

# ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA POR VERTIMIENTOS DE DESECHOS DE LA INDUSTRIA DE LA PULPA DE LA MADERA Y PAPEL

*Por: Hernán Cuervo Fuentes*

*Profesor Departamento de Ingeniería Sanitaria*

*Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*

---

## 1. INTRODUCCION

La multiplicidad de procesos, productos y problemas de contaminación, subrayan el hecho de que la industria de la pulpa y del papel no es una industria única, sino más bien un gran número de industrias. Varias fábricas, o muchas de ellas, pueden elaborar el mismo producto. Pero muy pocas lo hacen de la misma manera, y por tanto, muy pocas pueden aplicar procedimientos idénticos para resolver sus problemas de contaminación.

El presente trabajo, pretende por lo tanto, mostrar en forma generalizada, el origen, las características y la magnitud del problema de contaminación por residuos líquidos de la industria de la pulpa y el papel, e igualmente orientar al lector sobre las estrategias

más convenientes para minimizar el costo de tratamiento de dichos efluentes, así como dar a conocer los últimos avances e investigaciones en el campo del tratamiento.

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES

La SIC (Standar Industrial Clasificación), define la industria de la pulpa de madera y papel, como la transformación de la madera en pasta y la conversión de esa pulpa en papel de todos los tipos, cartones y tablas en láminas.

Las materias primas que se usan generalmente en la fase de transformación a pasta son: madera, trapos de algodón o hilo, paja, bagazo de caña, lino y yute, o papel viejo. Estos materiales

se reducen a fibras que a continuación se refinan, a veces se blanquean y se secan. En la fábrica de papel, que frecuentemente está integrada en una sola planta con el proceso de obtención de las pastas; éstas se combinan y se cargan con aditivos; se agregan a los acabados, y el producto se transforma en láminas u hojas. Los materiales aditivos más comúnmente usados son arcilla, talco y yeso. Los cuatro principales tipos de pasta son: mecánica, a la sosa, Kraft (al sulfato) y al sulfito.

Esta industria tiene casi una total dependencia de grandes cantidades de agua, que juega papel fundamental en los procesos de cocción y de molienda y luego se utiliza para arrastrar las fibras que se han separado en las operaciones de blanqueo, suavización y laminación, durante los procesos de producción. Para dar una idea del consumo de agua en este tipo de industria, se tiene que una típica planta de pulpa Kraft al sulfato que produce 500 toneladas de pulpa por día, usa alrededor de  $100.000\text{m}^3$  de agua diariamente, equivalente al consumo diario de una ciudad de 400.000 habitantes(1). Los contaminantes aparecen así en forma muy disuelta y la relación, entre agua contaminada varía entre 100:1 y 1000:1. En esta forma la separación de estas sustancias disueltas o muy dispersas es un problema que, desde el punto de vista económico, se resiste a soluciones sencillas.

### 3. DESCRIPCION SIMPLIFICADA DE PROCESOS Y SU RELACION CON LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

La fabricación de papel se puede dividir en dos fases: transformación de la madera en pasta y fabricación del producto final.

La mayor cantidad de aguas residuales que se generan en la industria del papel, tiene su origen en el proceso de obtención de la pasta. La pulpa se puede obtener por medios mecánicos o químicos.

La pasta mecánica se fabrica triturando la madera por medio de grandes ruedas o piedras areniscas o de esmeril, y haciéndola pasar arrastrada por agua, a través de tamices. Este tipo de pulpa es de baja calidad, generalmente muy coloreada y contiene fibras relativamente cortas; se utiliza principalmente para fabricar productos de papel poco duraderos, como el papel periódico.

Los problemas de contaminación que plantean los residuos de pasta mecánica consisten sobre todo, en la separación de los sólidos en suspensión. La DBO resultante es baja. El blanqueo de esta pulpa puede duplicar la DBO/ton, lo que dependerá del proceso de blanqueo utilizado y del grado de blanqueado que se necesite. Cuando se utili-

za hidrosulfito de zinc como agente blanqueador, hay que controlar con sumo cuidado las concentraciones de zinc que van a parar a las aguas receptoras. La proporción entre pasta mecánica blanqueada y sin blanquear producida, aumenta en la medida en que lo hace la demanda de papel más blanco.

Otros vertidos procedentes de la preparación de la madera, son el prensado de las piezas rechazadas, antes de quemarlas y los drenajes del suelo.

Las pulpas preparadas químicamente, a diferencia de las mecánicas, se fabrican por el proceso de la sosa, por el del sulfato (Kraft) o por el sulfito; también se utiliza en la actualidad el proceso semiquímico.

En todos estos métodos la madera se prepara, como en la fabricación de pasta mecánica y difieren entre sí, únicamente por las sustancias químicas que se utilizan para la digestión.

Las maderas blandas, se tratan generalmente por el proceso a la sosa. A un digestor o lejiadora con astillas, se añade una mezcla de cenizas sódicas ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y cal y todo el contenido se hierve con vapor a presión durante unas 10 horas. Esta digestión o lejia-do, descompone los materiales aglutinantes no celulósicos de la fibra, tales como la lignina y resinas, pero es un tratamiento bastante rudo para las fibras que, por consiguiente las debilita.

El proceso de sulfato necesita un período de digestión más corto, de unas cinco o seis horas, con una mezcla de sulfuro de sodio, hidróxido, sulfato y carbonato. La lignina y los materiales no celulósicos se disuelven, dejando una fibra más fuerte para la formación de papel.

