



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“CUAUTITLAN”

**MANEJO, TRATAMIENTO Y REUTILIZACION DEL AGUA
EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A
F R A N C I S C O J A V I E R H E R N A N D E Z G A R C I A



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL

	página
INTRODUCCION	9
1. GENERALIDADES.....	11
2. PROCESO AL SULFATO O KRAFT.....	29
3. MANEJO Y CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA.....	39
4. PARTES DEL PROCESO DONDE SE PUEDE REUTILIZAR EL AGUA.....	61
5. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL.....	67
6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	84
7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO.....	101
8. ASPECTOS LEGALES.....	141
CONCLUSIONES	146
BIBLIOGRAFIA	148

	página
INTRODUCCION	9
1. GENERALIDADES.....	11
2. PROCESO AL SULFATO O KRAFT.....	29
3. MANEJO Y CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA.....	39
3.1. Manejo del agua.....	39
3.2. Calidad del agua requerida.....	44
3.2.1. Agua para enfriamiento.....	46
3.2.2. Agua para calderas.....	50
3.2.3. Agua para proceso.....	52
3.2.4. Agua para servicios generales.....	55
4. PARTES DEL PROCESO DONDE SE PUEDE REUTILIZAR EL AGUA....	61
4.1. Preparación de la madera.....	62
4.2. Preparación de la pulpa.....	62
4.3. Lavado de la pulpa.....	63
4.4. Blanqueado de la celulosa.....	63
4.5. Fabricación de papel.....	64
4.6. Recuperación de licor.....	65
4.7. Servicios auxiliares.....	65
5. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL.....	67
5.1. Características cualitativas de las aguas residuales.....	68
5.2. Caracterización de los parámetros.....	73
6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	84
6.1. Sistemas de tratamiento.....	84
6.1.1. Pretratamiento.....	86
6.1.2. Tratamiento primario.....	88
6.1.3. Tratamiento secundario.....	89

6.2. Tratamiento propuesto.....	92
6.2.1. Preparación de la madera.....	93
6.2.2. Blanqueado de la celulosa.....	96
6.2.3. Fabricación de papel.....	99
7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO.....	101
7.1. Balance y costo del agua recirculada.....	101
7.1.1. Agua recirculada por etapa del proceso.....	104
7.1.2. Cálculo del dinero ahorrado.....	108
7.2. Dimensionamiento.....	110
7.2.1. Preparación de la madera.....	110
7.2.2. Blanqueado de la celulosa.....	123
7.2.3. Fabricación de papel.....	137
8. ASPECTOS LEGALES.....	141
CONCLUSIONES	146
BIBLIOGRAFIA	148

INTRODUCCION

En la presente tesis se exponen algunas consideraciones con respecto a la reutilización del agua en la industria de la celulosa y papel, debido a que los grandes volúmenes empleados por esta industria en la mayoría de los casos la limitan en otros usos, por lo que resulta de suma importancia la existencia de medidas tendientes a fomentar la conservación y reutilización del agua en todos aquellos procesos en los cuales sea posible.

Uno de éstos es el proceso de elaboración de celulosa al sulfato o mejor conocido como "proceso kraft" en el cual el agua se considera como materia prima.

Se ha comprobado que en las diferentes etapas del proceso de elaboración de este tipo de celulosa y papel, es posible reutilizar el agua, de acuerdo a la calidad requerida en cada una de ellas.

La industria de la celulosa y papel además de ser una de las más consumidoras de agua, es una de las más contaminantes por lo que es necesario que exista un buen control de las aguas residuales. Asimismo, se proponen sistemas de tratamiento para obtener agua de una calidad tal que puedan ser reutilizadas.

Resumiendo: Los objetivos de este trabajo son:

- a) Reutilización del agua residual
- b) Disminución del agua de primer uso
- c) Proposición de medidas tendientes a abatir la contaminación del agua
- d) Cumplimiento de las disposiciones emitidas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en lo que respecta al vertido de aguas residuales.

1. GENERALIDADES

La industria de la celulosa y el papel, es una de las industrias más antiguas y más grandes del mundo. Es difícil comparar, en tamaño, estas industrias con otras debido a los múltiples usos tanto de celulosa como del papel y a la acumulación de valores de los muchos productos hechos con estos materiales básicos.

La industria de la celulosa y del papel, puede dividirse en dos: Industrias Integradas e Industrias no Integradas.

Las industrias integradas son aquellas en las cuales se produce tanto celulosa como papel y en las no integradas se produce ya sea celulosa o papel.

Los principales procesos de obtención de celulosa son los siguientes:

- 1) Procesos Mecánicos
- 2) Procesos Químicos:
 - i) Al Sulfato o Kraft
 - ii) Al Sulfito
 - iii) A la Sosa
- 3) Procesos Semiquímicos

Dentro de los procesos de obtención de celulosa, se emplean métodos mecánicos, químicos o combinaciones de ambos, la pulpa podrá ser utilizada tal como sale del proceso de formación o después de ser blanqueada. Las variaciones introducidas en determinados procedimientos de producción darán pulpas diferentes, ajustada cada una de ellas a un tipo distinto de aplicación.

A continuación se describen de una manera general estos procesos.

Obtención de Pulpa o Pasta Mecánica

El proceso se inicia con la entrega a la fábrica de los troncos de madera para pulpa, limpios y descortezados, cortados en longitudes de 40 a 150 cm, dependiendo del tipo de molino. El volumen de la madera se mide en estibas o por algún otro medio, y los troncos individuales se colocan dentro del molino y son reducidos a pulpa o pasta mecánica. Para mantener una temperatura apropiada se adiciona agua y la pulpa pasa entonces de la fosa del molino hacia los depuradores -- gruesos o de astillas, en donde se separan pedazos de madera relativamente -- grandes y astillas. La suspensión diluida obtenida de este proceso, se bombea a los depuradores finos, y la pulpa a los espesadores o a los prensapastas, en donde respectivamente se prepara para su uso en la fábrica de papel, o para su embarque en forma de hojas o paquetes húmedos.

Para ilustrar los métodos mecánicos en la obtención de celulosa, en el diagrama no. 1, se puede observar el proceso de molienda para la obtención de pulpa

o pasta mecánica y en el diagrama no. 2, se muestra un ejemplo del tipo de molino existente para la obtención de la misma.

Proceso al Sulfato o Kraft

En el proceso al sulfato, se alimentan las astillas y el licor blanco ----
($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$) a un digestor en donde la mezcla se lleva a un rango de temperatura de 171 a 177°C, a una presión aproximada de 7.037 a 7.74 Kg/cm^2 , ya --
sea por la inyección directa de vapor o por la recirculación de licor a través de -
un cambiador calentado por vapor, al lado del digestor. Al completarse el período
de cocción que puede requerir de 2 a 4 horas, se vacía el contenido del digestor
a un foso de purga, en donde los vapores que se generan se utilizan para calen-
tar agua. De este proceso puede recuperarse trementina, el cual es un subprodu-
to importante en el tratamiento de maderas suaves. Los gases no condensables,
como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y bióxido de azufre (SO_2) son liberados -
para tratarlos separadamente y controlar las emisiones sulfurosas.

La pulpa se envía a los lavadores de material pardo, para eliminar el exceso
de productos químicos que pudieran disminuir la calidad de ésta.

En general, hay tres etapas de lavado con el agua que fluye a contracorriente
con la pulpa, recogiendo productos químicos del proceso que se convierten en
un licor negro débil que contiene aproximadamente entre 3 y 5% de sólidos tota-
les. Este licor se concentra hasta más de 55% de sólidos totales en un evapora-

dor en el que se produce un licor negro fuerte con un contenido tan alto de sólidos orgánicos que se quema cuando es rociado en el horno de recuperación. La torta de sal (término industrial con el que se nombra al Na_2SO_4), se añade también al horno de recuperación para proporcionar un reemplazo del licor que contiene azufre y compensar con esto las pérdidas en varios puntos del proceso. En el horno de recuperación el sulfato se reduce a sulfuro y algo del cáustico se convierte en carbonato al contacto con los gases que contienen dióxido de carbono (CO_2), - que es producido por la combustión de la materia orgánica. Estos materiales se funden a la temperatura del horno y las sales fundidas, llamadas fusión escurren por los tubos del horno y se colectan en el fondo de éste. Después son vaciados al tanque de disolución de la fusión.

El licor débil recuperado se enfría y disuelve la fusión, produciendo un licor verde (contiene principalmente $\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) que debe caustificarse antes de que pueda ser regenerado. Los residuos del clarificador contienen productos valiosos, por lo que se lavan, y el licor débil se recircula al tanque de disolución. El licor verde que contiene carbonato de sodio, se caustifica por adición de cal, convirtiendo el carbonato en hidróxido de sodio y produciendo carbonato de calcio precipitado. El producto de la operación de adición de cal es el licor blanco que debe clarificarse antes de hacerlo recircular al digestor. El lodo producido en el clarificador es casi carbonato de calcio puro. Este se lava y filtra, y la torta de carbonato de calcio se alimenta a un horno donde se quema el mismo (CaCO_3) hasta óxido de calcio (CaO), el cual es recirculado al caustificador.

En el diagrama no. 3, se muestra el proceso al sulfato o kraft.

Obtención de Pulpas al Sulfito

El primer proceso de obtención de pulpa al sulfito, en el cual la base utilizada fue el calcio, junto con el ácido sulfuroso. Este proceso adolece de dos principales defectos, y ellos son que sólo se utiliza con éxito para procesar especies de madera que contienen resinas en pequeñas cantidades y que no es fácil la recuperación de licor de cocción ácido, porque al calcinar el líquido evaporado, el calcio se combina con el azufre para formar el sulfato de calcio, el cual sale del horno como cenizas; pero si se utiliza como base al magnesio y el líquido de desecho se evapora y calcina, el magnesio se convierte en óxido de magnesio y el azufre aparece en los gases de combustión enfriados; de esta manera es posible un proceso cíclico por el cual la energía existente en la materia orgánica es recuperada en forma de vapor y fuerza, y los productos químicos liberados en la combustión pueden volver a combinarse para dar un nuevo líquido de cocción.

El amoníaco también puede ser utilizado como base, en este caso se evapora el líquido de desecho y los residuos se calcinan. Sin embargo, el amoníaco no puede recuperarse económicamente aunque si el vapor, la energía y el azufre.

El sodio también puede ser empleado como base en este proceso, se pueden efectuar las mismas operaciones que en el caso anterior (base amoníaco) para la recuperación de licor de cocción, pero el sodio no puede recuperarse económica-

mente.

Por todo lo mencionado, se describirá el proceso de obtención de pulpa al sulfito con base de magnesio.

Obtención de Pulpas al Sulfito con Base de Magnesio

En este proceso se alimentan las astillas y el licor de cocción $Mg(HSO_3)_2$ a un digestor y la mezcla se lleva a una temperatura de 125 a 160°C, a una presión aproximada de 6.33 a 7.74 Kg/cm², ya sea por la inyección directa de vapor o por la recirculación de licor a través de un cambiador calentado por vapor, al lado del digestor. Al completarse el período de cocción que puede requerir de 6 a 12 horas, se vacía el contenido del digestor a un foso de purga. De este foso, la pulpa es enviada a los lavadores para eliminar el exceso de productos químicos que pudieran disminuir la calidad de ésta. En este caso, hay tres etapas de lavado con el agua que fluye a contracorriente con la pulpa, recogién- dose productos químicos del proceso que se convierten en un licor rojo débil, el cual es almacenado en un tanque. Este licor es concentrado, primero en evaporadores de múltiple efecto y después por uno de contacto directo de los cuales se obtiene licor rojo fuerte, que es almacenado en tanques y los condensados provenientes de los evaporadores de múltiple efecto son almacenados en tanques de condensados. El licor rojo fuerte tiene un alto contenido de sólidos orgánicos, los cuales son quemados en un horno de recuperación y los gases de combustión ($MgO + SO_2$), pasan por un mecanismo de colección de polvos. El óxido de -

magnesio (MgO) proveniente del colector de polvos es enviado a un tanque de lechada; la lechada de $Mg(OH)_2$ es bombeada a un sistema de absorción de SO_2 (recuperado y de repuesto) es enviado por abajo del sistema de absorción, hacia una torre de fortificación (almacenaje ácido), el cual vuelve a ser utilizado como licor fresco de cocción $Mg(HSO_3)_2$.

En el diagrama no. 4, se muestra el proceso de obtención de pulpas al sulfito con base de magnesio.

Obtención de Pulpas Semiquímicas

La primera etapa o etapa química de los procesos semiquímicos, en los cuales el material fibroso se sujeta a una acción química con o sin aplicación de calor, tiene como objetivo principal un debilitamiento del complejo lignina-carbohidrato en la unión entre fibras.

En la segunda etapa o etapa mecánica del proceso semiquímico, el material fibroso parcialmente convertido en pulpa, se sujeta a las acciones independientes, pero casi siempre superpuestas, de separación de las fibras (desfibración) para obtener la pulpa y procesamiento de la misma (refinación) para acondicionarla y con esto enviarla a la planta elaboradora de papel.

Un ejemplo de este tipo de obtención de pulpas, lo constituye el proceso al sulfito neutro semiquímico (SNSQ) que se describe a continuación.

Obtención de Pulpa al Sulfito Neutro Semiquímico (SNSQ)

En un tanque disolvedor se colocan sulfito de sodio y carbonato de sodio, formándose una disolución de estos compuestos; después el licor es generado por medio de la sulfitación del carbonato de sodio en tanques de sulfitación. En esta parte del proceso, el bióxido de azufre se prepara quemando azufre, el cual es absorbido en una torre de absorción, en ésta se hace circular una solución de carbonato de sodio. El licor blanco obtenido de las operaciones anteriores, es retenido en un tanque de almacenamiento.

En este proceso se alimentan las astillas y el licor blanco a un digestor, para la etapa de cocción y la mezcla se lleva a una temperatura de 160 a 182°C, a una presión aproximada de 7.037 a 11.25 Kg/cm², ya sea por la inyección directa de vapor o por la recirculación del licor blanco a través de un cambiador calentado por vapor, al lado del digestor. Al completarse el período de cocción que puede requerir de hasta aproximadamente más de 3 horas, el contenido del digestor es descargado a un sistema de purga, del cual parte del licor negro es recirculado al digestor y otra es enviada al sistema de recuperación de reactivos.

La pulpa obtenida de la operación anterior es llevada al sistema de refinación y después a los lavadores para eliminar el exceso de productos químicos que pudieran disminuir la calidad de ésta. El licor débil proveniente de los lavadores es concentrado en un evaporador o es enviado hacia la recuperación de licor a la planta elaboradora de celulosa al sulfato o kraft.

Si el licor negro es enviado al sistema de evaporación, el licor producido es un licor negro fuerte con un alto contenido de sólidos orgánicos que son quemados cuando el licor es rociado en el horno de recuperación. De éste, se obtiene --- $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ que son enviados a la planta elaboradora de celulosa al sulfato o al mercado.

En el diagrama no. 5, se muestra el proceso de obtención de celulosa al sulfato neutro semiquímico (SNSQ).

De los procesos químicos, el proceso al sulfato o kraft, ha venido prácticamente a desplazar a los otros procesos químicos. Actualmente el proceso al sulfato o kraft es el más utilizado en el país, debido a las ventajas que ofrece sobre los otros procesos químicos, como son:

- a) El tiempo de cocción es más rápido.
- b) El papel fabricado con este tipo de celulosa es más resistente.
- c) El proceso permite la recuperación de reactivos y energía, lo cual lo hace económicamente más atractivo.
- d) Puede utilizarse cualquier clase de madera.

Es por estas razones por las cuales este trabajo se orienta al estudio del manejo, tratamiento y reutilización del agua para las industrias elaboradoras de celulosa y papel que utilizan el proceso al sulfato o kraft.

La economía de este proceso está basada en la recuperación de reactivos químicos y de la generación de energía para el mismo; por ejemplo: la producción de vapor en base a la combustión de los productos orgánicos provenientes de la digestión de la madera. Si todos los productos químicos empleados en la digestión de la madera se mandaran al drenaje, el costo del proceso sería prohibitivo, y la contaminación de las corrientes sería tan severa que impediría la reutilización de estas aguas para fines agrícolas, industriales o domésticos.

