidad de recuperar los productos químicos costosos).

El sodio también se ha intentado utilizar para sustituir al calcio como base para el proceso de obtener pulpa en forma limitada, pero no es posible volver a emplear el licor residual del proceso de sulfito de sodio debido a que el sulfito de sodio no se descompone para formar dióxido de azufre, pero en cambio el sulfito de magnesio sí lo hace. Con lo nos encontramos con que únicamente la base de magnesio es manejable fácil y convenientemente, lo que explica por qué es preferido.

En vista de que disponer del licor residual (más de la mitad de las materias primas que entran al proceso aparecen aquí como sólidos orgánicos disueltos) crea un serio problema de contaminación o utilización, la cal se sustituye por un lodo de óxido de magnesio, lo que hace posible la recuperación de energía y sustancias químicas al mismo tiempo que se soluciona el problema de disposición del licor residual. Por lo que el proceso de sulfito más nuevo y más aceptable desde el punto de vista técnico, es el basado en bisulfito de magnesio, ya que produce mayor concentración de dióxido de azufre combinado y más activo, sin peligro de precipitación con separación y disolución más rápida de los componentes no celulósicos de la madera (lignina y hemicelulosa).

Las reacciones esenciales que se efectúan durante la preparación del licor de cocción son relativamente sencillas :



El proceso a grandes rasgos ilustrado en la figura vendría a ser el siguiente :  
Tras lavar la pulpa en los lavadores de 3 etapas, por un lado obtendríamos la pulpa que convertiríamos en láminas (su proceso ya está explicado), y por otro obtendríamos el llamado licor débil rojo de cocción, que se evaporaría en los evaporadores (5) y (7), y se quemaría en una caldera (para proporcionar vapor) (8,9). Con esto se forman MgO y dióxido de azufre. El MgO se apaga con agua (10) y se bombea a la torre de enfriamiento y acidulación (11) (donde se lleva a cabo la absorción del gas en el agua) en donde se pasa el dióxido de azufre (obtenido en la caldera y enfriado posteriormente) para formar licor de bisulfito fresco ( $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$ ) (12).

El licor final, que se carga a los digestores, es una solución de bisulfitos de calcio, magnesio o amonio, que tiene alrededor de 4.5% de dióxido de azufre « total » y 3.5% de dióxido de azufre « libre » (suma del ácido sulfuroso y la porción que requiere álcali para convertir un disulfito en sulfito neutro).

### *CONCLUSIONES SOBRE LA PULPA AL SULFITO :*

La pulpa al sulfito goza de las siguientes ventajas :

- Bajo costo de los reactivos que se necesitan para la cocción
- Alta blancura de las pulpas planqueadas y facilidad de blanqueabilidad de las pulpas con los agentes relativamente simples para su blanqueo.

Sin embargo también tiene sus desventajas como son :

- Sólomente se puede producir pulpa de unas especies leñosas determinadas
- Las pulpas producidas son claramente más débiles que las logradas mediante el proceso kraft.