La pasta del proceso al sulfito se hace cociendo con bisulfito de calcio a más de  $149^\circ\text{C}$  y  $5 \text{ Kg/cm}^2$  de presión de vapor. Tras su digestión, la pasta de madera preparada químicamente, se pasa a un depósito cerrado, en el que se deja que el licor negro pase a los colectores o al proceso de recuperación. Entonces se lava la pasta escurrida. Un tamiz cilíndrico que gira en ángulo recto con el camino de la pasta, elimina parcialmente el agua; después la pasta se pasa a los depósitos de blanqueo. El blanqueo imparte las propiedades físicas y químicas deseadas. Sin embargo, son posibles muchas permutaciones y combinaciones. Una planta típica de pulpa puede tener cuatro etapas:

- 3.1 Un blanqueo inicial con cloro para oxidar la lignina residual.
- 3.2 Una etapa de extracción y lavado con sosa para solubilizar el material.
- 3.3 Una mezcla con una solución tibia diluida de hipoclorito de sodio alcalino, para promover una nueva oxidación de sustancias residuales en la pulpa.

3.4 Finalmente, una etapa de pulimento de la pulpa, mediante la adición de dióxido de cloro, con el fin de incrementar su brillo. La pasta seca y blanqueada, queda entonces dispuesta para la venta o para su entrega a la fábrica de papel.

A más de las muchas modificaciones y combinaciones de los procesos convencionales de la elaboración de la pulpa que se han señalado, se fabrican menores cantidades de diversas pulpas, necesarias para la producción de papeles especiales o debido a la disponibilidad local de determinadas materias primas. Por ejemplo: una cantidad limitada de pulpa de melaza se obtiene de la caña de azúcar en las zonas donde ésta se produce. Las pulpas de yute de lino, de algodón y de juncos, tienen ciertas propiedades particulares que resultan muy adecuadas para determinados productos.

El proceso de fabricación del papel implica, ante todo, una selección de mezcla adecuada de pasta (madera, trapos, lino, yute, paja, papeles o periódicos viejos, etc.). La mezcla de pasta se disgrega y se homogeniza en una batidora y se le agregan a ella, diversos rellenos y colorantes, con el fin de mejorar la calidad del papel, que constituye el producto final, así como aprestos destinados a tapar los poros. Algunas veces, las pulpas se lavan en una "batidora desfibradora" antes de agregar las sustancias químicas. El lavado produce inicialmente bastante concentrado que progresivamente va siendo más diluido. Después del batido, la pulpa se refina, cortando las fi-

bras al tamaño normal deseado. La pulpa pasa entonces a tanques almacedores, en los que se mezcla y ajusta a la consistencia uniforme adecuada para la formación o fabricación del papel. Finalmente, la pasta se tamiza para eliminar grumos o manchas de hongos. A continuación, la pasta se distribuye en forma uniforme, desde un depósito a una cinta transportadora constituida por un fino tamiz metálico y se lleva a los rodillos. Una pequeña parte del agua contenida en la pulpa pasa a través del tamiz; con el agua pasan también a través del tamiz, una parte considerable de las fibras finas y algunos de los productos de relleno. A causa de su color, se da a esta agua residual el nombre de "agua blanca". La hoja o papel pasa después por una serie de rodillos; un rodillo tamiz para eliminar desigualdades, situado en el extremo de la cinta transportadora, un rodillo de succión para extraer más agua, rodillos de presión y de secado para liberar el papel de casi toda el agua restante y unos rodillos finales de acabado, que producen la forma final del papel. Los productos finales se usan para muchas aplicaciones: papel de imprenta, papel periódico, de envolver, papel pergamino, de escritura, etc. La Figura 1, reproducida de la referencia (2) es un esquema o diagrama de los procesos de la pasta y del papel.

Las principales fuentes de vertido en las fábricas de pasta, son los líquidos de los digestores, y en las fábricas de papel, los de las batidoras y las máquinas de papel. La Tabla 1 (4) da alguna idea de los volúmenes de residuo que se vierten por tonelada de producto.