La industria de la celulosa y del papel requiere del manejo de elevados volúmenes de agua, considerada como materia prima en este sector industrial. En términos generales, la demanda de agua en esta industria es significativa pues no se ha generalizado la práctica de recirculación del agua de proceso que en algunos casos requerirán de un tratamiento previo. La recirculación sólo es practicada -- cuando los dispositivos para tal efecto están integrados de origen en el equipo -- empleado.

La presencia de desechos en las aguas residuales en estos procesos se debe a efluentes del lavado de la pulpa, evaporación y blanqueo, constituidos principalmente de sales orgánicas e inorgánicas de sodio. Aquí es básico el fenómeno de dilución, ya que en todo proceso de elaboración de celulosa y papel, la necesidad de agua para la dilución y transporte de celulosa es grande, es por esto -- que las aguas residuales arrastran también productos orgánicos provenientes de la degradación de la celulosa (celulosa soluble, azúcares, etc.), así como los derivados de la degradación de la lignina y cantidad de finos de fibra (fibra rota) con lodos negros.

Los desechos sólidos provienen básicamente del patio y corte de madera y del horno de cal.

Por lo que se refiere a las aguas residuales provenientes de la elaboración de papel, éstas se originan en el agua que pasa a través de las mallas de alambre, regaderas y parte de la maquinaria, batidores, tanques mezcladores y reguladores, etc. A estas aguas se les denomina "aguas blancas" las cuales contienen fibras finas, pigmentos y materiales pesados.

Existen diversos tratamientos por los cuales se pueden eliminar estos contaminantes, ya que si no reciben el tratamiento adecuado, redundará en los aspectos legales sobre vertido de aguas residuales que el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), fija a cada industria.

Uno de los objetivos de la presente tesis es que las aguas residuales reciban el tratamiento adecuado para que cumplan con las condiciones particulares de descarga que fija dicha secretaría, sin perder de vista el aspecto económico y además sean reutilizadas. Esto no necesariamente debe ser en el proceso mismo ya que no en todas partes de éste se podrían reutilizar, pero si en otras como son: riego de jardines, lavado de equipos, sanitarios, etc. Así con esto se tendría un aprovechamiento óptimo del agua tratada y esto conduce a beneficios económicos.

Otro de los puntos importantes es lo que se refiere al incremento del índice de recirculaciones, lo cual también implica reutilización del agua y como conse

cuencia un mayor aprovechamiento de la misma. Esto es, en algunas partes del proceso como son: preparación de la madera, lavado de la pulpa, algunas veces blanqueado, espesadores y en las máquinas para elaborar papel, en servicios auxiliares como es el caso del agua de enfriamiento, se puede emplear agua ya sea proveniente de algún proceso o directamente del mismo.

También es importante considerar el renglón de la recuperación de subproductos, particularmente fibra que se pierde en algunas partes del proceso. Esto redundará en un decremento en la carga de contaminantes de las aguas residuales, además de que esa fibra puede ser reutilizada.

Precisamente durante el primer tratamiento de las aguas residuales, se realiza la recuperación de subproductos valiosos. Más adelante, de acuerdo al tipo de contaminante se determinará la clase de tratamiento más apropiado.

El buen aprovechamiento del agua y la recuperación de subproductos disminuirá en forma favorable la carga de contaminantes. Además si el agua residual recibe el tratamiento adecuado puede ser reutilizada.

Los beneficios para la industria de la celulosa y del papel si incrementa la eficiencia de sus sistemas internos de manejo de agua son:

- a) Disminución de los costos de captación, conducción y tratamiento de las aguas de primer uso.
- b) Recuperación de subproductos, particularmente fibra.

- c) Disminución en la carga de contaminantes , con repercusiones legales positivas.
- d) Disminución en el volumen del efluente , aminorando los costos de tratamiento.

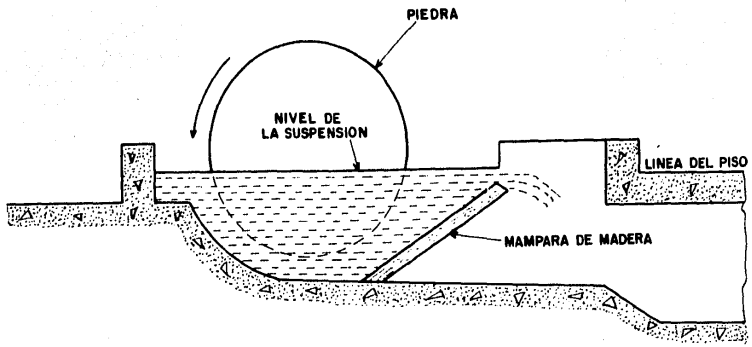


DIAGRAMA No. 1

DIAGRAMA DEL PROCESO
DE MOLIENDA PARA LA OBTENCION
DE PULPA O PASTA MECANICA



ELABORADO POR:
FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

PISO DE CARGA

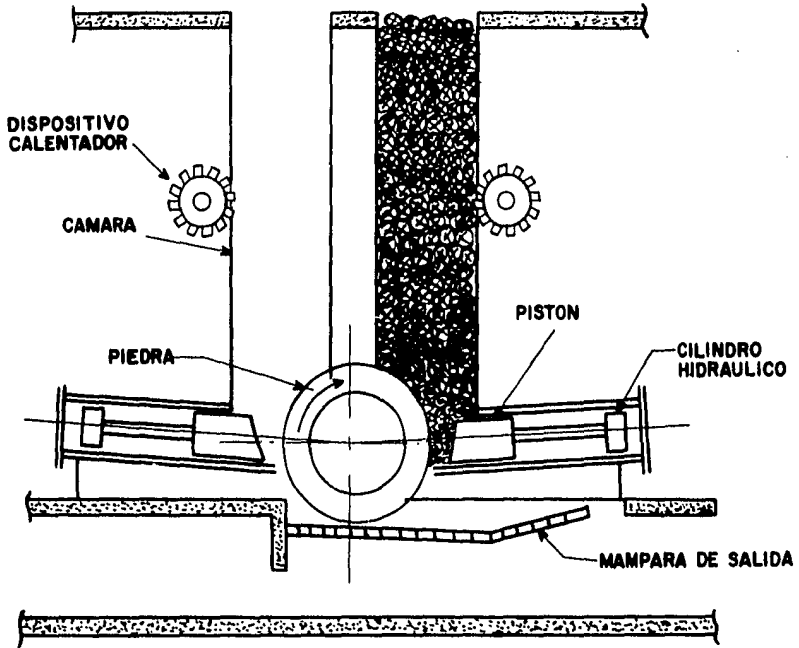


DIAGRAMA No. 2

DIAGRAMA DEL MOLINO
WATEROUS DE CAMARA
HIDRAULICA PARA LA
ELABORACION DE PULPA
O PASTA MECANICA



ELABORADO POR :
FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ
GARCIA

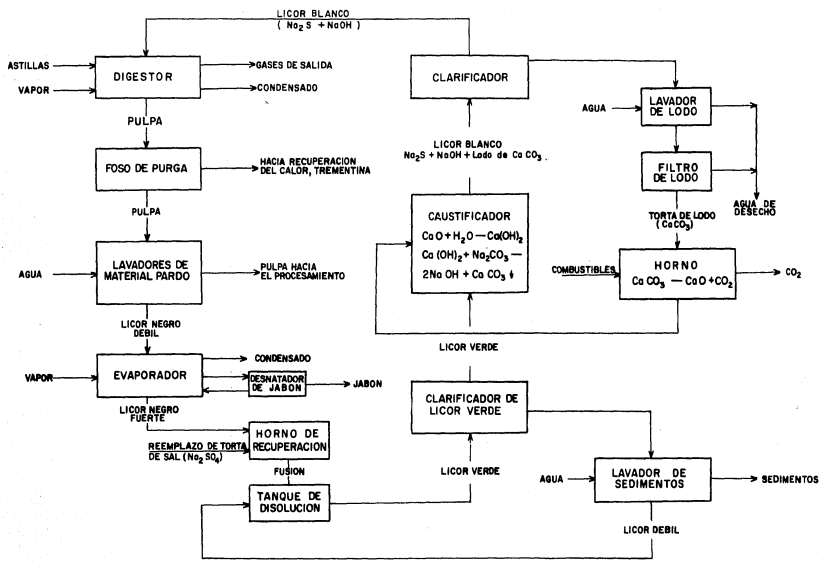


DIAGRAMA No. 3

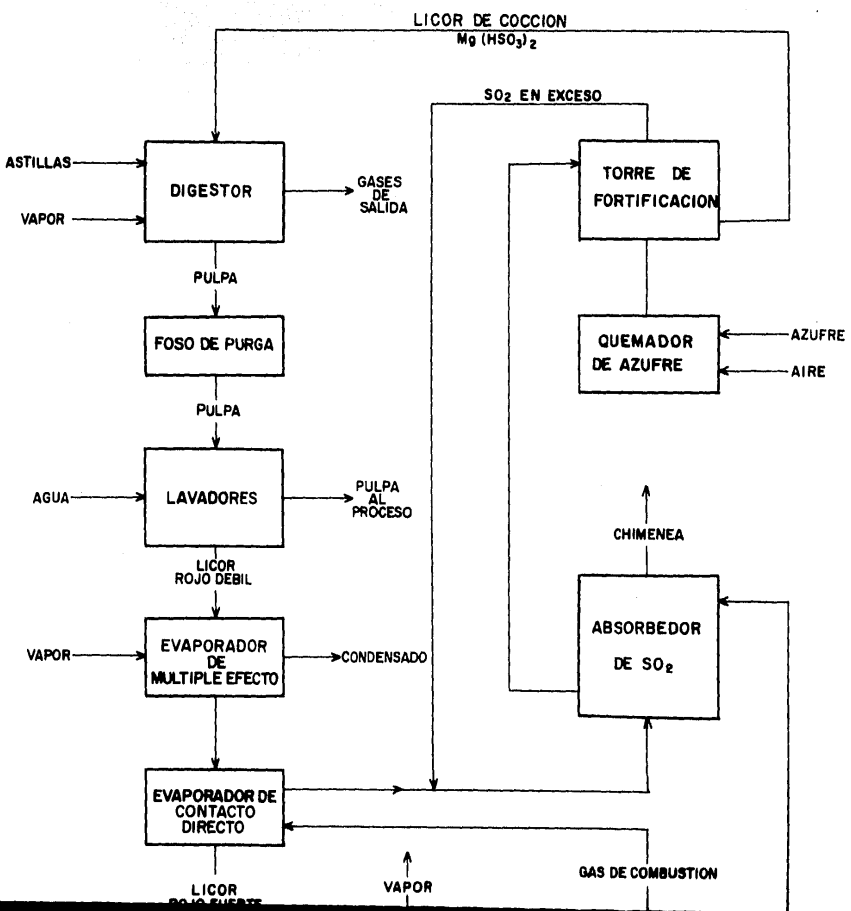
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO AL SULFATO O KRAFT



ELABORADO POR:
FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

DIAGRAMA No. 4

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO AL SULFITO CON BASE DE MAGNESIO



REVISION

ELABORACION
FR

DO POR:
ANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

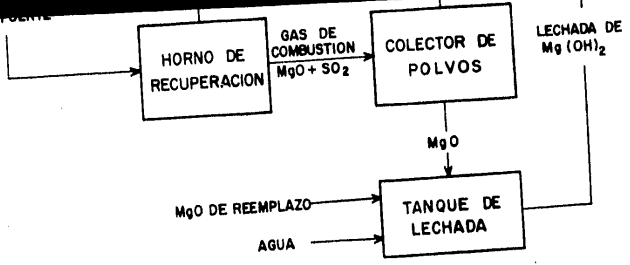
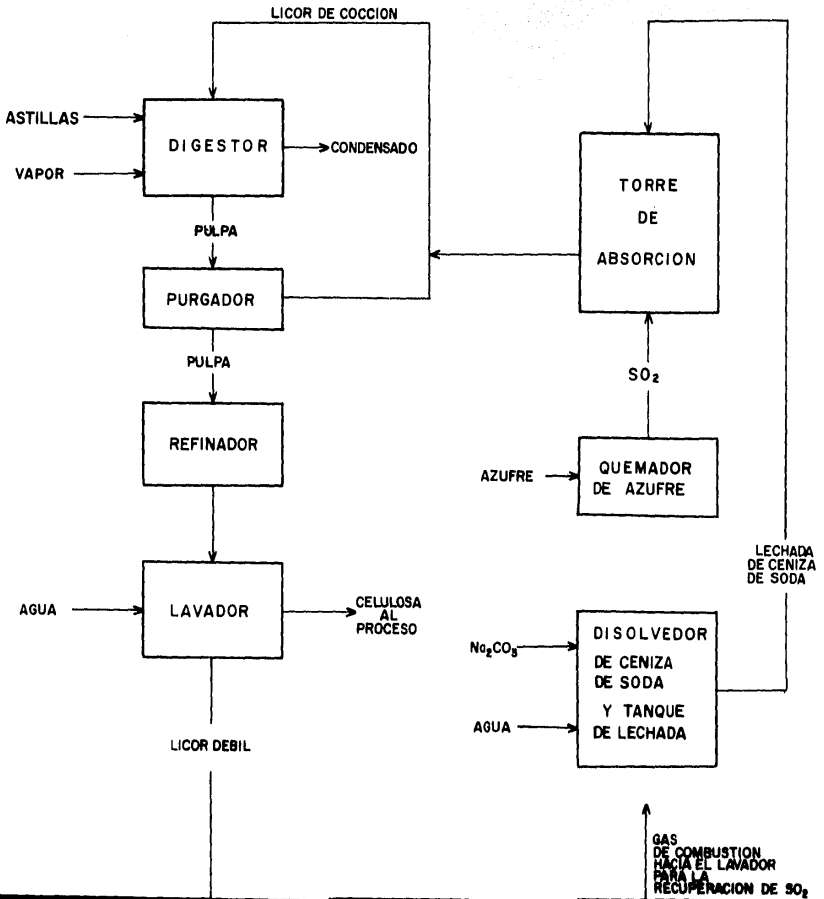


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PREPARACION DE CELULOSA AL SULFITO NEUTRO SEMIQUIMICO SNSO

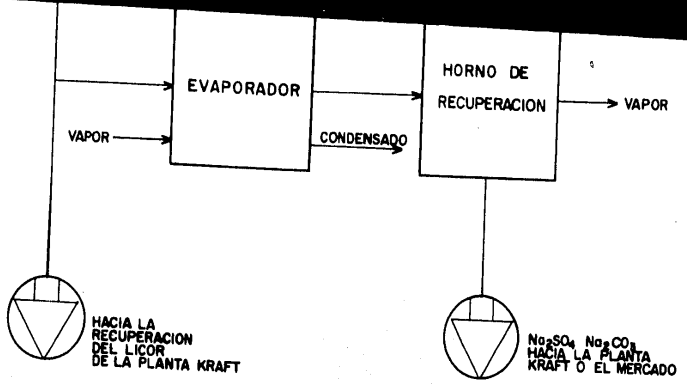
DIAGRAMA No. 5



REVISION

ELABORADA
FRA

DO POR:
ENCISO JAVIER HERNANDEZ GARCIA



2. PROCESO AL SULFATO O KRAFT

Con referencia al diagrama no 6, que se anexa al final del capítulo, el proceso al sulfato o kraft puede resumirse en las siguientes etapas:

1. Los troncos de madera son descortezados en un tambor descortezador (TD-01) y se convierten en astillas en el astillador (TS-01), el cual consta de varias cuchillas. Las astillas se descargan en un tamiz (SI-01) y las astillas más grandes se reastillan en el reastillador (TS-02), del cual las astillas obtenidas se recirculan a SI-01; haciendo con esto un sistema cerrado entre SI-01 y TS-02.
2. Las astillas de tamaño homogéneo se almacenan en silos o tanques de almacenamiento (FA-01 A/B). Estas astillas se llevan por medio de transportadores o por gravedad, desde FA-01 A/B hasta el digestor (DC-01) al cual se alimentan las astillas por la parte superior del mismo.