## COMPARACIÓN DE LAS PULPAS QUÍMICAS (KRAFT Y SULFITO)

Tipo de proceso	Kraft, o al sulfato, pulpa (alcalina)	Pulpa al sulfito (ácida)
Materia prima celulósica	Casi cualquier clase de madera, blanda o dura	Coníferas, debe ser de buen color y libre de ciertos compuestos fenólicos
Reacción principal en el digestor	Hidrólisis de lignina a alcoholes y ácidos, se forman algunos mercaptanos	$RC_2CR' + Ca(HSO_3)_2 = (RCHCR'SO_3)_2Ca$
Composición del licor de cocido	Solución al 12.5% de NaOH, Na <sub>2</sub> S y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . Análisis típico de sólidos: 58.6% NaOH, 27.1% Na <sub>2</sub> S, 14.3% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . Ácido disolvente debido al NaOH y Na <sub>2</sub> S. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> inactivo y representa el equilibrio final entre cal y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> en la formación de NaOH.	7% de SO <sub>2</sub> , del cual el 4.5% está combinado como ácido sulfuroso y 2.5% como calcio o Mg(HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . Para la cocción de una tonelada de pulpa se necesita de 175 a 220 kg de SO <sub>2</sub> y de 55 a 68 kg de MgO. Tendencia significativa reciente al empleo de Mg(OH) <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> OH como base para disolver más rápidamente la lignina.
Condiciones de cocción	Tiempo 2-5 h; temp. 170-176°C; presión 650-925 kPa	Tiempo 6-12 h; temp. 125-160°C o más; presión 620-755 kPa
Recuperación química	La mayor parte del proceso se dedica a la recuperación de los productos químicos de cocción con algo de recuperación de calor al quemar la materia orgánica disuelta en el licor de la madera; las pérdidas químicas del sistema se proponen con tortas de sal, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Recuperación de SO <sub>2</sub> gaseoso desprendido; licor de magnesio recuperado y reutilizado después de la digestión de la madera y lavado de pulpa
Materiales de construcción	Digestores, tuberías, bombas y tanque pueden ser de acero dulce o, de preferencia, inoxidable	El licor ácido requiere recubrir el digestor con ladrillos a prueba de ácido; conexiones de acero cromo-níquel (tipo 316), plomo y bronce
Características de la pulpa	Color café; difícil de blanquear; fibras resistentes; resistente al refinamiento mecánico	Color blanco opaco; fácilmente blanqueable; fibras más débiles que el kraft
Productos típicos de papel	Bolsas y envolturas café resistentes, bolsas multicapas, papel engrasado, papel de construcción, papel blanco resistente de kraft, blanqueado, cartones para cajas, envases, recipientes para leche y cartón corrugado	Calidades blancas: papel para libros, envoltura de pan, envoltura de frutas, papel sanitario

## 4.2. PROCESOS MECÁNICOS

La pasta se obtiene aportando energía mecánica, sin consumo de reactivos químicos. Sólo se disuelven aquellos componentes de la madera solubles en agua.

Los troncos de madera (que generalmente son de especies blandas de coníferas como el abeto y el bálsamo) se sostienen contra la superficie de una piedra de molino de gran tamaño y giratoria aplicando presión sobre los mismos y conforme la piedra muele la madera convirtiéndola en fibras, se rocía un flujo de agua sobre la piedra para retirar la pulpa, a la vez que se retira el calor generado en la operación.

Las fibras liberadas caen en un drenaje de pasta y pasan a una malla para separar las astillas. El material fino que pasa la malla cae a un tanque y las partículas gruesas que no pasan se envían a algún tipo de refinador y luego se regresan a las mallas. Lo fino se concentra en espesadores donde se prepara la pulpa mecánica. El agua que sale de los espesadores contiene del 15 al 20% de la fibra original y se recircula a los molinos donde se emplea para facilitar el flujo hacia el drenaje de pasta. Conforme el proceso sigue es necesario añadir agua fresca al sistema para mantener baja la temperatura, así que hay que eliminar algo del agua blanca. Después se cuelan las fibras valiosas. El único cambio químico que ocurre durante el proceso es una ligera hidratación de la celulosa debida al largo tiempo de contacto con el agua tibia.

La pasta mecánica se diferencia de la pulpa química en que contiene prácticamente toda la lignina de la madera original, no existiendo en ella las fibras como entidades individuales, sino por el contrario como grupos y fragmentos de fibras. El rendimiento se eleva a aproximadamente un 90-95% de la madera original en contraste con casi 50% en el caso de la pulpa química.