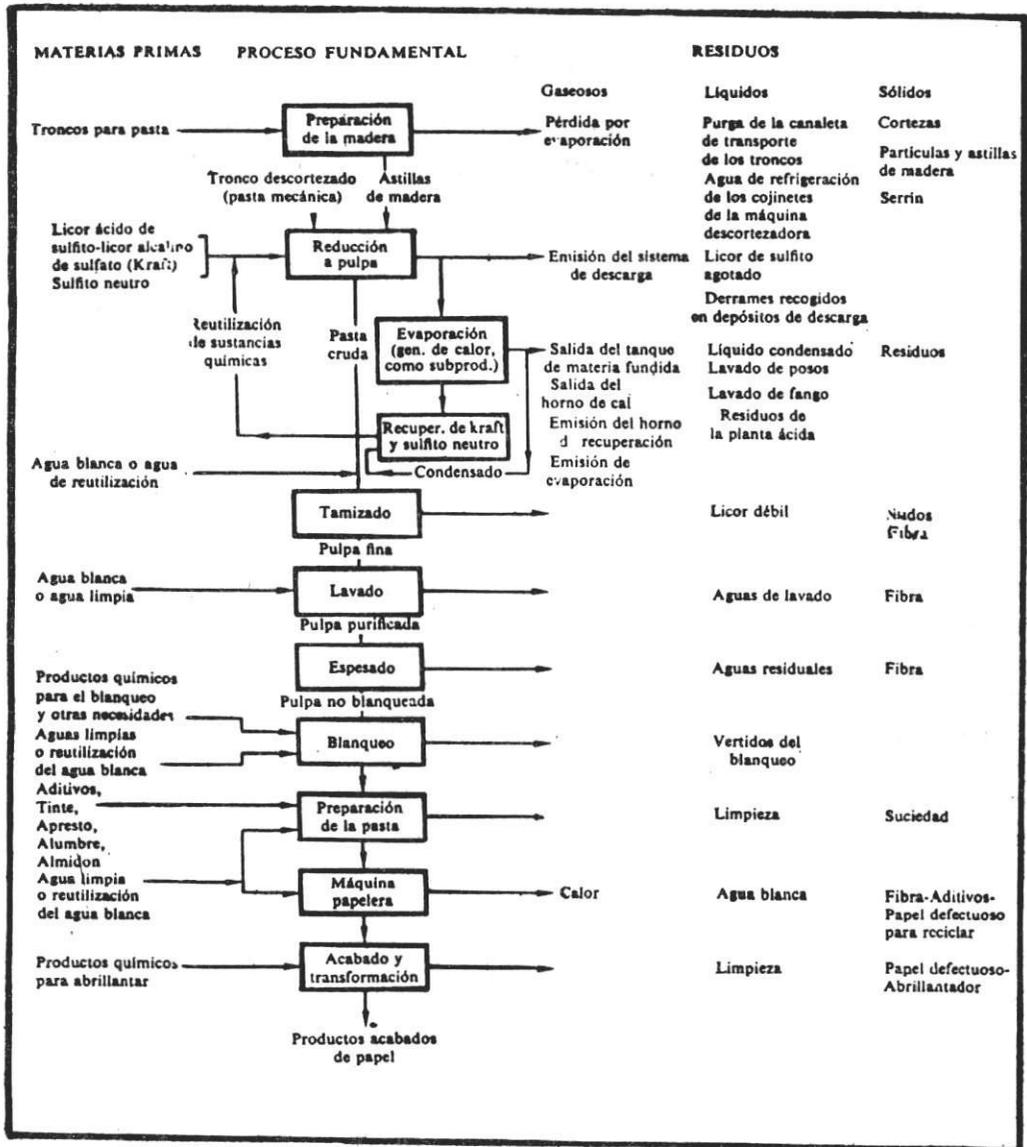


FIGURA 1. Diagrama simplificado de los procesos fundamentales de fabricación de la pulpa y del papel. (Preparado por F.W.P.C.A.).

**TABLA 1**

**VOLUMEN DE LIQUIDO RESIDUAL PRODUCIDO  
EN LA ELABORACION DE LA PULPA Y DEL PAPEL**

<b>Categoría</b>	<b>Oscilación, en galones/tonel.</b>	<b>Media representativa del rendimiento superior en galones/tonel.</b>
<b>Proceso de elaboración de la pulpa:</b>		
Kraft sin blanquear	15.000-40.000	20.000
Blanqueo del Kraft	15.000-35.000	20.000
Sulfito sin blanquear	15.000-50.000	25.000
Blanqueo del sulfito	30.000-50.000	40.000
Sustancias químicas	8.000-40.000	10.000
Destintado	20.000-35.000	25.000
Pasta de madera	3.000-48.000	4.000
Pulpa líquida	60.000-80.000	65.000
<b>Elaboración del papel:</b>		
Papel fino	8.000-40.000	10.000
Para libros y publicaciones	10.000-35.000	12.000
Papel tela	7.000-45.000	15.000
Papeles Kraft	2.000-10.000	5.000
Papel cubierta	2.000-15.000	8.000

1 galón = 3.78 Lt.

#### 4. NATURALEZA DE LOS VER- TIDOS DE LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL

El agua usada para el proceso en la industria de la pulpa y el papel, y descargada en muchas ocasiones en las corrientes de agua o en los colectores municipales, puede contener compuestos orgánicos disueltos y sustancias químicas usadas en el proceso de empastado, fibras, rellenos y aditivos, color, corteza, lodos de cal y soda. Los sólidos suspendidos están presentes en los efluentes de prácticamente todas las etapas y parte de la industrial, y consiste generalmente en fibras y residuos de corteza, soda, cal y arcilla. Las sustancias orgánicas disueltas incluyen lignina, carbohidratos, ácidos orgánicos y alcoholes, las cuales con la excepción de la lignina son fácilmente biodegradables. Dado que la fibra de celulosa es la única sustancia deseable contenida en la pulpa de la madera, y aproximadamente, la mitad de los leños es de naturaleza no fibrosa. Por ello, dependiendo del proceso de obtención de la pulpa utilizada, es posible tener que desechar hasta el 50o/o de las sustancias orgánicas.

Otra característica de los efluentes de fábricas de pulpa y papel es el hecho de tener un pH anormal; la pulpa Kraft produce desechos alcalinos entre 7.5-11. El despulpado con sulfito, al igual que los desechos de plantas de blanqueado, son ácidos en el rango de 2.0-5.0, y altamente coloreados principalmente, por la presencia de compuestos de lignina de la madera y de tintu-

ras del destintado de papeles. La potencialidad tóxica de estos efluentes es un criterio importante en muchos países. Los factores que contribuyen a la toxicidad, no sólo aparecen en los químicos, principalmente sulfuros y otros compuestos introducidos dentro del proceso, sino también por los complejos orgánicos disueltos de los materiales crudos. Por último, el sulfuro usado en todos los procesos químicos de fabricación de la pulpa, representa un serio problema no sólo de contaminación del aire en forma de  $SO_2$  y de malos olores, sino que al disolverse en las aguas receptoras, es la causa de malos olores y sabores.