Al mismo tiempo se le agregan los reactivos químicos (licor blanco) y vapor para su cocción. La relación de astillas y licor se controla cuidadosamente, así como la concentración del licor, el contenido de humedad, tiempo de digestión, temperatura de digestión, etc.

Esta operación tiene por objeto extraer la lignina, compuesto orgánico que se encuentra en las fibras de la celulosa y que actúa como cementante.

3. Las astillas de madera se cocen, durante el tiempo prescrito, bajo las condiciones apropiadas de presión y temperatura. El tiempo usual de cocción es de 2 a 4 horas, a una presión aproximada de 7.037 a 7.74 Kg/cm² y una temperatura de 171 a 177°C. Al cocerse la madera destilan el aguarrás y otros constituyentes volátiles que son condensados por medio del condensador (EA-01) y se almacenan en FA-06, los cuales pueden venderse como subproductos.

4. Al final de la cocción, la pulpa y el licor se soplan dentro de un tanque de descarga (FA-02). El vapor a presión en el digestor, es el propulsor de esta descarga y hace que el digestor quede limpio, listo para otro período de cocción. El vapor de la descarga se utiliza para calentar agua que es empleada en la fábrica.

5. En FA-02 quedan la pulpa y el licor negro que contienen los reactivos de cocción gastados, así como la lignina y otros sólidos extraídos de la madera. La pulpa y el licor negro se diluyen con el licor negro diluido. De FA-02, la pulpa descargada se bombea a una primera etapa de depuración en (FD-01 A/B) que tiene por objeto eliminar del proceso astillas o nudos grandes que no se cocieron convenientemente. A continuación la suspensión formada de celulosa y licor negro circula a través de lavadores de pulpa (WA-01 A/B/C), en donde el licor que contiene el residuo soluble de la cocción, se separa de la pulpa y se almacena en un tanque de almacenamiento (FA-05).

El sistema de lavado está compuesto por 3 etapas a contracorriente. En la tercera etapa la celulosa se lava con agua caliente, el filtrado de ésta se emplea para lavar la celulosa y a su vez con el filtrado de la segunda se lava la celulosa de la primera y el filtrado de ésta que es el licor negro concentrado, se almacena en FA-05 y de aquí se envía al proceso de recuperación, el cual será descrito posteriormente.

6. De los lavadores, la celulosa se manda a un tanque de suspensión de pulpa tratada (FA-03). La celulosa lavada es depurada por medio de un separador centrífugo y vibratorio (FD-02) y purificada en un espesador (WA-02) y la celulosa purificada es almacenada en FA-04. Parte del licor negro proveniente de los lavadores se utiliza como diluyente para el licor de cocción y para la suspensión de pulpa sucia. El resto se manda a la unidad de recuperación, en donde se regularán los productos químicos utilizados en la cocción.

7. La celulosa que se obtiene hasta este punto FA-04, se puede enviar a las laminadoras y obtener como producto celulosa cruda o en su defecto continuar el tratamiento de la celulosa a través de la planta de blanqueo.

El blanqueo de la celulosa se puede considerar como una continuación de la digestión ya que tiene por objeto eliminar la lignina residual de la celulosa que es el compuesto orgánico que le da el color café.

8. De FA-04, la celulosa se bombea a la planta de blanqueo, este proce-

so se lleva a cabo en 5 etapas, que son, de acuerdo al orden en que se aplican los distintos reactivos químicos a la celulosa café.

La primera etapa es un tratamiento con cloro gaseoso el cual se efectúa en la torre de cloración (TC-01). Una vez realizado dicho procedimiento, la celulosa es lavada en WA-03A.

Del lavador WA-03A, la celulosa es sometida a un tratamiento con sosa cáustica en la torre de extracción (TE-01), donde se lleva a cabo la segunda etapa que es la extracción alcalina. Habiendo finalizado esta etapa, la celulosa es nuevamente lavada en WA-03B.

Ya lavada, la celulosa pasa por una tercera etapa, la cual es el primer paso de blanqueo, este proceso se lleva a cabo en la torre de blanqueo (TB-01) utilizando para tal fin hipoclorito de calcio. Terminado este tratamiento la celulosa es lavada en WA-03C.

La celulosa obtenida en WA-03C es enviada a una cuarta etapa, ésta consiste en efectuar una segunda extracción alcalina con sosa cáustica en la torre de extracción (TE-02). Finalizado este procedimiento, la celulosa es enviada al lavador WA-03D.

Por último, de WA-03D la celulosa pasará por una quinta etapa que es el segundo paso de blanqueo, este tratamiento se lleva a cabo en la torre de blanqueo (TB-02) utilizando para tal fin hipoclorito de calcio. Finalizada esta etapa, la celulosa es lavada en el lavador (WA-03E) y después almacenada en un tanque para celulosa blanqueada (FA-07).

Al final de esta etapa la celulosa tiene el grado de blancura deseado.

9. Después de haber sido blanqueada, la celulosa es sometida a una etapa de depuración en equipos ciclónicos (FD-03 A/B/C), con objeto de eliminar pequeñas astillas y trozos de corteza.
10. De FD-03 A/B/C, la celulosa se neutraliza con dióxido de azufre -- (SO_2) en un tanque de neutralización (FA-08) para estabilizar su blancura y eliminar cloro residual, con objeto de evitar problemas a la fábrica de papel. Terminado el tratamiento, la celulosa blanqueada se envía a la máquina formadora de papel (MF-01). Esta consta esencialmente de las siguientes partes: alimentador, mesa de formación, prensas, secadores, calandria, enrolladora.

Alimentación. - La celulosa en suspensión es alimentada en la llamada caja de alimentación. Esta consiste básicamente en un sistema que transforma un flujo con forma de tubo en uno con forma de lámina, con lo cual la suspensión queda en condiciones de pasar a la siguiente etapa: mesa plana.

La mesa plana. - En esta parte se elabora propiamente la hoja de papel. Consta de una fina malla metálica semejante a una mesa que gira continuamente, sostenida por una serie de rodillos y accesorios. La parte superior de la malla se cubre con la celulosa en suspensión, extendida a todo lo ancho de la mesa, puesto que la malla gira con cierta velocidad, se forma gradualmente una capa de líquido y fibra sobre de ella. Al mismo tiempo, por gravedad se inicia la eliminación del agua; el líquido pasa por los orificios de la malla y la celulosa permanece en la misma. --

Así se va configurando la hoja de papel, completamente mojada y distribuida uniformemente sobre la mesa plana.

Además, para una mayor eliminación del agua, la mesa cuenta con una serie de cajas colocadas a lo ancho de la malla que, al succionar o crear un vacío por abajo de la trama, eliminan también el agua. El extremo de la mesa tiene un rodillo de gran diámetro, el cual se encarga de eliminar más agua. Al término de esta etapa, la hoja posee ya ciertas características, como la humedad que impide cambiar su estructura interna a menos de que se destruya. Puede afirmarse que en esta etapa del proceso la hoja de papel adquiere prácticamente su apariencia final, esté bien o mal formada. Las siguientes partes del proceso mejoran únicamente - en pequeñas proporciones la calidad del papel.

Prensas. - Cuando la hoja sale de la mesa plana, lleva consigo una cantidad elevada de humedad. Esta es eliminada parcialmente mediante una serie de prensas que comprimen la hoja.

La mayoría de las prensas, constan de dos rodillos recubiertos con telas especiales (fieltros) que sostienen el papel antes y después de prensarlo. Una máquina común dispone de una serie de tres prensas para expulsar el agua y dar forma a la hoja.

Secado. - Como los sistemas de prensado sólo eliminan una determinada cantidad de agua; se tiene que recurrir a otros dispositivos para continuar eliminando el agua que, por razones técnicas y económicas, no fue posible separar mediante el vacío o la presión.

Esos otros dispositivos son los secadores, que en su mayoría son una -

sucesión de rodillos o tambores rotatorios huecos, con una superficie lisa sobre la cual pasa la hoja de papel. En esta parte se elimina el agua por medio del calor transmitido por los rodillos secadores que contienen en su interior vapor de agua. La hoja se calienta conforme pasa de un rodillo a otro, evaporando los ditimos residuos de agua, hasta salir del último rodillo.

Acabado del Papel. - Una vez que el papel está seco, pasa a otra parte de la máquina, la cual se denomina "calandria". Esta se compone de una línea de rodillos sobrepuestos, por los cuales circula la hoja y queda planchada o alisada, debido a que los rodillos tienen una superficie pulida que ejerce presión.

Finalmente, la hoja llega a una enrolladora o embobinadora donde se forman los rollos de papel.

Recuperación del Licor de Cocción

El licor negro que es separado o extraído de la celulosa café y que fue almacenado en FA-05, es enviado al sistema de evaporación, aumentándose de esta manera el contenido de sólidos y disminuyendo el contenido de agua en el licor negro. La concentración de licor en FA-05 contiene un 16% de sólidos, - éste se concentra en evaporadores de múltiple efecto (EA-02 A/B/C/D/E) hasta un 50% de sólidos. Durante la evaporación, se separa un jabón que se vende - como subproducto.

El licor negro se concentra todavía más, en un evaporador de contacto directo, como lo es un disco evaporador (EA-03) que forma parte de la unidad de recuperación, en donde, por contacto con los gases calientes de la misma undad, se aumenta aún más el contenido de sólidos del licor negro hasta aproximadamente 65%.

El licor espeso se quema entonces, en el horno de recuperación (FR-01). La lignina y otros sólidos orgánicos de la madera, mantienen la combustión y los reactivos de la cocción forman una masa fundida en el fondo del horno. El sulfato de sodio presente en el licor, y el que se agregó como producto químico de reposición, se reduce a sulfuro de sodio. El calor provocado por la combustión, es aprovechado para la generación de vapor en la caldera, que forma parte del mismo equipo y para vapor de proceso.

Las sales inorgánicas del licor negro, son recuperadas en forma de sales

de sodio en el tanque fundidor (FA-10); las cuales se reciben en un tanque disolvedor (FA-11), para formar el "licor verde". Este "licor verde", contiene principalmente sulfuro de sodio, sulfato de sodio y carbonato de sodio.

Los gases de combustión procedentes de la combustión del licor negro, son sometidos a dos etapas de lavado: Una de éstas se realiza en el humidificador - (HU-01) y otra en la torre lavadora de gases (TW-01), pasando también por un tratamiento en el precipitador electrostático (FD-04), para eliminar completamente el polvo (sulfato de sodio). La eficiencia de este sistema de tratamiento es - del 99%, los gases ya tratados son descargados a la atmósfera por medio de la - chimenea.

El licor verde obtenido de la unidad de recuperación es tratado con cal viva a través del apagador de cal (SL-01) y tres caustificadores (CA-01 A/B/C), con este tratamiento, el carbonato de sodio presente en el licor verde, es transformado en hidróxido de sodio (sosa cáustica) y se obtiene también en la reacción un sedimento formado por carbonato de calcio, este último es separado del licor - blanco en un tanque clarificador (FD-05), de donde, después de lavar el lodo - en WA-04, es alimentado al horno de calcinación (FL-01) para regenerar la cal viva (óxido de calcio) que se utiliza en el proceso.

El hidróxido de sodio formado en CA-01 A/B/C y que es separado en FD-05, se almacena en un tanque para licor blanco (FA-12) y de aquí se envía a DC-01 como licor de cocción, completándose así el ciclo de recuperación de reactivos.

LISTA DE SIMBOLOS

MATERIA PRIMAS		PRODUCTOS		SERVICIOS	
CDM	DESCRIPCION	CDM	DESCRIPCION	CDM	DESCRIPCION
CDM 01	AGUA	CDM 01	AGUA	CDM 01	AGUA
CDM 02	AGUA DE CALIENTE	CDM 02	AGUA DE CALIENTE	CDM 02	AGUA DE CALIENTE
CDM 03	AGUA DE FRIO	CDM 03	AGUA DE FRIO	CDM 03	AGUA DE FRIO
CDM 04	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 04	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 04	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 05	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 05	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 05	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 06	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 06	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 06	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 07	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 07	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 07	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 08	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 08	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 08	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 09	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 09	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 09	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 10	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 10	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 10	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 11	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 11	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 11	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 12	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 12	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 12	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 13	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 13	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 13	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 14	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 14	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 14	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 15	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 15	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 15	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 16	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 16	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 16	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 17	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 17	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 17	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 18	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 18	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 18	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 19	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 19	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 19	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 20	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 20	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 20	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 21	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 21	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 21	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 22	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 22	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 22	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 23	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 23	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 23	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 24	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 24	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 24	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 25	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 25	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 25	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 26	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 26	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 26	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 27	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 27	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 27	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 28	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 28	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 28	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 29	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 29	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 29	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 30	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 30	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 30	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 31	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 31	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 31	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 32	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 32	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 32	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 33	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 33	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 33	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 34	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 34	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 34	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 35	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 35	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 35	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 36	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 36	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 36	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 37	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 37	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 37	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 38	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 38	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 38	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 39	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 39	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 39	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 40	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 40	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 40	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 41	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 41	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 41	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 42	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 42	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 42	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 43	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 43	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 43	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 44	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 44	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 44	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 45	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 45	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 45	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 46	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 46	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 46	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 47	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 47	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 47	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 48	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 48	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 48	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 49	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 49	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 49	AGUA DE CALIENTE Y FRIO
CDM 50	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 50	AGUA DE CALIENTE Y FRIO	CDM 50	AGUA DE CALIENTE Y FRIO

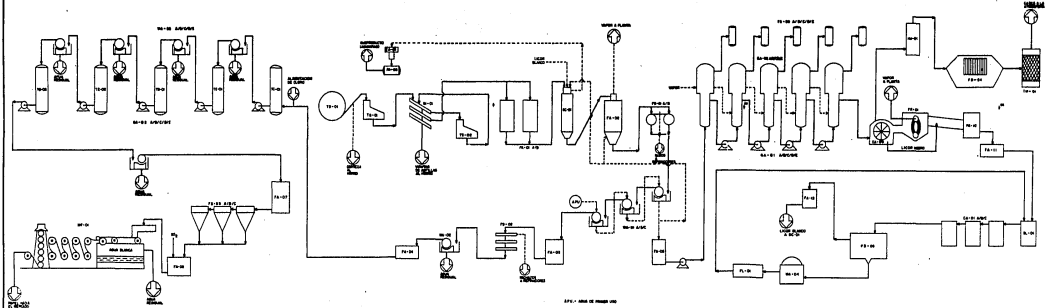



DIAGRAMA NO. 6
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO AL SUJETO O TRAT

 ESCUELA DE INGENIERIA

3. MANEJO Y CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA

La manufactura de celulosa y papel requiere del manejo de considerables volúmenes de agua que se destinan al transporte de fibra de un proceso a otro, lavado y remoción de impurezas que se generan al transformar la madera a celulosa y alimentación a calderas de recuperación de licor y a calderas de producción de vapor.

En términos generales, la demanda de agua en este sector industrial, es elevada, pues no se ha generalizado la práctica de recirculación del agua de proceso - que en algunos casos requerirían de un tratamiento previo.

La industria de la celulosa y papel al igual que otras industrias, divide el uso del agua en cuatro categorías como son las siguientes:

- 1) Agua para Enfriamiento
- 2) Agua para Calderas
- 3) Agua para Proceso
- 4) Agua para Servicios Generales

Dentro de este sector industrial el mayor uso del agua corresponde a la utilizada dentro del proceso aunque se presentan variaciones dependiendo del tipo de industria que se trate, ya que en una industria no integrada de fabricación de papel, es de suponer que el consumo unitario de agua de primer uso para enfriamiento sea mayor, que el volumen destinado para el mismo fin en una industria integrada.

Para el caso del uso del agua en calderas, la situación se invierte, debido a que en una planta integrada existen calderas para generación de vapor y calderas de recuperación de reactivos, en tanto que para una planta no integrada de producción de papel, se utilizan exclusivamente calderas para generación de vapor.