La pasta mecánica es baja en resistencia comparada con las pulpas al sulfito y al sulfato. Debido a que la pasta mecánica contiene prácticamente la totalidad de la madera, los papeles fabricados con ella se deterioran (es decir, se produce la descomposición química de los componentes no celulósicos) en cuanto a su resistencia, amarilleando al envejecer. Por esta razón, la pulpa de pasta mecánica se utiliza únicamente en papeles relativamente impermanentes, tales como papel de periódico, libros baratos, revistas, papel higiénico... Para todos estos usos la pasta mecánica tiene propiedades deseables como su bajo costo, buena calidad para la impresión, elevada opacidad y características de drenado que pueden controlarse en el caso del trabajo de las máquinas de papel a alta velocidad. Las cualidades para la impresión son buenas, debido a la masa alta, gran suavidad, elasticidad y buena absorción de tinta.

El tipo de contaminación de las aguas residuales no es grave, y se resuelve por procesos convencionales de clarificación y filtración.

## **5. FASE DE BLANQUEO**

Independientemente del proceso de fabricación de pasta que se utilice puede existir una fase complementaria de blanqueo para eliminar los excesos de lignina de la pasta una vez lavada y depurada, consiguiéndose un aumento de blancura.

El blanqueo tiene por objeto aumentar la «brillantez» (eliminación de los tonos oscuros) al máximo, con la mínima pérdida de rendimiento en pasta. La brillantez mide la blancura de la pulpa, y se determina en una pequeña porción de papel mediante espectrofotometría, por comparación con una escala arbitraria

El método de blanqueo depende del tipo de pasta :

- Blanqueo de pulpa mecánica o semiquímica : Como estas pulpas contienen casi la misma lignina que la madera original (brillantez=50-60), el tratamiento sólo eleva la brillantez en 10 a 12 puntos, para no solubilizar demasiada lignina. La lignina residual resta brillantez a los productos, que oscurecen con el tiempo. Se utilizan agentes oxidantes (peróxido de sodio o agua oxigenada) o reductores (hidrosulfito de sodio y de zinc que son ditionitas disueltas en agua)
- Blanqueo de pulpa química. Es inevitable en este caso cierta solubilización parcial, con la consiguiente pérdida de rendimiento.

En todos los casos, la facilidad de blanqueo se establece mediante el índice de KAPPA que se define como el número de mililitros de  $\text{KMnO}_4$  0.1N que son decolorados por 1 g de pulpa seca a  $25^\circ\text{C}$  durante 5 minutos. Las pulpas fáciles de blanquear tienen un número K de 6 a 10 o incluso menor ; para pastas difíciles o no blanqueables puede ser mayor de 20.

Los procesos de blanqueo son de muchos tipos (C, E, H, D, P y O) ; a veces son necesarios varios de estos tratamientos sucesivos para alcanzar la brillantez deseada.

**Tabla 18.3 Diferentes tipos de blanqueo.**

<b>Etapa</b>	<b>Reactivo</b>
C-Cloración	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
E-Extracción alcalina	$\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$
H-Hipoclorito	$\text{ClO}^-$
D-Dióxido de cloro	Clorato sódico + dióxido de S
P-Peróxido	$\text{H}_2\text{O}_2, \text{Na}_2\text{C}_2$
O-Oxígeno	$\text{O}_2$

### ***ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL BLANQUEO***

El blanqueo en la forma convencional requiere grandes cantidades de agua. La mayoría de las fábricas de pulpa han reducido su consumo de agua en forma considerable, volviendo a usar el agua de una etapa a otra.

Actualmente los efluentes de las plantas de blanqueo constituyen el problema más grave para la industria de la pulpa y el papel.

## **6. FABRICACIÓN DEL PAPEL**

**Las diferentes pulpas, aun cuando con frecuencia se utilizan para fabricar hojas gruesas, no proporcionan las propiedades deseables en papel terminado, como una**

## adecuada superficie, opacidad y resistencia ; y entonces hablamos de la fabricación de papel :

Hoy la mayoría de papel se fabrica en máquinas Fourdrinier, similares a la primera máquina eficaz para fabricar papel, desarrollada en los primeros años del siglo XIX.