#### 5. ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACION

La contaminación debida a la industria de la pulpa y del papel, a pesar de la expansión de la producción, es decreciente. Esta mejora se ha conseguido por un rápido incremento en el ritmo de instalación de equipo, para el tratamiento de los residuos industriales en las viejas fábricas de papel, desechando los procesos de obtención de la pulpa que originan gran cantidad de contaminantes y llevando a cabo una máxima recirculación del agua y recuperación de fibras, todo ello seguido de un tratamiento adecuado del efluente, como parte fundamental del diseño de toda fábrica nueva. Por otra parte, la investigación en el campo de tratamiento de los efluentes de este tipo de industrias, es intenso al igual que la tecnología de obtención de la pulpa,

sobre todo en el que se refiere al remplazo de las sustancias químicas utilizadas.

La estrategia a seguir, común a toda la industria de pulpa y papel, en el ataque al problema de minimización de las características de las aguas de desecho, con miras a obtener resultados óptimos, en el tratamiento de los efluentes, básicamente tiene en cuenta:

- 5.1 Recirculación máxima del agua.
- 5.2 La reducción en el uso de compuestos de sulfuro en las plantas químicas y de compuestos clorados en los procesos de blanqueo.
- 5.3 La separación y remoción de sólidos de las aguas de desecho.
- 5.4 La minimización en las aguas de desecho de sustancias que ejercen demanda de oxígeno.
- 5.5 La reducción de color en las aguas de desecho.
- 5.6 La instalación de sistemas de recolección de descargas temporales.
- 5.7 Procesos de recuperación.

#### 5.1 *Recirculación máxima del agua.*

La captura máxima y reutilización del agua y de los sólidos en la fábrica, es evidentemente el primer paso para reducir la contaminación. Una

gran parte de las fibras minerales, mediante recirculación, flotación o tamizado, puede ser utilizada de nuevo en el proceso, y de esta forma eliminar parte del costo de reducción de la contaminación.

Las principales medidas que se deben adoptar para la reducción del uso de agua son:

- Implementación de nuevos sistemas lavadores de pulpa.
- Incluir dentro del proceso de recirculación, sistemas de separación.
- Recircular el agua dentro de una misma operación o de una sección a otra. Knuts, Olbertsson and Sandber (10), presenta la implementación y funcionamiento de un sistema cerrado de recirculación y que no necesita la introducción de agua nueva salvo la reposición por evaporación.

#### 5.2 *Reducción en el uso de compuestos de sulfuro.*

Muchas investigaciones están estudiando el proceso de empulpa-do en el cual puedan eliminar el uso de estos compuestos indeseados. Algunos de estos procesos, están en la etapa de desarrollo y tienen una razonable oportunidad de aplicación comercial. Entre otros, tenemos:

- Procesos con ácido nítrico.
- Procesos con soda - oxígeno.

- Procesos con peróxido - ozono.
- Procesos con sulfito alcalino.

### 5.3 *La separación y remoción de sólidos en las aguas de desecho.*

Los sólidos suspendidos, pueden estar en las aguas residuales de pulpa y papel entre un 2o/o y un 4o/o de la producción neta. De donde se obtiene que el proceso de recuperación en las fábricas de papel, implica la utilización de sistemas de seguridad en circuitos cerrados parcial o totalmente. Estos sistemas no se instalan únicamente como medio preventivo del tratamiento, sino con miras a la recuperación de fibras y aditivos. Estos sólidos pueden ser removidos de los efluentes de recirculación y descarga, aplicando filtración, ultrafiltración, sedimentación y flotación con ocasional adición de reactivos.

### 5.4 *Minimización de sustancias disueltas que ejerzan demanda de oxígeno.*

Las sustancias que consumen oxígeno son formadas durante las fases de cocido y blanqueado. La medida más efectiva es establecer prácticas de recuperación, como sucede en la mayor parte de fábricas de pulpa al sulfito de Kraft. Los efluentes de blanqueado, ocasionan considerables cargas de sustancias consumidoras de oxígeno, pero no pueden normalmente ser retornados a

los procesos de recuperación, por su alto contenido de cloro; recientemente, sin embargo, se han desarrollado nuevas técnicas, las cuales hacen que parte de los efluentes de blanqueados sean recuperados. De estas técnicas, la más ventajosa es el blanqueado con oxígeno, el cual tiene una amplia aplicación industrial. Si el blanqueo se comienza con una etapa de oxígeno, cerca del 40o/o de la DBO del blanqueado de la pulpa con sulfato, puede ser eliminado y el color del efluente mejora notablemente.

El costo preliminar estimado para la conversión de una planta tradicional de 500 ton/día de blanqueado de pulpa Kraft, a una de blanqueado con oxígeno, indica que incrementa los costos de producción de 3.00 - 3.50 dls/ton de productos. Para este caso en particular(1), el mejor objetivo para aplicarlo fue la remoción del color.