Por lo que respecta al agua para proceso, esta es empleada directamente en las etapas de elaboración de celulosa, lavado y descortezado de las materias primas; también se utiliza en los lavadores de pulpa, en la etapa de blanqueado, - para lavar la celulosa blanqueada, sirve como regulador de consistencia; y además, es el vehículo que lleva a las fibras por los depuradores y refinadores hacia la máquina elaboradora de papel, en donde desempeña una función de lo más importante para la formación de las hojas de papel.

Observando la distribución de agua para cada etapa del proceso se puede - llegar a determinar los puntos en donde se ejerce la mayor demanda, o bien donde se efectúa la mayor descarga, para con esto ver la posibilidad de disminuir los - volúmenes de agua de primer uso y por consiguiente elevar los índices de recircu - lación.

En la tabla 3.1, se muestra la distribución del agua para las diferentes eta - pas del proceso al sulfato o kraft y del papel.

Dentro de las etapas del proceso que componen una industria de este tipo, la que presenta una mayor demanda de agua corresponde al de fabricación de -- papel, seguidas por las etapas englobadas dentro de la elaboración de celulosa.

Asimismo, en el diagrama no. 7, se presenta en forma resumida el manejo del agua en el proceso al sulfato o kraft y del papel.

TABLA 3.1

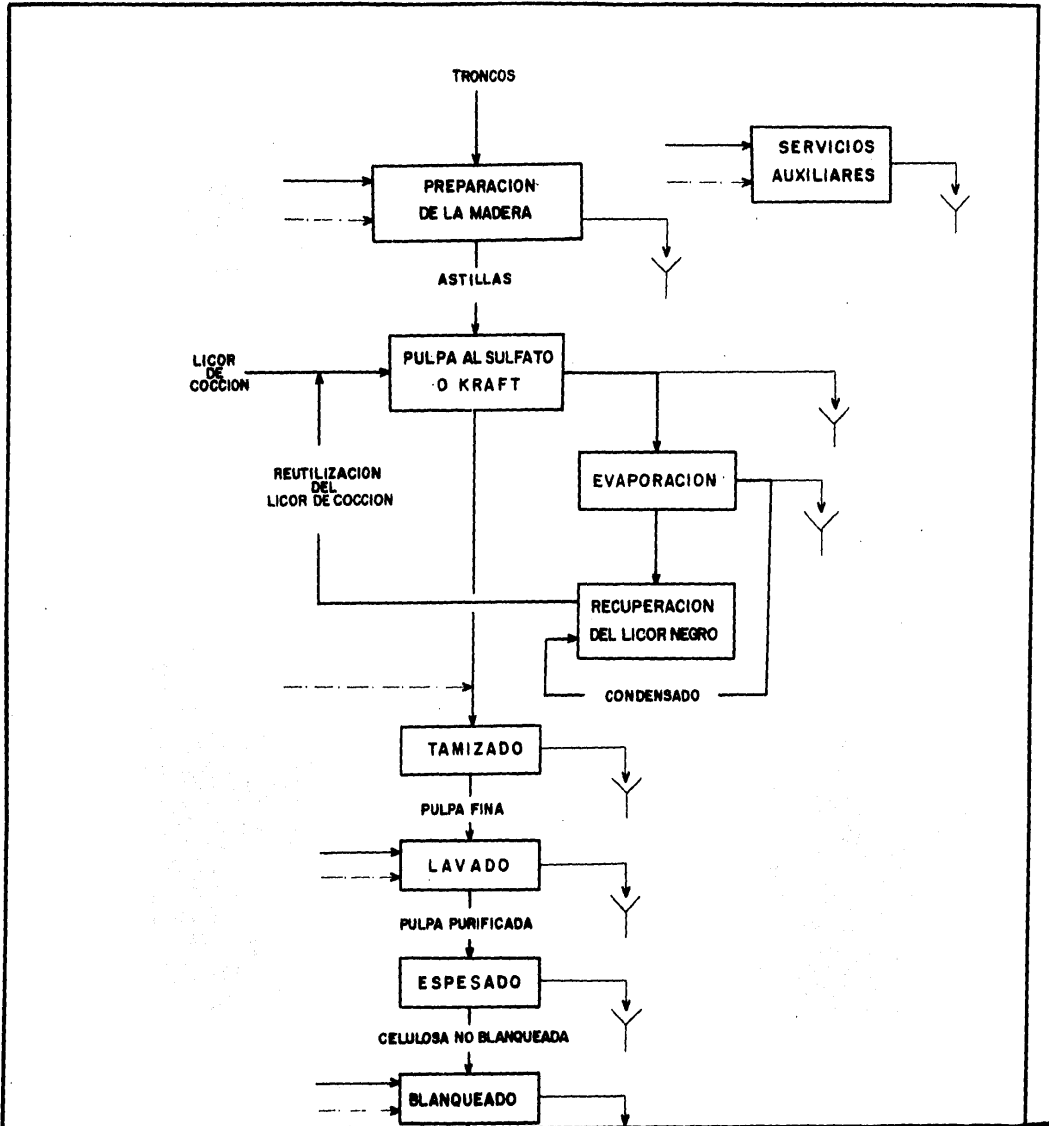
ALIMENTACION DEL AGUA POR ETAPA DEL PROCESO

ETAPAS DEL PROCESO	REQUERIMIENTOS* (m ³ /ton de producto)
Preparación de la Madera	10.685
Pulpa:	
Mecánica	21.764
Al Sulfato o Kraft	94.625
Al Sulfito:	
Recuperación de Ca	264.95
Recuperación de MgO	34.065
Lavado de la Pulpa	66.256
Blanqueado de la pulpa kraft:	
Semiblanqueado	94.70
Blanqueado Completo	94.70
Tamizado	189.25
Preparación de la pasta y elaboración de papel:	
Papel Periódico	105.98
Papel Fino	113.644
Papel para libros	37.85
Papel Tissue	113.644

NOTA: Los gastos son promedio, considerados como típicos en la industria de la celulosa y papel.

*Referencia No 2.

EPA, (1972), Water Quality Criteria, EPA, Washington D. C., p. 383.



CELULOSA BLANQUEADA

PREPARACION
DE LA PASTA

MAQUINA
PAPELERA

ACABADO Y
TRANSFORMADO

PRODUCTOS ACABADOS
DE PAPEL

LINEA DE PROCESO

AGUA DE PRIMER USO

AGUA RECICLADA

DESCARGAS

DIAGRAMA No. 7

DIAGRAMA DEL MANEJO DEL AGUA
EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA
KRAFT Y DEL PAPEL



ELABORADO POR:

FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

3.2. Calidad del Agua Requerida

El agua utilizada por la industria debe cumplir con ciertos requisitos de calidad ya que de otra manera será causa de problemas o fallas en los equipos, como son las siguientes:

1) Tratándose de contaminantes orgánicos en estado sólido o disuelto: fallas en los intercambiadores de calor, corrosión, espumas en calderas y torres de enfriamiento, destrucción de resinas de intercambio iónico y contaminación de los productos, los contaminantes orgánicos también contribuyen al crecimiento biológico en las torres de enfriamiento y por lo tanto no sólo incrementan los problemas por fallas sino también deterioran el material de las torres (madera).

2) Los contaminantes inorgánicos, usualmente en estado disuelto como los cloruros contribuyen a la corrosión de los metales, el calcio, magnesio y fósforo causan formación de escamas en las calderas e intercambiadores de calor, los carbonatos causan formación de espuma en las calderas, además de que acelera la deslignificación de la madera en las torres de enfriamiento, formación de bióxido de carbono (CO_2) en el vapor, lo cual causa corrosión en las líneas de retorno y los nutrientes de las plantas, fosfatos y nitratos contribuyen a la formación de lama en las torres de enfriamiento.

Los parámetros más importantes para indicar la calidad del agua son la composición de la materia en suspensión, sólidos disueltos, sólidos totales, alcalinidad y sus componentes, potencial hidrógeno (pH), composición de los gases

dísueltos, estado microbiológico del agua y grado de dureza y sus componentes, pudiendo considerar a este último como el parámetro más importante.

Los requerimientos de calidad para la reutilización del agua varían ampliamente, dependiendo del uso a que se destinen, algunas veces la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro de mayor importancia, pero a menudo - otras características son más importantes. Por ejemplo, un agua que contiene - sólidos gruesos o que tiende a desarrollar lama, será indeseable en la mayoría - de los sistemas de enfriamiento; color, dureza, concentración de minerales o -- iones específicos, temperatura, pH, salinidad y turbiedad pueden ser caracterís- ticas determinantes para un uso particular.

CALIDAD DEL AGUA EN FUNCION DE SU USO

De acuerdo con la clasificación presentada en el inciso anterior, el uso del agua en la industria de la celulosa y papel puede dividirse en cuatro categorías: agua para enfriamiento, agua para calderas, agua para proceso y agua para --- servicios generales.

3.2.1. Agua para Enfriamiento

La industria en general emplea grandes cantidades de agua para enfriamiento en muy diversos procesos; entre los principales usos está el enfriamiento de -- condensadores, condensados provenientes del digestor, lavado de la pulpa, etc.

El agua de enfriamiento a su vez puede clasificarse respecto a su uso en tres grupos:

- a) agua de enfriamiento para sistemas abiertos de un solo paso
- b) agua de enfriamiento para sistemas abiertos con recirculación
- c) agua de enfriamiento para sistemas cerrados con recirculación

Sistemas Abiertos de un solo paso.

Para este tipo de sistemas, generalmente el agua empleada es abundante, en estos casos, debido a que el agua sólo se utiliza una vez, el tratamiento que --

se le de al agua debe ser lo más barato posible.

La calidad del agua en este tipo de sistemas debe ser tal que no forme incrustaciones, que no sea corrosiva, sin sedimentos ni crecimientos orgánicos. En la figura 3.1, se muestra un ejemplo de este tipo de sistemas.



Figura 3.1 Sistemas Abiertos de un Solo Paso.

Sistemas Abiertos con Recirculación.

En estos sistemas existen pérdidas por evaporación, arrastre, purgas, lo cual hace necesario el uso de una cantidad de agua de repuesto (Generalmente 10% o menos).

En el arranque del sistema será necesario tratar la cantidad total de alimentación y una vez que se pone en marcha, sólo será necesario tratar el agua de repuesto.

La calidad del agua en estos sistemas, al igual que en el caso anterior, debe ser tal que no forme incrustaciones, que no sea corrosiva, sin sedimentos ni crecimientos orgánicos.

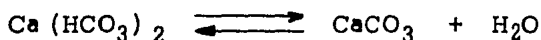
En la figura 3.2, se muestra un ejemplo de este tipo de sistemas.

Sistemas Cerrados con Recirculación.

En estos sistemas, teóricamente no debería haber pérdidas, y, por lo tanto, agua de repuesto, pero en la práctica no es así, en este caso se sigue el mismo criterio que en los sistemas abiertos con recirculación.

Los principales problemas que se pueden presentar en los sistemas de enfriamiento debido a la mala calidad del agua empleada son los siguientes:

1. Incrustaciones. - Estas se deben principalmente al carbonato de calcio - (CaCO_3) que se forma por:



La forma de predecir dichas incrustaciones, es mediante el índice de - Langelier y de acuerdo con éste, se determina la magnitud del tratamiento.

2. Corrosión. - Se debe principalmente al oxígeno disuelto, el método de - tratamiento más utilizado en los sistemas de enfriamiento es el uso de -

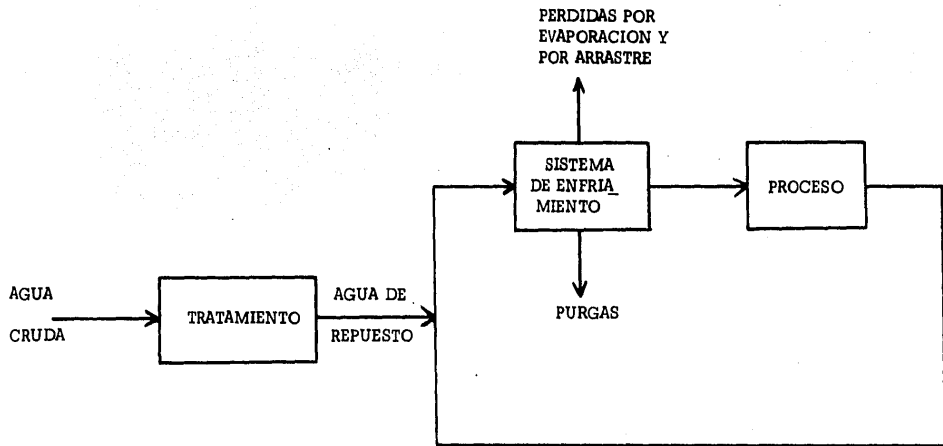


Figura 3.2 Sistemas Abiertos con Recirculación.

inhibidores de corrosión a base de sales de zinc y cromatos (pudiendo emplear fosfatos y nitratos en algunos casos).

3. Sedimentación. - Se debe al contenido de sólidos en suspensión.
4. Crecimientos Orgánicos. - Se debe a que algunas bacterias forman con el hierro y/o manganeso grandes masas que limitan el flujo de agua en los sistemas de enfriamiento.

En la tabla 3.2, se muestran las normas de calidad para el agua de enfriamiento.

3.2.2. Agua para Calderas.

Las calderas requieren de agua de alimentación con dureza mínima, debido a que al evaporarse ésta, la concentración de las impurezas se incrementa, ocasionando deterioros en los materiales de las calderas.

La formación de escamas en las calderas disminuye en forma notable el coeficiente de transferencia de calor y por consiguiente la eficiencia de las mismas. Los principales compuestos que contiene el agua responsables de la formación de escamas e incrustaciones en las calderas son el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y silicatos; una de las medidas más empleadas para prevenir la formación de escamas es por medio de ajustes del pH, recomendándose valores de pH entre 10 y 11.

Sobre la calidad del agua requerida para alimentación de calderas, se han establecido normas específicas. Como por ejemplo, las que dan Clayton de México, S.A., la Sociedad Electromecánica, S.A. de C.V., etc.

En las tablas 3.3 y 3.4, se muestran las recomendaciones sobre calidades del agua para alimentación de calderas.

Para el tratamiento del agua para calderas, existen dos clases:

- a) Tratamiento Externo
- b) Tratamiento Interno

Tratamiento Externo. - Es aquel que se efectúa fuera de la caldera. El agua que se trata se conoce con el nombre de "agua de repuesto" y es el agua con que es necesario alimentar a la caldera para compensar las pérdidas debidas al uso de vapor libre u otras causas.

La cantidad de agua de repuesto, está en función de la cantidad de agua evaporada, el retorno de los condensados y de las purgas de la caldera.

Tratamiento Interno. - Es aquel que se efectúa dentro de la caldera, con la finalidad de contrarrestar pequeñas cantidades de dureza y oxígeno resultantes del tratamiento externo o introducidas por el retorno de los condensados, consiste en:

- a) Adición de fosfatos solubles que eliminan la dureza.
- b) Adición de sulfito de sodio o hidrazina que al oxidarse consumiendo oxígeno, reducen la tendencia corrosiva del agua.
- c) Control del pH.

3.2.3. Agua para Proceso.

Las industrias pueden establecer normas más o menos rigurosas de las que generalmente se asignan a las municipalidades. El criterio para especificar las normas de calidad para las de enfriamiento es por lo general, más amplio, es decir, menos rígido que para las aguas de proceso o las destinadas para alimentación de calderas.

La mayor parte de las aguas de proceso debe ser de una mayor calidad que las aguas de enfriamiento. De los abastecimientos que proporcionan agua a la industria, la mayor parte de ésta debe ser tratada para satisfacer las necesidades del proceso. Las aguas de proceso también pueden ser recirculadas. En tales casos, se deben remover los contaminantes secundarios, pero esto puede proporcionar oportunidad para economizar calor y componentes útiles del producto o del proceso.