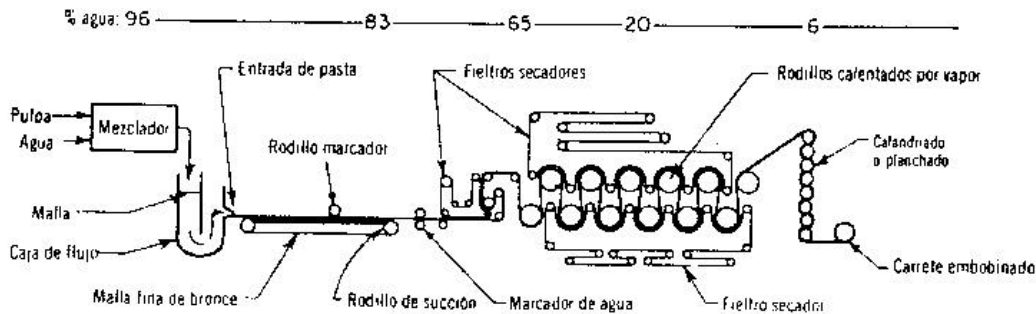


Fig. 33.6 Máquina Fourdrinier.

El corazón de la máquina Fourdrinier es una cinta sin fin de tela metálica que se mueve horizontalmente. La pulpa acuosa cae sobre la cinta sin fin de tela metálica que se mueve horizontalmente. Una pila poco profunda situada bajo la cinta recoge la mayor parte del agua que escurre en esta etapa. Esta agua se vuelve a mezclar con la pulpa para aprovechar la fibra que contiene. La extensión de la hoja de la pulpa húmeda sobre la cinta se limita mediante tiras de goma que se mueven por los lados de la cinta. Las bombas de succión situadas bajo la cinta aceleran el secado del papel, y la cinta se mueve de un lado a otro para contribuir al entrelazado de las fibras. A medida que el papel avanza, pasa bajo un cilindro giratorio cubierto de tela metálica o de alambres individuales, llamado cilindro de afiligranar, que confiere al papel una textura apropiada. Además, la superficie del cilindro tiene letras o figuras trazadas con alambre que pasan al papel en forma de marcas de agua que identifican al fabricante y la calidad del papel.

Cerca del final de la máquina, la cinta pasa a través de dos rodillos cubiertos de fieltro. Estos rodillos extraen aún más agua de la tira de papel y consolidan las fibras, con lo que dan al papel suficiente resistencia para continuar pasando por la máquina sin el soporte de la cinta. A continuación el papel se transporta mediante una cinta de tela a través de dos grupos de cilindros de prensado de metal liso. Estos cilindros proporcionan un acabado liso a las dos superficies del papel.

Una vez prensado, el papel está totalmente formado; a continuación se pasa por una serie de rodillos calientes que completan el secado. La siguiente etapa es el satinado, un prensado con rodillos fríos lisos que produce el acabado mecánico. Al final de la máquina Fourdrinier, el papel se corta con cuchillas giratorias y se enrolla en bobinas.

Todas estas operaciones suponen consumos importantes de agua, especialmente. Por tonelada de papel acabado se necesitan, aparte la pasta : 100 a 200 m<sup>3</sup> agua de calidad, 500 kg combustible (para vapor), 250 a 1400 kWh, según el tipo de papel.