Otro interesante desarrollo tecnológico es el basado en el intercambio iónico. De este modo, es posible tratar los efluentes alcalinos de una blanqueadora tradicional, evaporar y quemar el efluente. Esto permite eliminar cerca de una cuarta parte de la carga de DBO de blanqueados. Dicho tratamiento aumenta aproximadamente 1.50 dls. los costos de producción por tonelada(1). Una disminución en la DBO del efluente a tratar, también se puede lograr si se tratan los condensados del digestor y de la evaporación del licor negro, lo cual puede hacerse a través de una columna de despojaamiento (10).

### 5.5 Reducción del color en las aguas de desecho.

El color en las aguas residuales de la industria de pulpa, se deriva principalmente de la disolución de la lignina, la cual no es fácilmente destruída por los microorganismos. Las aguas de desechos también pueden contener sustancias coloreadas, utilizadas en el proceso o provenientes del destilado. Las prácticas de lavado de los stocks de pulpas de papel, así como una capacidad adecuada de los evaporadores y de las calderas de recuperación, pueden disminuir las pérdidas del líquido negro, y de esta forma, reducir al mínimo posible la contaminación por color. El campo de investigación para este problema, es uno de los que recibe más atención en lo que se refiere a métodos de eliminación económicos.

Algunas de las técnicas mencionadas anteriormente (blanqueado con oxígeno, eliminación de efluentes, intercambio iónico), minimizan el problema.

### 5.6 Instalación de sistemas de recolección de descargas temporales.

El término "descargas temporales", es usado aquí como una expresión para descargas irregulares y accidentales, lo cual es una parte importante de la industria de la pulpa. Se tiene que entre un 25o/o y 50o/o de la carga de DBO se debe a descargas temporales. Además, es necesario incluir sistemas sepa-

radores de alcantarillados de las aguas de desecho que contienen el licor negro, de las otras aguas residuales. Es obvio que la recolección de las descargas temporales, se incrementa cuando las descargas de los diferentes procesos son reducidas.

### 5.7 Implementación de proceso de recuperación.

El tratamiento de los vertidos de las fábricas de pulpa y papel, a pesar del gran avance que ha tenido en la última década, y que se han efectuado y publicado investigaciones exhaustivas, inclusive en plantas pilotos, resulta costoso (su implementación), sobre todo en fábricas viejas. Dichas fábricas se construyeron durante un período en el que la contaminación no se consideraba como un problema, y fueron creciendo al mismo ritmo que lo hizo la demanda de sus productos. Por lo tanto, las limitaciones económicas orientan la tendencia de recuperación de subproductos, más que el tratamiento, con el fin de minimizar las descargas contaminantes. Por ejemplo, en las fábricas de pulpa de sulfito se utilizan varios métodos de recuperación(2); se ha proyectado e instalado en un gran número de industrias, un equipo en el cual se puede quemar el licor del sulfito para producir el vapor suficiente con el cual puede funcionar el evaporador. Este proceso no proporciona un producto secundario que se pueda vender, sino que simplemente elimina el problema de los residuos. La evaporación completa de los resi-

duos del licor, produce un combustible que se puede quemar sin tener que utilizar un suministro adicional de combustible exterior y un producto secundario, que resulta comercialmente valioso y que se utiliza en la fabricación de aglutinantes, insecticidas y fungicidas, pegamentos, aglomerantes para carreteras, endurecedor para materiales cerámicos, desincrustantes o productos químicos para tratar el agua de las calderas y otros productos secundarios útiles.

A más de los productos secundarios que se obtienen mediante la evaporación de los líquidos residuales de sulfito, se pueden obtener más productos secundarios mediante otros procesos. Se puede fermentar el licor para producir alcohol etílico, también se pueden obtener de estos residuos, acetona y alcohol butílico, con una reducción total de la DBO de un 82o/o. El inconveniente de este proceso, es que cuesta más fabricar alcohol partiendo de estos residuos del licor del sulfito que de las melazas residuales o del etileno. Otro producto que se obtiene de la fermentación de este líquido, son levaduras para alimentación del ganado(2).

También se practica este proceso de recuperación en las fábricas de papel Kraft. Este líquido residual se trata por evaporación e incineración, con el fin de recuperar los productos químicos y de utilizar el poder calorífico de las sustancias de la madera disuelta. La recuperación de productos secundarios, como trementina, resina y ácidos

grasos, contribuye también a reducir el poder contaminante de los efluentes de papel Kraft.

## 6. METODOS DE TRATAMIENTO

Las tendencias actuales en el tratamiento de los residuos de la industria del papel y la pasta, se pueden resumir en los siguientes puntos:

6.1 Desarrollo de unidades compactas, eficientes y cuidadosamente diseñadas, para el procesamiento de la pulpa y papel, tal que la contaminación y sus efectos sean mínimos. Se están emprendiendo investigaciones acerca de la reutilización y la recuperación de subproductos.

6.2 Utilización de sedimentación, flotación y espesamiento para la remoción de sólidos, complementados con el uso de tamices. En todos estos procesos se presta cada vez mayor atención a la recuperación de fibras.

6.3 Coagulación química: la remoción del color de efluentes industriales de pulpa y papel, es uno de los objetivos que se buscan para cumplir con las regulaciones de las agencias estatales ambientales. Las investigaciones tienden a obtener una alta eficiencia de remoción a muy bajo costo. Floculación por contacto, sales de alumbre o ferrosas y sílice activada: estos métodos han demostrado su eficiencia.