Por lo que se refiere a las impurezas en el agua de proceso para la industria de la celulosa y papel, las tolerancias varían con el tipo de producto elaborado. Independientemente de la categoría de la industria, la calidad del agua requerida

es característica de cada proceso específico y el criterio generalmente aplicado al respecto es el que proporcionan las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) confinadas en la tabla 3.5 y complementadas por la información referida en la tabla 3.6. Los parámetros que son objeto de un mayor control en el caudal de abastecimiento, son los sólidos totales y el color. Debido a las características de la materia prima empleada y del proceso de producción, éstos se encuentran en grandes cantidades en los efluentes generados por este sector industrial.

De los problemas que puede ocasionar el que no se cumpla con agua de buena calidad en el proceso se encuentran los siguientes:

Si hay CO_2 libre en grandes cantidades, afecta la formación de la hoja en las máquinas formadoras. El ácido sulfúrico es corrosivo hacia muchos metales y aún en pequeñas cantidades, puede acortar apreciablemente la vida de las mallas de la máquina formadora de papel (máquina Fourdrinier). Las alcalinidades altas son perjudiciales y además aumentan el gasto de alumbre. Los microorganismos pueden ser nocivos en las operaciones de este proceso, por lo que el cloro y otros agentes desinfectantes se adicionan al flujo de agua principal, también son agregados a los sistemas de recirculación de agua blanca. El papel puede absorber los olores, y deberán evitarse cuando se elabore papel de envoltura para empacar alimentos. La dureza que proporciona el bicarbonato, particularmente bicarbonato de calcio forma incrustaciones sobre las mallas de la máquina Fourdrinier, Decker, condensadores, bombas, presentándose incrustaciones en todas aquellas partes en las que se evapora el agua.

El carbonato de calcio, en las torres de blanqueo alcalino, forma depósitos que tienen la tendencia a desprenderse en forma de tecatas manchadas que contaminan la celulosa.

Existen muchos problemas con el agua en la planta elaboradora de celulosa, además de los ya mencionados. Entre estos está la contaminación de los condensados de vapor, la descarga de desechos concentrados que no pueden recuperarse, el agua que contiene materia orgánica y otros agentes reductores que producen una carga sobre la planta de tratamiento de efluentes. Uno de los principales problemas es la formación de espuma introducida por la naturaleza tensoactiva de parte de la materia orgánica extraída de la madera. Generalmente se necesitan agentes químicos para controlar la espuma en los tamices y lavadores a fin de mantener la capacidad de producción.

Así como sucede en muchas operaciones industriales en las que se emplea agua, la corrosión es una amenaza constante, en gran parte se mantiene bajo control por la selección de materiales adecuados.

Dadas las condiciones de fibra orgánica, la celulosa, los productos orgánicos residuales extraídos de la madera y el agua caliente oxigenada dentro del circuito de agua blanca, el crecimiento bacteriano se convierte en uno de los mayores problemas de la manufactura de papel. Si estos crecimientos no son controlados, se formarán lamas en el sistema de la máquina para elaborar papel, provocando deterioros en la hoja terminada. Por lo tanto, uno de los mayores problemas en la manufactura de papel es el control microbiano con productos químicos

que sean efectivos y que al mismo tiempo sean seguros en su manejo.

3.2.4. Agua para Servicios Generales.

Este término se utiliza para cubrir el agua empleada fuera de los ya descritos. Ejemplos.- Agua corriente para baño y usos del personal, etc.

La calidad del agua requerida, debe cumplir con la calidad bacteriológica necesaria y debe además estar libre de olores y sabores objetables.

TABLA 3.2

CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA ENFRIAMIENTO

PARAMETROS	De Un Sólo Paso		Con Recirculación	
	Dulce	Salobre	Dulce	Salobre
Silice (SiO ₂)	50	25	50	25
Aluminio (Al)	(3)	(3)	0.1	0.1
Manganeso (Mn)	(3)	(3)	0.5	0.5
Hierro (Fe)	(3)	(3)	0.5	0.5
Calcio (Ca)	200	420	50	420
Magnesio (Mg)	(3)	(3)	(3)	(3)
Amoníaco (NH ₃)	(3)	(3)	(3)	(3)
Bicarbonato (HCO ₃)	600	140	24	140
Sulfato (SO ₄)	680	2700	200	2700
Cloruro (Cl)	680	19000	500	19000
Cobre (Cu)	(3)	(3)	(3)	(3)
Zinc (Zn)	(3)	(3)	(3)	(3)
Dureza (como CaCO ₃)	850	6250	130	6250
Ácidos Mineral Libre (como CaCO ₃)	(4)	(4)	(4)	(4)
Alcalinidad (como CaCO ₃)	500	115	20	115
pH	5.0-8.3	6.0-8.3	(3)	(3)
Color (unidades)	(3)	(3)	(3)	(3)
Sustancias Orgánicas Activas el	(3)	(3)	1	1
Azul de Metileno				
Extracto de CCl ₄	(6)	(6)	1	2
DQO	75	75	75	75
Oxígeno Disuelto	(3)	(3)	(3)	(3)
Sólidos Disueltos	1000	35000	500	35000
Sólidos Suspensos	5000	2500	100	100
Sólidos Totales	6000	37500	600	35100
Temperature (°C)	(3)	(3)	(3)	(3)

NOTAS:

- (1) Concentraciones en mg/lit, excepto las indicadas en otra unidad.
- (2) Agua Salobre es la que contiene más de 100 mg/lit de sólidos disueltos.
- (3) Aceptada tal como se recibe si satisface sólidos totales o las otras limitaciones.
- (4) Cero o no determinada en la prueba correspondiente.
- (5) Controlada mediante tratamiento de otros componentes.
- (6) Sin aceite flotante.
- (7) El agua empleada no deberá tener a la vez todos los valores máximos indicados.

TABLA 3.3

CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA POR LAS CALDERAS CLAYTON

PARAMETROS	Concentración en ppm excepto las indicadas	
	Agua Dura	Agua Suave
Alcalinidad F. como CaCO_3	0	0
Alcalinidad A.M. " CaCO_3	28	20
Alcalinidad Total como CaCO_3	28	20
Dureza Total " CaCO_3	36.8	10
Dureza Total g/g	2	0
Sólidos Disueltos	3000	3000
p H	6.5	6.5
Calcio	2	0
Magnesio	34.8	0
Sulfitos	30	30

Recomendaciones sobre la calidad del agua para calderas Clayton de México S.A.

TABLA 3.4

CALIDAD DEL AGUA PARA CALDERAS (1)

PARAMETROS	Presiones de Trabajo (lb/in ²)			
	0 - 150	150 - 200	250 - 400	Más de 400
Turbidez (U.J.)	20	10	5	1
Color (U.C.)	80	40	5	2
Oxígeno Consumido	15	10	4	3
Oxígeno Disuelto	1.4	0.1	0	0
p H	8.0	8.4	9.0	9.6
Dureza	80	40	10	2
Sólidos Totales	500-3000	500-2500	100-1500	50
Oxido de Aluminio	5	0.5	0.05	0.01
Sílice	40	20	5	1
Carbonatos	200	100	40	20
Bicarbonatos	50	30	9	0
Hidróxidos	50	40	30	15
Sulfuro de Hidrógeno	5	3	0	0
Tendencia de Corrosión	NO	NO	NO	NO
Tendencia de Escamado	NO	NO	NO	NO

(1) Unidades en mg/lt, excepto las indicadas.

TABLA 3.5

CALIDAD DEL AGUA PARA PROCESO

PARAMETROS, mg/lit	Papel Fino	Papel Kraft Blanqueado	Papeles de Pulpa Molida	Pulpa al Sulfato
Turbidez, como SiO ₂	10	40	50	25
Color, en unidades de Pt	5	25	30	5
Dureza Total, como CaCO ₃	100	100	200	100
Dureza de Calcio, como CaCO ₃	50	-----	-----	50
Alcalinidad A.M., como CaCO ₃	75	75	150	75
Hierro, como Fe	0.1	0.2	0.3	0.1
Manganeso, como Mn	0.05	0.1	0.1	0.05
Cloro residual, como Cl ₂	2.0	-----	-----	-----
Sílice (soluble), como SiO ₂	20	50	50	20
Sólidos Disueltos Totales	200	300	500	250
Dióxido de Carbono libre, como CO ₂	10	10	10	10
Cloruros, como Cl	-----	200	75	75
Dureza de Magnesio, como CaCO ₃	-----	-----	-----	50

TABLA 3.6

NORMAS DE CALIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE CELULOSA Y PAPEL

PARAMETROS	Pulpa Mecánica	Pulpa Química y Papel	
		Sin Blanquear	Blanqueada
Silice (SiO_2)	(1)	50	50
Aluminio (Al)	(1)	(1)	(1)
Hierro (Fe)	0.3	1.0	0.1
Manganeso (Mn)	0.1	0.5	0.05
Zinc (Zn)	(1)	(1)	(1)
Calcio (Ca)	(1)	20	20
Magnesio (Mg)	(1)	12	12
Sulfato (SO_4)	(1)	(1)	(1)
Cloruro (Cl)	1000	200	200
Sólidos Disueltos	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspendidos	(1)	10 (2)	10 (2)
Dureza (como CaCO_3)	(1)	100	100
pH (unidades)	6.0-10.0	6.0-10.0	6.0-10.0
Color (unidades)	30	30	10
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	(1)	(1)	(1)

Notas: Los valores indicados son máximos y están en mg/lit, excepto donde se indique otra unidad y deberán considerarse antes de la adición de sustancias empleadas para el acondicionamiento interno.

(1) Aceptadas tal como se reciban si satisface las otras limitaciones.

(2) Sin arenas o sólidos que produzcan coloraciones.

4. PARTES DEL PROCESO DONDE SE PUEDE REUTILIZAR EL AGUA

Es importante definir las partes del proceso donde se puede llevar a cabo la reutilización del agua a partir de los efluentes provenientes de cada una de ellas, ya sea recirculándola, o bien recibiendo algún tratamiento, dependiendo de que - tan contaminadas se encuentren las aguas residuales. El tratamiento a seguir va a depender de la calidad del agua requerida en los puntos específicos donde se - quiera reutilizar.

Las partes principales del proceso donde se generan aguas residuales en el proceso de elaboración de celulosa al sulfato y del papel, son los siguientes: preparación de la madera, digestión de la madera (licor de cocción), depurado y lavado de la pulpa, blanqueado de la celulosa y en las máquinas para elaborar - papel, en los molinos o hidropulpers de papel de desperdicio y de servicios auxliares.

Para poder definir las etapas del proceso donde se requiere realizar el trata- miento del agua residual generadas por las mismas, con el fin de reutilizar el -- agua tratada, es necesario hacer una breve descripción del manejo del agua en - cada una de ellas, para después concluir cuales son las partes donde se llevará a cabo la reutilización del agua tratada.

A continuación serán descritas cada una de las etapas del proceso en las - cuales puede ser posible la reutilización del agua.

4.1. Preparación de la Madera.

Para llevar a cabo esta operación, es necesario emplear grandes cantidades de agua de primer uso, y por lo general, es recomendable recircular el mayor volumen posible de agua, aunque también existe la posibilidad de utilizar "agua blanca" generada en las máquinas elaboradoras de papel.

Dependiendo del método seguido en esta etapa y del tipo de instalaciones que se tengan para este fin, se puede determinar una mayor o menor demanda de agua, ya que el transporte de la madera hacia la máquina astilladora se realiza en algunos casos mediante un canal de transporte que emplea grandes volúmenes de agua, y en otros por medio de bandas transportadoras. En el primer caso se tiene la ventaja de que a medida que el tronco se transporta hacia la máquina astilladora se efectúa una acción de limpieza y humedecimiento, cosa que en el segundo caso se tiene que efectuar mediante regaderas colocadas sobre la banda transportadora, lográndose una eficiencia similar en ambos casos.

4.2. Preparación de la Pulpa (Digestión).

A partir de esta etapa, empieza a hacerse notorio el volumen de agua requerido por esta industria, ya que las astillas alimentadas al digestor, se une al licor de cocción que se agrega en cantidades considerables para lograr la desfibración de la madera.

Una vez transcurrido el período de cocción, la manera más funcional de transportar la fibra de un proceso a otro, supone el manejo de grandes volúmenes de agua que aumentan o disminuyen según los requerimientos del equipo en cada proceso posterior.

En la preparación de la pulpa en el proceso de elaboración de celulosa al sulfato, el empleo de agua puede ser disminuido notablemente al restringirlo solamente para enfriamiento, ya que la regulación de consistencia de la pulpa es factible de realizar utilizando el licor débil de cocción que se extrae durante las fases de lavado.

4.3. Lavado de la Pulpa.

En esta operación se manejan grandes cantidades de agua, pero al mismo tiempo proporciona un punto potencial de reuso del agua en exceso proveniente de la planta elaboradora de papel, o de los condensados generados en la planta de elaboración de celulosa.

Generalmente el sistema de lavado es a contracorriente con el flujo de pulpa sin lavar; de esta manera, el licor que sale de cada etapa de lavado se regresa al paso anterior para dilución hasta que, en el primer paso, el efluente sale del proceso de lavado para entrar al de recuperación de licor.

4.4. Blanqueado de la Celulosa.

Dentro de las operaciones de blanqueado que recibe la celulosa, el cloro y -

algunos de sus compuestos son los agentes más comúnmente empleados para blanquear la celulosa con el fin de eliminar la lignina residual. En general, el blanqueado se efectúa en varias etapas; extrayéndose de la celulosa, entre cada una de ellas los residuos de la operación de blanqueo. Y es en estos puntos donde se requiere de hacer un lavado después de cada etapa del proceso. Para realizar el lavado se emplean grandes cantidades de agua. Después de cada operación de blanqueo hay que diluir la celulosa, antes de hacerla pasar al lavador, lo que implica elevados consumos de agua para cada fase de lavado.

La demanda de agua en esta etapa del proceso es considerable ya que dependiendo de las fases de blanqueo, será el número de lavados que se le tenga que dar a la celulosa hasta el final de la última fase de blanqueo, en la cual se tendrá como producto final la celulosa blanca.

4.5. Fabricación de Papel.

La transformación de celulosa a papel, implica la utilización de máquinas de formación, prensas y secadores, por lo que es necesario adicionar grandes cantidades de agua al proceso de elaboración de papel. El agua es empleada principalmente para enfriamiento y sirve como complemento para la acción de procesos enunciados en los incisos anteriores, además de requerirse para su uso en regaderas que por su dimensionamiento no aceptan otro tipo de agua.

El "agua blanca" generada en esta etapa del proceso puede ser reutilizada recibiendo previamente un tratamiento primario (sedimentación, filtración o flotación). La reutilización de dicha agua puede ser llevada a cabo, ya sea en las

diversas etapas del proceso de elaboración de celulosa, o bien en la misma.

En la manufactura de papel se tiene un punto importante de conservación y por consiguiente de reutilización no sólo del agua, sino también de fibra que se pierde durante el proceso, lo cual tendrá una gran significación económica y repercutirá en la disminución de contaminantes.

4.6. Recuperación de Licor.

Por lo que se refiere a la recuperación de licor, éste lleva contenido una gran cantidad de agua que es recuperada en forma de condensados por el sistema de evaporación. Estos condensados pueden ser utilizados directamente en el lavado de la pulpa, o bien se pueden emplear para diversas operaciones como por ejemplo lavado de pisos, lavado de equipo, preparación de soluciones, etc.

4.7. Servicios Auxiliares.

Para este caso donde se emplea la mayor cantidad de agua es para enfriamiento, por lo que es necesario que el agua de enfriamiento sea para sistemas abiertos con recirculación. Con este tipo de sistemas se ahorrará una gran cantidad de -- agua y por consiguiente se estará reutilizando.

Analizando cada una de las etapas antes descritas, se concluye que tanto por la importancia que tienen en el proceso de elaboración de celulosa y papel como por los elevados volúmenes de agua empleados en cada una de ellas y por consiguiente descargados, las partes del proceso donde se llevará a cabo la reutilización del agua son:

- a) Preparación de la Madera
- b) Lavado de la Pulpa
- c) Blanqueado de la Celulosa
- d) Fabricación de Papel

Cabe mencionar que la recirculación del agua tratada puede ser llevada a cabo por el efluente generado en la misma etapa, o en su defecto entre una y otra etapa.