### Composición de una tonelada métrica de papel

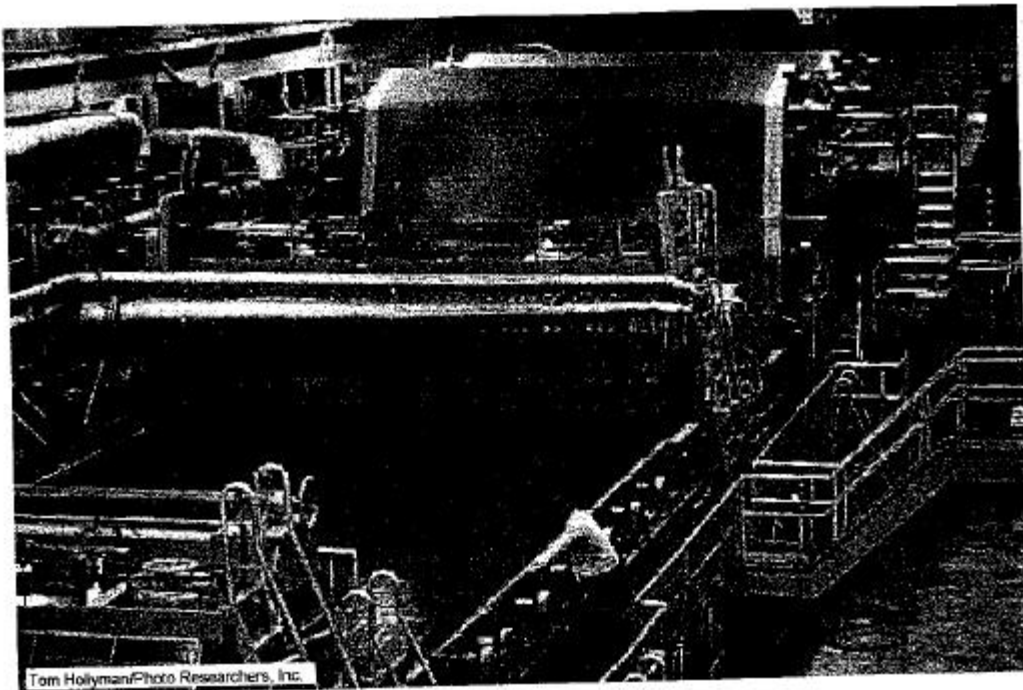
Los siguientes ingredientes son necesarios en promedio para producir una tonelada métrica de papel representativo de varias calidades

Agua	133 000 L	Potencia	4752 MJ
Azulre	15.5 kg	Talco	28 kg
Hidróxido de calcio	20 kg	Cargas sintéticas	10.5 kg
Cal	176.5 kg	Alumbre	14 kg
Forta de sal ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	33 kg	Arcilla	66 kg
Sosa cáustica	29 kg	Resina	6 kg
Cloro	54 kg	Colorantes y pigmentos	8 kg
Almidón	53 kg	Inversión de capital por tonelada métrica	5704
Madera	4 m <sup>3</sup>	Horas de trabajo por tonelada métrica	12.4

Combustible. 686 L de aceite o  
1 t de carbón

Como las fibras de celulosa, una vez secas, no formarían por sí solas láminas estables, es preciso añadir a las pastas ciertas sustancias antes del laminado. Las más corrientes son : resinas o colas para dar consistencia al papel y hacerlo resistente a la humedad y a la tinta ; sales de aluminio para fijar estas resinas a la celulosa ; cargas inertes tales como carbonato cálcico, caolín... para dar opacidad y consistencia ; y colorantes de naturaleza varia, si se desea una tonalidad determinada de papel. Y a partir de aquí, piensa en el sinfín de utilidades que puede llegar a tener una sencilla hoja de papel.

### Fabricación mecanizada de papel



## **BIBLIOGRAFÍA**

- INTRODUCCIÓN A QUÍMICA INDUSTRIAL  
prof. Dr. Angel Vien Ortuño.
  
- MANUAL PARA TÉCNICOS DE PUPA Y PAPEL  
G.A. SMOOL.
  
- MANUAL DE PROCESOS QUÍMICOS EN LA INDUSTRIA.
  
- REVISTA DE INGENIERIA QUÍMICA N° 327, AÑO 1996 Y A REVISTA DE  
OCTUBRE DE 1999.
  
- TRABAJO DE LA INDUSTRIA PASTERO-PAPELERA.