Uno de los métodos más promisorios (12), envuelve el uso de sales de magnesio en combinación con cal. Esencialmente, el proceso consiste en la adición de magnesio al agua de desecho, y luego la adición de cal para mantener el pH cerca de 11.0, tal que el  $Mg(OH)_2$  es precipitado como coagulante primario. La recarbonatación de los lodos resultantes para bajar el pH hasta cerca de 7.5, redissuelve el  $Mg(OH)_2$  rápidamente, mientras el  $CaCO_3$  reacciona más lentamente. En esta forma se minimiza la acumulación de lodos y se maximiza la disponibilidad de químicos para usarlos nuevamente. Los resultados muestran que el control adecuado de la reacción de resolubilización, mantuvo la cal en forma precipitada; así pues, estaba disponible para poder ser calcinada y recobrar el óxido de calcio. Se logró una eficiencia del 90 al 95% en la remoción del color. Un estudio posterior de los mismos investigadores(13), demostró que la recuperación del magnesio usado en el método Cal-Magnesio para remover color de un efluente Kraft, es un atractivo económico, si el magnesio recuperado mantiene eficacia en la remoción del color. Investigaron los efectos del magnesio reciclado y el fresco; los resultados indicaron que la eficiencia de remoción de color, fue prácticamente la misma usando el 80% de  $Mg^{+2}$  nuevo. La eficiencia de la recarbonatación fue afectada un poco en términos de la resolubilización del  $Mg^{+2}$ , pero se obtuvo una retención mejor del  $Ca^{+2}$  en los lodos finales.

Kisla y McKelvey(14), reportaron una investigación de laboratorio de remoción de color de efluentes de blanqueado cáustico Kraft, utilizando polyaminas. Cada polyamina estudiada tiene un rango de pH óptimo para remoción de color. Los polímeros estudiados tenían un peso mol de 1.800.300 y precipitaron entre 500-800 mg/l. Nors y Mc Donal(9), investigaron la remoción de color de efluente Kraft, usando sales de aluminio y hierro; se encontró que la máxima remoción de color ocurre con un pH = 5.0, para el aluminio y con un pH = 3.3 para el hierro, con un 99.6 y 98.6 respectivamente. La remoción ocurre con efluentes del orden de 12.000 U.C. y dosis de 23 mg/l.

6.4 Reducción de sustancias orgánicas solubles: se están utilizando los métodos de lodos activados y todas sus modificaciones, filtros bacterianos, lagunas aireadas y tratamiento anaeróbico; con más frecuencia lodos activados y lagunas aireadas. Mueller and Walden(16) reportan un estudio comparativo con base en la remoción de la  $DBO_5$  y de la toxicidad de tres sistemas biológicos, utilizados con frecuencia en la remoción de sustancias orgánicas solubles, de efluentes de blanqueado de fábricas de papel Kraft; en las Figuras 2 y 3 se sintetiza dicho estudio. Por otra parte, en la Figura 4, se presenta un diagrama de flujo del sistema de tratamiento, empleado por la corporación Buckeye Cellulose para tratar las aguas residuales de una planta de blanqueado

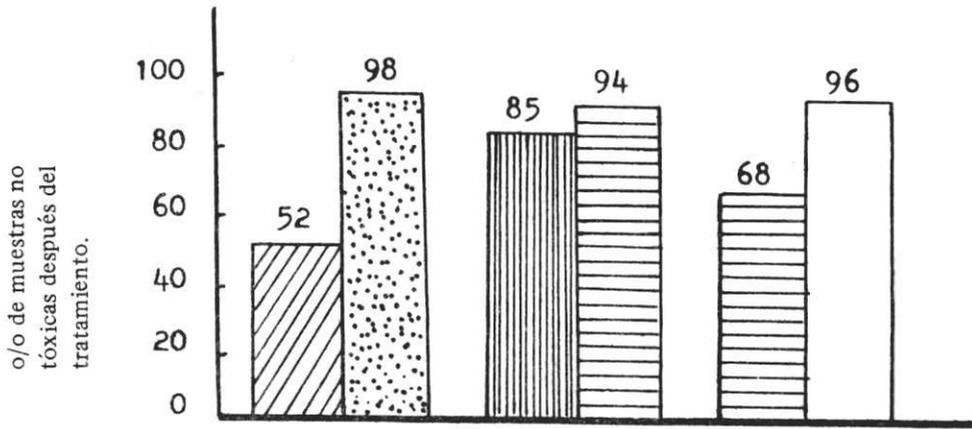


FIGURA 2. Velocidad óptima de destoxificación(16)

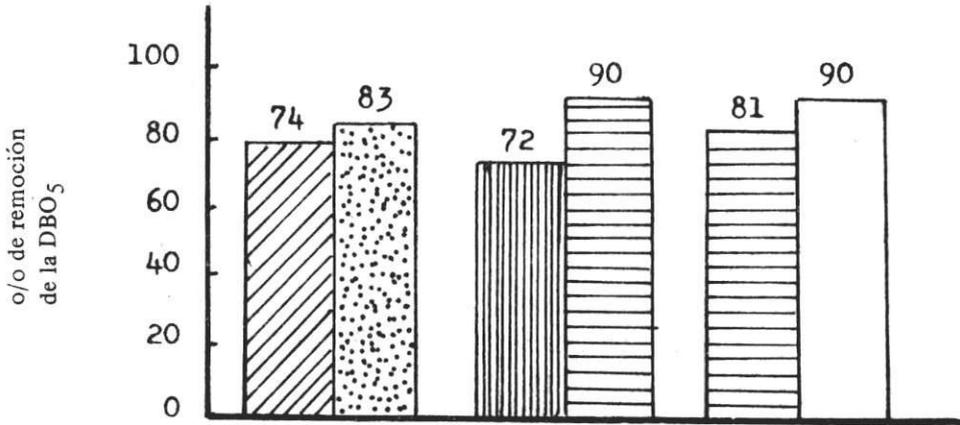


FIGURA 3. Remoción de la DBO<sub>5</sub> por tres procesos biológicos(16).