Para fines del desarrollo de este trabajo, se considera la recirculación del agua tratada en la misma etapa.

5. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL

Las industrias productoras de celulosa al sulfato o kraft y del papel producen grandes cantidades de aguas residuales, las cuales pueden dividirse en dos clases como son:

- 1) aguas residuales provenientes de la elaboración de celulosa.
- 2) aguas residuales provenientes de la fabricación de papel.

Los materiales orgánicos disueltos de la madera son el mayor constituyente en los efluentes de los molinos de celulosa y papel, incluyendo ligninas, taninos, azúcares y celulosa, aditivos tales como son los adhesivos, materiales apresto - (colofonia, ceras naturales, cola, caseína, etc.), almidones y resinas y compuestos inorgánicos de la cocción.

Los parámetros contaminantes más comunes contenidos en las aguas residuales generadas por esta industria son los siguientes: temperatura, potencial hidrógeno (pH), sólidos suspendidos, sólidos disueltos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), color y toxicidad (compuestos que afectan el metabolismo de un organismo).

Dentro de los parámetros que son objeto de mayor control, se encuentran los sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

5.1. Características Cualitativas de las Aguas Residuales.

Para dar una mayor idea de cuales son los contaminantes en cada etapa del proceso de elaboración de celulosa al sulfato o kraft y del papel, serán descritas a continuación las partes del proceso donde se originan aguas residuales con sus respectivas características.

Preparación de la Madera.

Cantidades significativas de aguas residuales resultan de la preparación de la madera, las cuales contienen fibras, cortezas. Estos materiales orgánicos son los responsables de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que es un parámetro característico de estas aguas residuales.

Digestión de la Madera.

Durante la digestión en el proceso al sulfato, las materias orgánicas son disueltas de la madera por la acción del licor de cocción.

Si no es regenerado, el licor negro resultante es una importante fuente de contaminación. Dentro de los parámetros que contiene el agua residual en esta etapa del proceso, se encuentran los siguientes: DBO, DQO y color.

Durante la regeneración del licor negro, éste se evapora y se quema. Entonces el único vertido es el licor negro residual que acompaña a la pulpa en las fases de lavado. El licor negro contiene compuestos orgánicos volátiles que se evaporan durante la desgasificación del digestor o se mezclan durante la evaporación del licor negro. Una parte de estos compuestos se mezclan con los condensados y los contamina. Los gases incondensables liberados por los digestores, contienen compuestos que son el origen del olor característico que despiden las fábricas productoras de celulosa al sulfato.

Lavado de la Pulpa.

En una fábrica donde se tiene sistema de recuperación, los licores residuales del lavado son quemados y después regenerados. De esta manera, un lavado eficaz significa que la cantidad de licores residuales que quedan en la pulpa cruda para la etapa siguiente es reducida al mínimo, lo cual disminuye el volumen del efluente. Asimismo un sistema de lavado eficiente repercutirá en un menor consumo de productos químicos y en un buen rendimiento de producción de energía.

Si existe una eficiencia nula en el sistema de lavado, los parámetros característicos contenidos en el agua residual generada en dicha etapa del proceso son los siguientes: DBO y DQO, entre otros.

Clasificación.

Dentro de las operaciones llevadas a cabo en esta parte del proceso, se encuentran las siguientes: separación de nudos de la pulpa cruda, depuración y espesamiento de la celulosa para con esto pasar a la siguiente etapa del proceso, la cual es la etapa de blanqueado de la celulosa.

De los parámetros presentes en el agua residual en esta fase de clasificación, se encuentran los siguientes: DBO, DQO, compuestos tóxicos y sales inorgánicas.

Blanqueado de la Celulosa.

En la etapa de blanqueo, la celulosa es tratada con productos químicos que contienen cloro y sosa cáustica para eliminar la lignina residual. El agua residual proveniente de esta etapa del proceso contiene sustancias orgánicas de las cuales algunas están cloradas, además de DBO, color, compuestos tóxicos, sales, fibras y pH.

Fabricación de Papel.

El agua residual procedente de la máquina elaboradora de papel (máquina Fourdrinier), se le denomina "agua blanca". Estas aguas contienen fibras que se

pierden a través de la malla de la tela metálica en la máquina Fourdrinier, almidón, alumbre, derivados de colofonia, resinas resistentes a la humedad, colorantes, - agentes reguladores de lodo (como mercuriales fenólicos y fenoles clorados) y por último rellenos (arcillas, carbonato de sodio, etc.).

Los efluentes de la manufactura de papel fino contienen materia suspendida, - de la cual el 90% es materia orgánica (celulosa fina). Los valores de los sólidos suspendidos son altos al igual que la DBO_5 , debido al uso de dispersantes y adhesivos para retener el relleno o revestimiento en el papel. El pH se encuentra en un rango neutral y la turbidez es alta, el color es bajo en las aguas blancas.

Para ilustrar lo antes mencionado, en el diagrama no. 8, se muestran las -- características de las aguas residuales generadas en el proceso de elaboración de celulosa al sulfato o kraft y del papel.

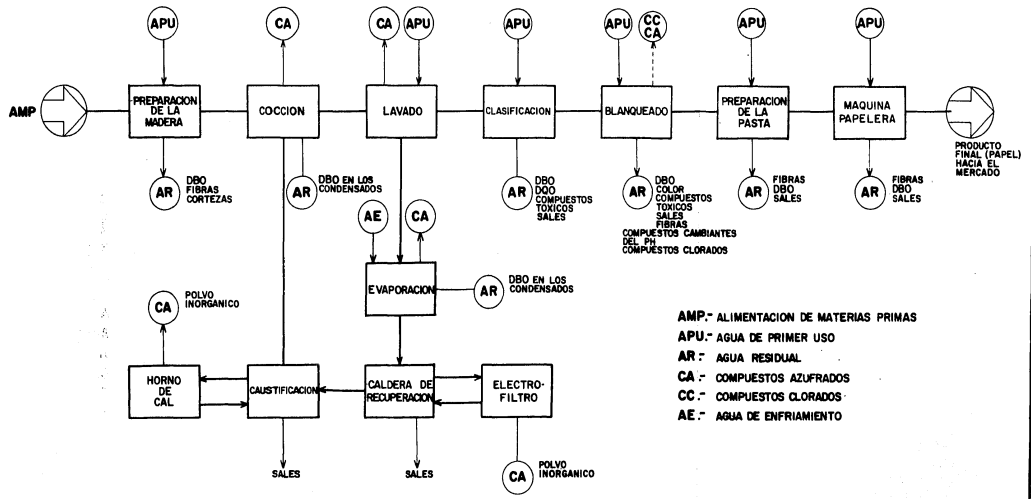


DIAGRAMA No. 8

DIAGRAMA DE BLOQUES SOBRE LAS DESCARGAS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL PROCESO AL SULFATO O KRAFT Y DEL PAPEL.



ELABORADO POR:

FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

5.2. CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS

Para llevar a cabo la caracterización y cuantificación de cada uno de los parámetros de los efluentes generados por la industria productora de celulosa al sulfato o kraft y del papel, fue necesario recurrir a datos de referencia que fueron recopilados de la literatura y de datos sobre estudios en diversas industrias elaboradoras de celulosa y papel, dichos estudios, los llevó a cabo la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), en el año de 1976.

Los datos recopilados, son confinados en las tablas 5.1 a 5.7, en las cuales se muestran las características principales de la descarga para cada una de las etapas del proceso de elaboración de celulosa al sulfato y del papel y, en la tabla 5.8, se muestran las características principales de la descarga del efluente global. Al pie de cada tabla se anotan los flujos de descarga por etapa del proceso que fueron utilizados como base de cálculo para la cuantificación de cada uno de los parámetros.

Como se puede observar en la tabla 5.1, la cantidad de sólidos suspendidos predomina con respecto a los demás parámetros como son: DBO_5 , DQO y los sólidos disueltos.

En la etapa de preparación de celulosa al sulfato (tabla 5.2), la situación se invierte, es decir, la cantidad de sólidos disueltos es mayor en comparación a la de sólidos suspendidos y también se incrementa la DBO_5 y hay un aumento del pH, el cual se encuentra del lado alcalino.

Esto es debido a las materias primas empleadas para la cocción de la madera (licor blanco).

Por lo que se refiere al lavado de la pulpa (tabla 5.3), las características de la descarga se mantienen más o menos uniformes con respecto a las de la etapa anterior, es decir, la cantidad de sólidos disueltos es la que sigue prevaleciendo.

Cuando es blanqueada la celulosa (tabla 5.4), el parámetro que tiene una mayor preponderancia es el color, y esto es debido a que como ya se mencionó, la etapa de blanqueo es con el fin de eliminar la lignina residual de la celulosa, la cual le da el color café a la misma.

Por lo que respecta a los demás parámetros, continúa habiendo un decremento de sólidos disueltos y de la DBO_5 y un cambio brusco del pH, lo cual es debido a los compuestos empleados para este fin.

En la tabla 5.5, se presentan las características principales de la descarga del efluente de la máquina para elaborar papel. Dentro de los parámetros más importantes se encuentran los sólidos suspendidos, sólidos disueltos y la DBO_5 . El pH de las "aguas blancas" está en un rango neutral y éstas tienen una turbidez muy alta debido a los sólidos suspendidos.

Por último en las tablas 5.6 y 5.7, se muestran las características de los efluentes producidos en la recuperación de licor y por los evaporadores, tales como son: sólidos suspendidos, sólidos disueltos, DBO_5 y DQO.

En la tabla 5.8 se presentan los parámetros característicos del efluente global, en dicha tabla, la cantidad de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y DBO_5 , es alta. Además de los parámetros mencionados, las aguas residuales tienen como característica que son muy espumosas y coloridas.

TABLA 5.1

PREPARACION DE LA MADERA

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lt)
Sólidos Suspendidos	4.09	581.213
Sólidos Disueltos	1.82	258.632
Sólidos Totales	5.91	839.845
DBO ₅	1.36	193.264
DQO	3.40	483.6
Sólidos Sedimentables	0.82	116.24
pH	-----	7.0
PO ₄	-----	-----
Grasas y Aceites	-----	-----
Temperatura °C	-----	21

*Referencias Nos. 4 y 5

Descarga Unitaria = 7.037 M³/TON

TABLA 5.2

FABRICACION DE PULPA AL SULFATO O KRAFT

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lt)
Sólidos Suspendidos	8.51	388.73
Sólidos Disueltos	69.83	3188.21
Sólidos Totales	78.34	3576.94
DBO ₅	11.80	538.69
DQO	75.63	3453
Sólidos Sedimentables	-----	-----
p H	-----	10.5
PO ₄	0.0054	0.25
Grasas y Aceites	3.52	160.8
Temperatura °C	-----	21

*Referencias Nos. 4 y 10

Descarga Unitaria = 21.903 M³/TON

TABLA 5.3

LAVADO DE LA CELULOSA

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lit)
Sólidos Suspendedos	5.5	125.01
Sólidos Disueltos	48.0	1092.81
Sólidos Totales	53.5	1217.82
DBO ₅	9.54	217.19
DQO	31.80	724
Sólidos Sedimentables	0.41	9.4
p H	-----	9.5
PO ₄	0.007	0.16
Grasas y Aceites	-----	-----
Temperatura °C	-----	18.5

*Referencias Nos. 4 y 10

Descarga Unitaria = 43.927 M³/TON

TABLA 5.4

BLANQUEADO DE LA CELULOSA

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lt)
Sólidos Suspendedos	27.24	425.91
Sólidos Disueltos	81.72	1277.73
Sólidos Totales	108.96	1703.64
DBO ₅	21.31	333.19
DQO	56.70	886.52
Sólidos Sedimentables	5.45	85.18
p H	-----	2.9
Color (unidades)	81.0	1266.47
Grasas y Aceites	-----	-----
Temperature °C	-----	21

*Referencias Nos. 4 y 10

Descarga Unitaria = 63.957 M³/TON

TABLA 5.5

FABRICACION DE PAPEL

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lit)
Sólidos Suspendedos	20.07	346.6
Sólidos Disueltos	33.48	578.06
Sólidos Totales	53.55	924.66
DBO ₅	6.22	107.39
DQO	14.65	253.0
Sólidos Sedimentables	3.43	59.3
p H	----	7.2
PO ₄	0.012	0.22
Grasas y Aceites	3.05	52.8
Temperatura °C	-----	21.0

*Referencias Nos. 4 y 10

Descarga Unitaria = 57.915 M³/TON

TABLA 5.6

RECUPERACION DE LICOR

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lit)
Sólidos Suspendedos	2.12	2796
Sólidos Disueltos	4.33	5722
Sólidos Totales	6.45	8518
DBO ₅	0.34	455
DQO	1.42	1870
Sólidos Sedimentables	0.0086	11.4
p H	-----	11.1
PO ₄	0.00021	0.29
Grasas y Aceites	-----	-----
Temperatura °C	-----	41

*Referencias Nos. 4 y 5

Descarga Unitaria = 0.757 M³/TON

TABLA 5.7

EVAPORADORES

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lit)
Sólidos Suspendedos	0.04	33
Sólidos Disueltos	1.32	1162.32
Sólidos Totales	1.36	1195.32
DBO ₅	0.12	105
DQO	0.33	295
Sólidos Sedimentables	2.27×10^{-5}	0.02
p H	-----	8.4
PO ₄	0.00022	0.20
Grasas y Aceites	-----	-----
Temperatura °C	-----	48.7

* Referencias Nos. 4 y 10

Descarga Unitaria = 1.1355 M³/TON

TABLA 9.8

EFLUENTE GLOBAL EN UNA FABRICA INTEGRADA

PARAMETROS	Datos de Referencia* (Kg/Ton)	Concentración de la Descarga (mg/lt)
Sólidos Suspendidos	315.61	1990
Sólidos Disueltos	109.75	692
Sólidos Totales	425.36	2682
DBO ₅	142.88	900.9
DQO	428.54	2702.
Color (unidades)	57.1	360
p H	----	10.1
Sólidos Sedimentables	30.93	195
Grasas y Aceites	1.16	7.33
Temperatura °C	-----	28

* Referencias Nos. 4 y 5

Descarga Global = 158.60 M³/TON

6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO

El tratamiento de las aguas residuales generadas en las diversas actividades de las fábricas productoras de celulosa al sulfato y del papel se puede llevar a cabo mediante procesos y sistemas muy diversos, desde los más simples hasta los más complejos.

El tratamiento de las aguas residuales puede ser agrupado en cuatro categorías, tales como son:

1. - Pretratamiento. Diseñado para remover astillas y arenas, para neutralizar aguas de desecho ácidas o alcalinas, para uniformizar la cantidad y calidad de los efluentes y algunas veces para disminuir la temperatura o eliminar los olores producidos al mezclar diferentes efluentes. El propósito fundamental de esta operación es eliminar todos los materiales que pudieran dañar o interferir con el adecuado funcionamiento del equipo de la planta de tratamiento.

2. - Tratamiento Primario. Esta secuencia de tratamiento de las aguas residuales comprende básicamente la remoción de sólidos en suspensión y del material orgánico arenoso mediante las siguientes tres operaciones: a) separación de sólidos de las aguas residuales, b) concentración de los sólidos, y c) disposición de los mismos.

3. - Tratamiento Secundario. Este tipo de tratamiento de las aguas residuales, está diseñado para remover los materiales responsables de la demanda bioquímica

de oxígeno (DBO) y una porción de la demanda química de oxígeno (DQO). Todos los sistemas de tratamiento secundario que son utilizados para tratar las aguas residuales procedentes del proceso de celulosa kraft y del papel se basan en los mismos principios biológicos.

4.- Tratamiento Terciario. Esta clase de tratamiento sólo es llevado a cabo para la remoción de contaminantes específicos y que no son removidos por la acción de los tratamientos antes citados. Dentro de los parámetros contaminantes que podemos mencionar se encuentran los siguientes: color, fosfatos, nitrógeno, etc.

Los tratamientos que podemos incluir en esta etapa son los siguientes: adsorción con carbón activado, intercambio iónico, filtración, etc.