Lagunas A. (5 días)      L. A. (24 horas)      L.A. (6 horas).



Alimentación directa nutrientes deficientes, remezclado de espuma.



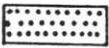
Alimentación directa, mezcla pobre y nutrientes adecuados.



Retención de espuma con igual agitación.



Alimentación directa, buena mezcla y nutrientes adecuados.



Nutrientes adecuados, alimentación directa y retención de espuma.

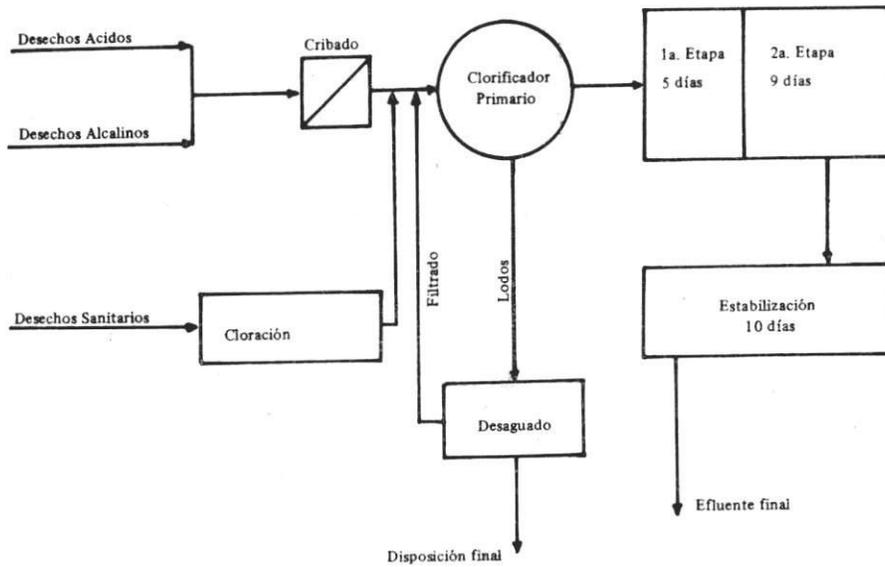


FIGURA 4. Diagrama de Flujo del sistema de tratamiento empleado para tratar las aguas residuales de una planta de blanqueado de pulpa Kraft(17).

de pulpa Kraft, cerca de Oglethorpe, Ga(17). Como puede observarse los desechos ácidos y alcalinos se mezclan con las aguas residuales sanitarias cloradas, después de pasar aquellas por una cámara de cribado. El flujo total es bombeado a un clarificador primario, donde se hace la remoción de los sólidos sedimentables. En esta parte del proceso, el pH de las aguas residuales se lleva a un valor un poco por encima del punto neutro, y se adicionan nutrientes, si es necesario. Los lodos del clarificador primario son deshidratados y llevados a disposición final en un relleno sanitario.

El efluente del clarificador fluye por gravedad a un conjunto de lagunas aireadas en serie, seguidas de un tanque de estabilización. La primera etapa del sistema lagunas, tiene un tiempo

de retención de 5 días y opera a mezcla completa. Su objetivo es remover la mayor parte del material soluble. La segunda etapa fue diseñada para funcionar en condiciones facultativas (condiciones aerobias-anaerobias); su tiempo de retención es de 9 días y su función es promover la digestión de los sólidos sedimentados y asegurar una alta remoción de la DBO. Finalmente, las aguas residuales tratadas, entran a una laguna de estabilización con tiempo de retención de 10 días para su pulimento final.

Aunque el sistema descrito presenta una alta eficiencia en la remoción de la DBO, no podemos decir lo mismo en cuanto a la remoción del color. Campbell y Joyce(18), reportan las ventajas que sobre las bacterias y las algas tienen los hongos en la remoción

del color por procesos biológicos. Sin embargo, la disposición final de la biomasa de hongos en un sistema de flujo continuo, puede acarrear grandes problemas.

6.5 Manejo de sólidos: se han utilizado filtración en vacío, centrifugación, espesamiento, filtrado, compresión, incineración, oxidación con aire húmedo y relleno de terrenos. Eberhardt(11), reportó la utilización de los lodos activados excedentes y desaguados, procedentes de una fábrica de productos de papel como abono de hierba de césped y como un ingrediente en la mezcla de abonos orgánicos fortificados. Pruebas realizadas han demostrado también la utilidad de este material como fuente de proteínas en los alimentos para trucha. Dichos lodos tienen un alto contenido de nitrógeno (7.34o/o N) y baja concentración de metales pesados.

6.6 Gove(10), reporta los últimos avances en el tratamiento de efluentes de industrias de pulpa y papel. Menciona la utilización de la ósmosis reversa (O.R.) como un método de concentración de efluentes de

blanqueado con sulfito y pulpa Kraft obteniéndose un 90o/o - 95o/o en la remoción de sólidos totales y de un 100o/o en el color. El incremento en los costos de producción es de 20 y 30 dólares por tonelada producida respectivamente. Venderevskic, experimentó con efluentes de fábricas de sulfito que tenían una DQO inicial de 2.500 mg/l y el pH variaba entre 3 y 4, y se obtuvo a los 20 minutos, una reducción tanto en el DQO como en el color en un 80o/o y un incremento en el pH entre 5.0 y 6.0. El consumo de potencia se especificó de 3 a 4 kwh/m<sup>3</sup>. La adsorción con carbón activado y la extracción también se utilizan, pero más eficientemente como tratamientos terciarios.

En la Figura 5, se muestra un esquema de las diferentes alternativas de tratamiento para los efluentes de industrias de pulpa y papel. Sin embargo, el desarrollo e implementación de los procesos de tratamiento que permita una relación costo-beneficio más correcta sólo se puede dar a través de estudios de tratabilidad para las aguas residuales de cada planta de pulpa y papel en particular.

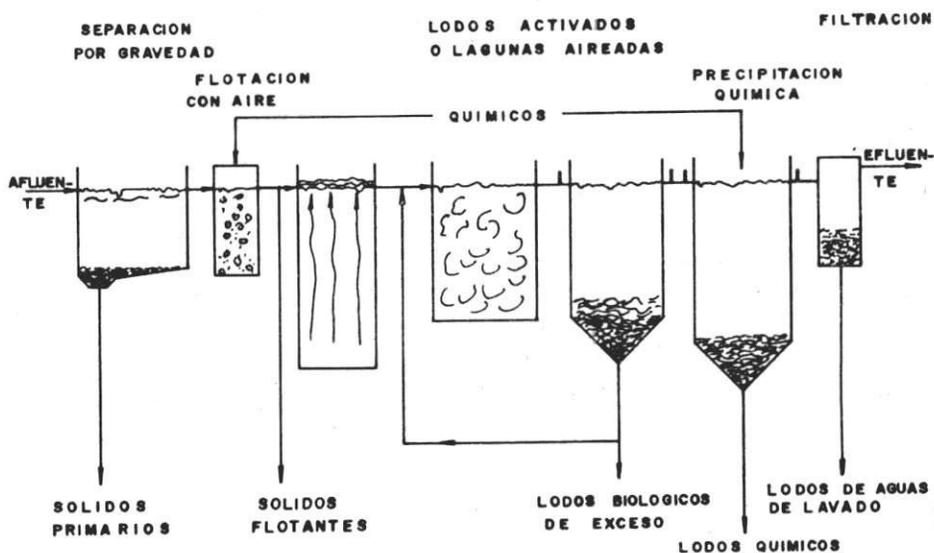


FIGURA 5. Esquema de las diferentes alternativas de tratamiento para los efluentes de pulpa y papel.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Pollution by the pulp and paper industry organization for economic cooperation and development. París, 1973.
2. Nemerow, L. Nelson. Aguas residuales industriales, teorías, aplicaciones y tratamiento. Blume, Madrid, 1977.
3. Environmental engineers, Vol. I Béla G. Liptak, editor, 1974.
4. Lund, Herbert. Manual para el control de la contaminación industrial. IDEAL. Edición española, 1974.
5. Azad hardam industrial wastewater management handbook. McGraw-Hill, 1976.
6. Barton, C.A. Treatment of sulfite pulp and paper mill waste JWPCF 45, 25 (1973).
7. Hoover, W.E., Jr. R.F. Wastewater treatment for and integrated pulp and paper mill JWPCF. 45, 523 (1973).

8. Gove, W. George. Pulp and paper industry wastewater management JWPCF 52, 1386 (1980).
9. ———. Pulp and paper industry wastewater management JWPCF. 51, 1330 (1979).
10. Knuts, Albertsson, and Sandberg. Environmental protection in kraft pulp mills. JWPCF. 47, 783 (1975).
11. Eberhardt, W.A. Conversion of sulfite pulping waste sludge to an agricultural product JWPCF. 50, 1983 (1978).
12. Oldhan, W.K., and Rush, R.J. Color removal in Kraft mill wastewaters with magnesium JWPCF. 50, 40 (1978).
13. Rush, R.J., and Oldman, W.K. Color removal in Kraft mill wastewaters using recycled magnesium JWPCF. 50, 875 (1978).
14. Kisla, T.C. and McKelvey, R.D. Color removal from softwood Kraft pulp bleach plant effluents by polyamines. Environ,sci. and tec, 12, 1, 207 (1978).
15. Conrad, F. Cornell. Salt recovery process allows re-use of pulp-bleaching effluent, vol. 82, 1975.
16. Tewari, N.R., and Nemerov, N.L. Environmentally balanced and resource-optimized Kraft pulp and paper. Proc. of the 37th, ind. waste conf. Purdue University, 1982.
17. Byrd, F.J., Ehrke, D.M., and Whitfield. New bleached Kraft pulp plant in georgia state-of-the art environmental control. JWPCF. April 1984.
18. Camphell, G. Alton, and Joyce, W. Thomas. Removal of color from pulp and paper mill effluents by biological process. Proc. of the 36th, ind. waste conf. Purdue University, 1981.
19. Gove, W. George. Pulp and paper effluent management. JWPCF. Vol. 54, june 1982.