A continuación se presentará cada uno de los tratamientos antes mencionados en forma más amplia.

6.1.1. Pretratamiento

El pretratamiento incluye las operaciones que preparan o acondicionan las aguas residuales antes de una clarificación primaria. Los métodos de pretratamiento más comúnmente empleados son la remoción de astillas y escombros y cribado de las aguas residuales. Los materiales tales como cenizas inorgánicas, arenas provenientes de la preparación de la madera y grava, deben separarse del efluente para proporcionar protección al equipo móvil, contra la abrasión de bombas, tubos y equipos y, evitar taponamientos en tuberías, canales y conductos. La cámara de eliminación de arena es básicamente un tanque de sedimentación que puede ser limpiado manualmente en períodos regulares o continuamente por medios mecánicos.

Para la remoción de astillas y escombros del agua residual, generalmente se emplean rejillas que pueden ser limpiadas mecánica o manualmente. Un proceso de pretratamiento que ha tomado importancia en los últimos años es la neutralización de los efluentes industriales. El pH de las aguas residuales afecta las condiciones del cuerpo receptor además de causar corrosión en el equipo mecánico de tratamiento y deterioro de las estructuras de concreto en contacto con ellas, asimismo en forma adversa el desarrollo del tratamiento secundario. El pH de las aguas residuales deberá estar en un rango de 6.0 a 9.0 para evitar deterioros en los dispositivos del tratamiento primario y normalmente entre 6.5 y 8.5 para aplicar ventajosamente los tratamientos secundarios.

La necesidad y el grado de neutralización requerido en los efluentes genera-

dos por este tipo de proceso de elaboración de celulosa y papel, dependerá si - los efluentes son descargados por separado o combinados en los equipos de tratamiento.

6.1.2. Tratamiento Primario

El objetivo principal del tratamiento primario es la remoción de sólidos suspendidos que varían en concentración de acuerdo a las condiciones de operación del equipo de producción. Las grandes cantidades de materia coloidal y otros agentes químicos presentes en el agua residual tienden a inhibir la sedimentación gravimétrica de los sólidos suspendidos, lo mismo que las grandes diferencias de temperatura entre el medio ambiente y el agua residual. Por lo anterior, es necesaria la floculación de las aguas residuales como paso de acondicionamiento previo a la clarificación primaria, la floculación con adición de agentes químicos, tales como: alumbre $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, cloruro férrico $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o polielectrólitos, puede realizarse externamente o como parte integral del clarificador primario. La adición de floculantes químicos implica una mayor producción de lodos, lo cual tendrá como consecuencia un mayor control de los mismos.

Las aguas residuales floculadas pueden clarificarse por sedimentación gravimétrica o por flotación. Generalmente los sólidos suspendidos generados en la fabricación de celulosa y papel son susceptibles de sedimentarse por la acción de la gravedad, por lo que comúnmente se emplean clarificadores gravimétricos circulares o rectangulares.

Los materiales orgánicos fibrosos que tienden a sedimentarse gravimétricamente y que son removidos por el tratamiento primario corresponden a la DBO en el agua residual generada por este sector industrial.

6.1.3. Tratamiento Secundario

El principal propósito del tratamiento secundario es el de remover los materia les responsables de la DBO, por medio de procesos biológicos. Antes de éstos es necesario agregar a las aguas residuales cierto tipo de nutrientes vitales para el desarrollo normal de una comunidad biológica balanceada. Los nutrientes son básicamente el nitrógeno y el fósforo y son proporcionados en forma de amoníaco y ácido fosfórico respectivamente, la dosis está en función de estos elementos en las aguas residuales y de la carga de DBO presente. Bajo condiciones normales son necesarias una parte de nitrógeno y cinco de fósforo por cada 100 partes de DBO a ser removida en el tratamiento secundario.

El proceso convencional de lodos activados se emplea con éxito en el tratamiento biológico de las aguas residuales generadas por la industria de la celulosa y papel, las cuales contienen elevadas cantidades de materia orgánica responsable de la DBO. La diferencia fundamental entre el proceso de lodos activados y otros tratamientos biológicos es la cantidad de microorganismos adaptados (lodos) que entran en contacto con las aguas residuales.

Para el funcionamiento adecuado del proceso de lodos activados se requiere:

- 1) definir y controlar las cargas de DBO en forma de materia orgánica vertida en los dispositivos de tratamiento,
- 2) suministrar suficiente oxígeno para la realización de las reacciones de oxidación y síntesis que tienen lugar en el sistema, --
- 3) tiempos de residencia adecuados para la realización de las reacciones de oxidación y síntesis.

El proceso de lodos activados requiere del contacto de las aguas residuales con los microorganismos adaptados (lodos), éstos consumen los materiales que causan la DBO como alimento y tienden a reproducirse; para mantener el proceso en operación, la masa biológica se sedimenta gravimétricamente, separada y recirculada al proceso. La generación de organismos adicionales hace necesaria la purga periódica del sistema.

En ocasiones los microorganismos consumen rápidamente a los responsables de la DBO, pero necesitan tiempo para completar las reacciones de estabilización. Esto ha propiciado el desarrollo de un método más ventajoso de tratamiento por lodos activados denominado modificación de estabilización por contacto. Fundamentalmente consiste en poner en contacto organismos biológicos aclimatados con el agua residual por un tiempo suficiente para completar la remoción de los materiales causantes de la DBO, sedimentación de los organismos (lodos) y traslado de los mismos a un estanque de estabilización aerada separada, donde se completan las reacciones de síntesis. La ventaja del proceso por contacto y estabilización separada radica en que se requieren de tanques de menor volumen, ya que la fase de estabilización es en un medio con alta concentración de microorganismos.

Otro tratamiento biológico son las lagunas de estabilización. Frecuentemente utilizan lagunas aeradas, las cuales son capaces de remover del 40 al 75% los materiales causantes de la DBO presente en las aguas residuales. Las limitaciones de este método son esencialmente los requerimientos de grandes superficies para la instalación del equipo. Actualmente, este tipo de tratamiento no proporcio

na una clarificación final y las aguas residuales deben ser tratadas más exhaustivamente antes de descargarse a la corriente receptora o de ser reutilizadas.

Las lagunas de oxidación (lagunas de estabilización sin suministro de oxígeno) tienen aplicaciones muy limitadas en el tratamiento de las aguas residuales generadas por la industria de la celulosa y papel, ya que el color de dichas aguas es generalmente alto, lo cual reduce o evita el crecimiento de las algas que normalmente están presentes en el proceso de oxidación.

6.2. TRATAMIENTO PROPUESTO

Una de las acciones iniciales propuestas es la separación de corrientes en los efluentes, para con ello recircular la mayor cantidad posible de agua. En el capítulo 4, se definieron las partes o etapas del proceso en las cuales se puede llevar a cabo la reutilización del agua, por consiguiente la separación de corrientes tendrá lugar en las etapas del proceso, tales como son:

- a) Preparación de la Madera
- b) Lavado de la Pulpa
- c) Blanqueado de la Celulosa
- d) Fabricación de Papel

A continuación se presentan las secuencias de tratamiento propuestas que - debe recibir el agua residual proveniente de cada una de las etapas del proceso antes citadas, para lo cual fue necesario recurrir a la caracterización del agua residual referida en el capítulo 5.

6.2.1. Preparación de la Madera

De acuerdo a las características presentadas en la tabla 5.1, el parámetro que debe ser reducido es el de sólidos en suspensión, para lo cual se propone la siguiente secuencia de tratamiento.

Descripción del Proceso

El agua residual proveniente de esta etapa del proceso pasará a través de un canal que estará provisto de rejillas (IA-01) para después seguir por una cámara desarenadora (CS-01). En esta unidad es necesario controlar la velocidad de flujo, de acuerdo con la experiencia se ha demostrado que se deberá tener una velocidad aproximada de 0.3 m/s en la misma, con el fin de una mejor operación de dicha unidad y como consecuencia una mayor eficiencia de ésta. Por lo que se tiene que equiparar a CS-01 de un medidor de flujo para asegurar la velocidad requerida en dicho equipo, empleando para tal fin un vertedor proporcional (VP-01). La etapa anterior servirá como preparación antes de alimentar el agua residual a la unidad de sedimentación, por lo que se emplea un sedimentador circular (SE-01) y el efluente procedente de esta unidad será reutilizado.

En esta parte queda como alternativa introducir un sistema de filtración (FI-01 A/B) para tratar al efluente generado por SE-01 y con esto obtener agua de mejor calidad. Para llevar a cabo lo anterior será necesario realizar una evaluación tanto técnica como económica de la industria que desee implementar la

reutilización del agua.

Asimismo, en el diagrama no. 9, se presenta el sistema de tratamiento propuesto con la respectiva alternativa.

ESPECIFICACIONES

$Q_{diseño} = 1,06 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 LONGITUD DE LAS BARRAS $\leq 0,75 \text{ m}$
 TAMAÑO DE LAS BARRAS $0,6 \text{ cm}$ de espesor $\times 2,5 \text{ cm}$ de ancho
 ESPACIO ENTRE BARRAS $\times 2,5 \text{ cm}$
 CS-01
 ANCHO DE LA CÁMARA $\times 0,4 \text{ m}$
 LONGITUD DE LA CÁMARA $\times 1,0 \text{ m}$

SE-01
 CAPACIDAD DE DISEÑO $\times 168,03 \text{ BPM}$
 ÁREA DEL SEDIMENTADOR $\times 56,17 \text{ m}^2$
 DIÁMETRO $\times 7,0 \text{ m}$
 RETENCIÓN $\times 2,1 \text{ HR}$

LISTA DE EQUIPO

LA-01 REJILLAS
 CS-01 CÁMARA DESARENADORA
 VP-01 MEDIDOR DE FLUJO
 SE-01 SEDIMENTADOR PRIMARIO
 FI-01A/B SISTEMA DE FILTRACIÓN

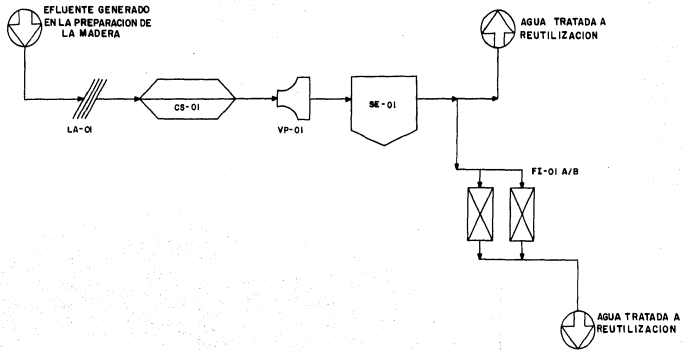


DIAGRAMA No. 2

SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO PARA EL EFLUENTE GENERADO EN LA PREPARACION DE LA MADERA



ELABORADO POR FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

6.2.2. Blanqueado de la Celulosa

En esta etapa del proceso, de acuerdo a las características presentadas en la tabla 5.4, los parámetros que predominan son el color y los sólidos suspendidos, por lo que el sistema propuesto debe tender a la remoción de tales parámetros. Para este fin, se propone el siguiente sistema de tratamiento.

Descripción del Proceso

El sistema de tratamiento del agua residual consistirá en el flujo de agua a través de un sistema de floculación, el cual se lleva a cabo en tres operaciones como son las siguientes:

- 1) Mezcla rápida con adición de coagulantes.
- 2) Floculación.
- 3) Clarificación.

A un tanque de mezclado rápido (FA-01) se adiciona una mezcla de coagulantes (alumbre + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ + cal). Con lo cual se espera una eficiencia de remoción de color del 92% y de la DQO del 50%. Después, el efluente proveniente de FA-01 pasará al tanque de mezclado lento (FL-01); en el que se llevará a cabo la floculación propiamente dicha, teniendo un período de retención de 25 minutos. Posteriormente, el efluente generado en FL-01 seguirá por la unidad de clarificación donde serán removidos los flocúlos formados y con eso clarificar el agua y de ahí -

continuar por el sistema de filtración (FI-01 A/B).

El efluente proveniente de dicho sistema, deberá ser de una calidad tal que pueda ser reutilizado.

Aunque existe como alternativa substituir al sistema FI-01 A/B por uno de adsorción con carbón activado (TA-01 A/B) para una mayor remoción de color, pero al igual que en el caso anterior eso dependerá de los resultados obtenidos en la evaluación técnica- económica de la industria que desee implementar un sistema de este tipo, para reutilizar el agua.

Para ilustrar lo antes citado, en el diagrama no. 10, se muestre el sistema de tratamiento correspondiente.

ESPECIFICACIONES

FA-01

Caudal = $5.77 \text{ m}^3/\text{min}$
 RETENCION = 3 min
 VOLUMEN = 17.5 m^3
 POTENCIA DEL MOTOR = 0.75 HP

FL-01

RETENCION = 25 min
 VOLUMEN = 144.25 m^3
 POTENCIA DEL MOTOR = 0.42 HP

CL-01

CAPACIDAD DE DISEÑO = 1925.5 GPM
 AREA DEL CLARIFICADOR = 260 m^2
 DIAMETRO = 18.5 m
 RETENCION = 163 HR.

FZ-01

CAPACIDAD DE DISEÑO = 1925.5 GPM
 AREA DEL FILTRO = 2362 m^2
 DIAMETRO = 5.5 m

LISTA DE EQUIPO

FA-01 TANQUE DE MEZCLADOR RAPIDO
 FL-01 FLOCULADOR
 CL-01 CLARIFICADOR
 FE-01/A/B SISTEMA DE FILTRACION
 TA-01/A/B SISTEMA DE ADSORCION CON CARBON ACTIVADO.

MEDIO FILTRANTE			
MATERIAL	ESPE SOR	TAMAÑO EFECTIVO	COEF. DE UNIFORM.
ANTRACITA	0.3048 m	12 mm	1.5
ARENA	0.3048 m	0.8 mm	1.4
GRAVA	0.3048 m	—	—

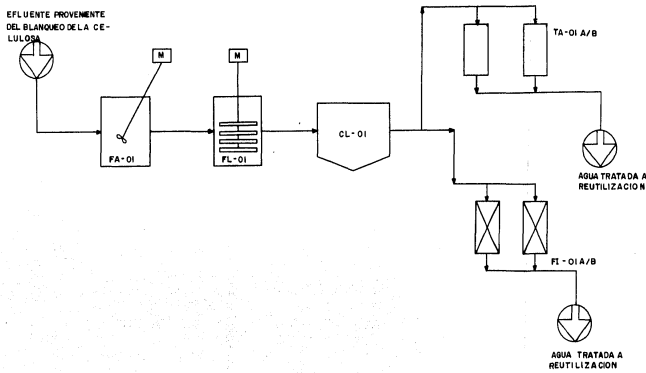


DIAGRAMA No. 10

SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO PARA EL EFLUENTE PROVENIENTE DEL BLANQUEO DE CELULOSA



ELABORADO POR:
 FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA.

6.2.3. Fabricación de Papel

De acuerdo con las características del efluente generado en esta etapa del proceso (tabla 5.5), el parámetro que mayor predomina es el de sólidos en suspensión, por tal motivo el sistema de tratamiento propuesto es el siguiente.

Descripción del Proceso.

En esta etapa, básicamente el sistema propuesto es de recuperación de subproductos, particularmente fibra que se pierde durante el proceso de elaboración de papel. Como primera alternativa se tendría un sistema de recuperación de fibra, el cual formaría parte integral de la planta de proceso. Este recuperador de fibra puede ser una unidad de sedimentación (SE-01), o bien una de filtración (FI-01 A/B).

La fibra recuperada sería factible de ser reutilizada en el mismo proceso de elaboración de papel y el efluente se aprovecharía, ya sea recirculándolo al mismo proceso, o en su defecto, a otras etapas del proceso de elaboración de celulosa. Lo anterior trae como consecuencia, una mayor conservación del agua y por consiguiente reutilización de la misma.

Al final del capítulo, en el diagrama no. 11, se muestra el sistema de tratamiento propuesto.

ESPECIFICACIONES

CAPACIDAD DE DISEÑO = 13 01.36 GPM.
AREA DEL SEDIMENTADOR = 235.3 m²
DIAMETRO = 17.5 m
RETENCION = 1.61 HR.

LISTA DE EQUIPO

SE-01 SEDIMENTADOR
FI-01A/B SISTEMA DE FILTRACION.

EFLUENTE GENERADO EN LA FABRICACION DE PAPEL

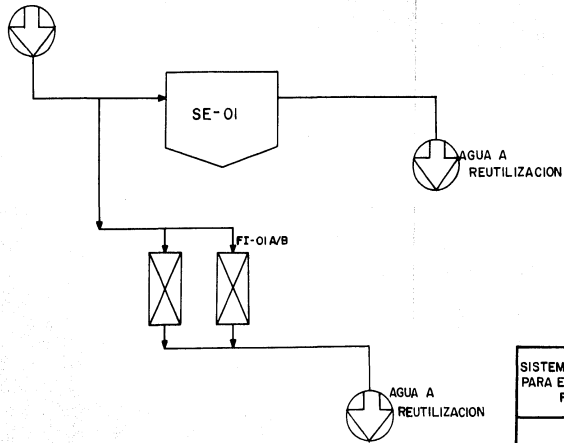


DIAGRAMA No. 11

SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO PARA EL EFLUENTE GENERADO EN LA FABRICACION DE PAPEL

REVISOR

ELABORADO POR:
FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GARCIA

7.1. BALANCE Y COSTOS DEL AGUA RECIRCULADA

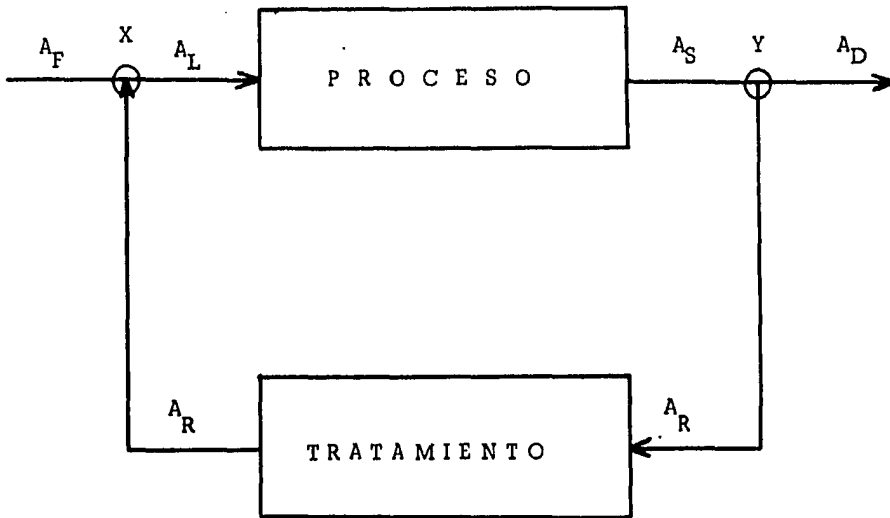
Una de las acciones propuestas para el tratamiento de las aguas residuales es la separación de corrientes, con el fin de recircular la mayor cantidad posible de agua. De acuerdo con las etapas que fueron definidas en el capítulo 4, las partes del proceso en las cuales se puede llevar a cabo la reutilización del agua son:

- a) Preparación de la Madera.
- b) Lavado de la Pulpa.
- c) Blanqueado de la Celulosa.
- d) Fabricación de Papel.

A continuación se procederá a calcular la cantidad de agua recirculada para cada una de las etapas antes citadas, del proceso de elaboración de celulosa - al sulfato y del papel; para con esto, mostrar que el sólo hecho de recircular una gran cantidad de agua, se obtendrán beneficios importantes en lo que se refiere al aspecto de ahorro de agua y por consiguiente en lo económico.

Lo anterior también repercutirá en el caudal de agua residual a tratar, lo cual implica un menor tamaño de la planta de tratamiento de aguas y como consecuencia una menor inversión en la construcción de la misma.

Para el cálculo del agua recirculada se realizó un balance de materia como - el que se muestra a continuación:



El balance queda como sigue:

Balance en X:

$$A_L = A_F + A_R \quad (7.1)$$

Balance en Y:

$$A_S = A_D + A_R \quad (7.2)$$

donde: A_F .- Agua de Primer Uso (m^3/ton)

A_L .- Agua Alimentada al Proceso (m^3/ton)

A_S .- Agua de Salida (m^3/ton)

A_D .- Agua Descargada (m^3/ton)

A_R .- Agua Recirculada (m³/ton)

Tomando como base los datos presentados en la tabla 3.1 , del capítulo 3 ,
el agua requerida en las etapas del proceso de elaboración de celulosa y papel
es la siguiente:

Preparación de la Madera:

$$A_L = 10.685 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Lavado de la Pulpa:

$$A_L = 66.256 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Blanqueado de la Celulosa:

$$A_L = 94.70 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Fabricación de Papel:

$$A_L = 113.644 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Ahora , utilizando los datos presentados al pie de cada tabla del capítulo 5 ,
el agua recirculada en cada una de las etapas antes citadas es:

Preparación de la Madera:

$$A_R = 7.037 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Lavado de la Pulpa:

$$A_R = 43.927 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Blanqueado de la Celulosa:

$$A_R = 63.957 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Fabricación de Papel:

$$A_R = 57.915 \text{ m}^3/\text{ton}$$

7.1.1. Cálculo del Agua Ahorrada

$$A_{R\text{total}} = \sum (A_{R1} + A_{R2} + A_{R3} + A_{R4})$$

$$A_{R\text{total}} = \sum (7.037 + 43.927 + 63.957 + 57.915) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_{R\text{total}} = 172.84 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Asumiendo una base de cálculo de 100 ton/día, tenemos que:

$$Q_{\text{ahorrado}} = 172.84 \text{ m}^3/\text{ton} \times 100 \text{ ton/día}$$

$$Q_{\text{ahorrado}} = 17284 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del Agua Residual Descargada

De la ecuación 7.2, sabemos que:

$$A_D = A_S - A_R \quad (7.2a)$$

La ecuación 7.2a, nos servirá de base para calcular el agua descargada

en cada una de las etapas del proceso antes mencionadas.

Observando el esquema donde se realizó el balance de materia, tenemos que

$$A_L = A_S, \text{ por lo tanto:}$$

Preparación de la Madera:

$$A_D = A_S - A_R$$

$$A_D = (10.685 - 7.037) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_D = 3.648 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Lavado de la Pulpa:

$$A_D = A_S - A_R$$

$$A_D = (66.256 - 43.927) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_D = 22.329 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Blanqueado de la Celulosa:

$$A_D = A_S - A_R$$

$$A_D = (94.70 - 63.957) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_D = 30.743 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Fabricación de Papel:

$$A_D = A_S - A_R$$

$$A_D = (113.644 - 57.915) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_D = 55.729 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Agua Descargada Total

$$A_{D\text{total}} = \sum (A_{D1} + A_{D2} + A_{D3} + A_{D4})$$

$$A_{D\text{total}} = \sum (3.648 + 22.329 + 30.743 + 55.729) \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$A_{D\text{total}} = 112.45 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Asumiendo una base de cálculo de 100 ton/día:

$$Q_{\text{descargado}} = 112.45 \text{ m}^3/\text{ton} \times 100 \text{ ton/día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ seg} \\ \times 1000 \text{ lt}/1 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{descargado}} = 130.15 \text{ lt}/\text{seg}$$

En la tabla 7.1, se resumen los resultados obtenidos.

TABLA 7.1

RESUMEN DE RESULTADOS DEL BALANCE

ETAPAS DEL PROCESO	AGUA ALIMENTADA (m ³ /ton)	AGUA RECICULADA (m ³ /ton)	AGUA DESCARGADA (m ³ /ton)
Preparación de la Madera	10.685	7.037	3.648
Lavado de la Pulpa	66.256	43.927	22.329
Blanqueado de la Celulosa	94.70	63.957	30.743
Fabricación de Papel	113.644	57.915	55.729
T O T A L	285.285	172.84	112.45

7.1.2. Cálculo del Dinero Ahorrado

Tomando en cuenta lo dispuesto por la Dirección de Contribuciones de Agua de la Tesorería del Distrito Federal, en lo que se refiere a las tarifas por metro cúbico de agua vigentes a partir del tercer bimestre de 1984, tenemos lo siguiente:

$$Q_{\text{ahorrado}} = 17284 \text{ m}^3/\text{día}$$

De la tabla de tarifas de agua*, se tiene lo siguiente:

De 90.001 en adelante se paga \$1590.00 de cuota fija más los metros cúbicos excedentes al límite inferior, cuya cuota es de \$36.00 por metro cúbico, por consiguiente:

$$\text{m}^3 \text{ excedentes} = 17284 - 90.001$$

$$\text{m}^3 \text{ excedentes} = 17194.0 \text{ m}^3$$

Cálculo del Dinero por m^3 excedente:

$$\$ = 17194 \text{ m}^3 \times \$36.00/\text{m}^3$$

$$\$ = \$618,984.00$$

$$\$_{\text{total}} = \text{cuota fija} + \text{excedente}$$

$$\$_{\text{total}} = \$1590.00 + \$618,984$$

$$\$_{\text{total}} = \$ 620, 574.00$$

La cantidad calculada, significa el dinero que se dejaría de pagar por día, si se recirculara ese volumen de agua.

$$\$_{\text{total}} / \text{día} = \$ 620, 574.00 / \text{día} \times 30 \text{ días} / 1 \text{ mes}$$

$$\$_{\text{total}} / \text{mes} = \$ 18, 617, 220.00 / \text{mes} \times 12 \text{ meses} / 1 \text{ año}$$

$$\$_{\text{total}} / \text{año} = \$ 223, 406, 000.00$$

Para obtener el ahorro, deberán restarse los costos involucrados en inversión y operación de los sistemas de tratamiento.

7.2. DIMENSIONAMIENTO

En esta sección, se procederá a realizar el dimensionamiento de cada una de las unidades de tratamiento propuesto, en la separación de corrientes para las diversas actividades de las industrias elaboradoras de celulosa al sulfato o kraft y del papel.

7.2.1. Preparación de la Madera

Rejillas:

$$Q = 7.037 \text{ m}^3/\text{ton} \times 100 \text{ ton/día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ seg}$$

$$Q = 8.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Asumiendo un exceso del 30% para las futuras demandas, obtenemos lo siguiente:

$$Q_{\text{diseño}} = 8.145 \times 10^{-3} \times 1.3$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1.06 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ahora sabemos que:

$$Q = A V \quad \text{donde: } Q. - \text{Flujo de Diseño (m}^3/\text{seg)}$$

A.- Area proyectada de las aberturas (m²)

V.- Velocidad de flujo a través de la rejilla (m/seg)*

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{1.06 \times 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.6 \text{ m} / \text{seg}}$$

$$A = 1.766 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

En sistemas de tratamiento pequeños, es práctica común diseñar el canal de cribado con un ancho de 0.4 metros, por lo que se asumirá dicho valor. - Ahora bien, la longitud de las barras será de hasta 75 cm y las dimensiones - aproximadas (según referencia no. 9), serán de 0.6 cm de espesor por 2.5 cm de ancho. Dando un espacio entre barras de 2.5 cm, la eficiencia de las cribas para las dimensiones dadas, es del 77%. Por lo tanto, el incremento del área húmeda es:

$$A = 1.766 \times 10^{-2} \text{ m}^2 / 0.77$$

$$A = 2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

*El valor recomendado para la velocidad de flujo a través de la rejilla es de 0.6 m/seg (Ref. No. 9).

Profundidad del agua aproximada al flujo:

$$H = 2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2 / 0.4 \text{ m}$$

$$H = 0.0575 \text{ m} = 5.75 \text{ cm} = 6.0 \text{ cm}$$

Cámara Desarenadora

La experiencia ha mostrado que la velocidad del flujo en la cámara desarenadora debe mantenerse lo más próximo a los 30 cm/seg (Ref. No. 9); esto permitirá la sedimentación de las arenas y también mantendrá en suspensión a la mayor parte de la materia orgánica. Para el mantenimiento de dicha velocidad, se deberá equipar a la cámara con un dispositivo de control de velocidad.

$$Q = A V \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} Q. - \text{Flujo de Diseño (m}^3/\text{seg) } \\ A. - \text{Area de la sección transversal del canal desarenador (m}^2 \text{) } \\ V. - \text{Velocidad de Flujo (m/seg) } \end{array}$$

$$A = \frac{1.06 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg}}{0.3 \text{ m/seg}}$$

$$A = 3.53 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

Por otra parte:

$$A = W H \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} W. - \text{Ancho de la cámara (m) } \\ H. - \text{Profundidad del agua en el canal (m) } \\ A. - \text{Area de la sección transversal del canal (m}^2 \text{) } \end{array}$$

El ancho (W) recomendable es de 0.4 m, para facilidad de limpieza. Por lo tanto:

$$A = \frac{Q}{V} = W H$$

$$H = \frac{Q}{V} \times \frac{1}{W}$$

$$H = 0.0353 \text{ m}^2 \times \frac{1}{0.4 \text{ m}}$$

$$H = 0.0882 \text{ m} = 0.09 \text{ m} = 9.0 \text{ cm}$$

Y

$$L = \frac{H}{v_s} \times V \quad \text{donde: } L. - \text{Longitud de la cámara (m)}$$

$v_s. - \text{Velocidad de sedimentación de la arena (m/seg)}$

V. - Velocidad de flujo (m / seg)

De acuerdo con la tabla 3.2.1. de la página 35 de la ref. no. 14:

$$v_s \left| \begin{array}{l} 20^\circ\text{C} = 2.7 \text{ cm/seg} = 0.027 \text{ m/seg} \end{array} \right.$$

Por lo tanto:

$$L = \frac{0.09 \text{ m}}{0.027 \text{ m/seg}} \times 0.3 \text{ m/seg}$$

$$L = 1.0 \text{ m}$$

Para lograr un control de la velocidad, se equipará a la cámara desarena-
dora con un regulador de flujo y con esto mantener la velocidad requerida ----
(0.3 m / seg), en la misma.

Cálculo del Medidor de Flujo

Vertedor Proporcional

El principio básico del vertedor proporcional es que el gasto que pasa a través de él, varía directamente con la carga; esto es, que el control de flujo va directamente relacionado con la forma del vertedor.

Debe mantener una velocidad constante de 30 cm/seg aproximadamente en el canal desarenador.

Ecuaciones de Diseño*

$$Q = 2b \sqrt{2ag} \quad (h + 2/3 a) \quad (7.3.1)$$

$$Q_1 = 4/3 b \sqrt{2g} \left[(h + a)^{3/2} - h^{3/2} \right] \quad (7.3.2)$$

$$X = b \left(1 - 2/\pi \tan^{-1} \sqrt{Y/a} \right) \quad (7.3.3)$$

donde:

Q.- flujo de agua residual (m³/seg)

b.- mitad del ancho del vertedor (m)

a.- altura de la parte rectangular del vertedor (m)

h.- altura del vertedor (m)

Q₁.- flujo de agua residual de la parte rectangular del vertedor (m³/seg)

g.- cte. de la gravedad (9.81 m/seg²)

X.- ancho del vertedor para la superficie del líquido

Y.- altura del líquido

A partir de la ecuación 7.3.1, se calcula el ancho "b" del vertedor. Asumiendo una altura "a" del rectángulo igual a 3.5 cm y una altura $h = 8 - 2/3 a$ del vertedor.

Por tanto, de la ecuación 7.3.1. tenemos lo siguiente:

$$b = \frac{Q / 2}{\sqrt{2 a g} (h + 2/3 a)} \quad (7.3.1a)$$

como:

$$Q = 0.0106 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$a = 3.5 \text{ cm} = 0.035 \text{ m}$$

$$h = 8 - 2/3 a = 8 - 2/3 (3.5)$$

$$h = 5.66 \text{ cm} = 0.06 \text{ m}$$

Substituyendo valores en la ecuación 7.3.1a., obtenemos:

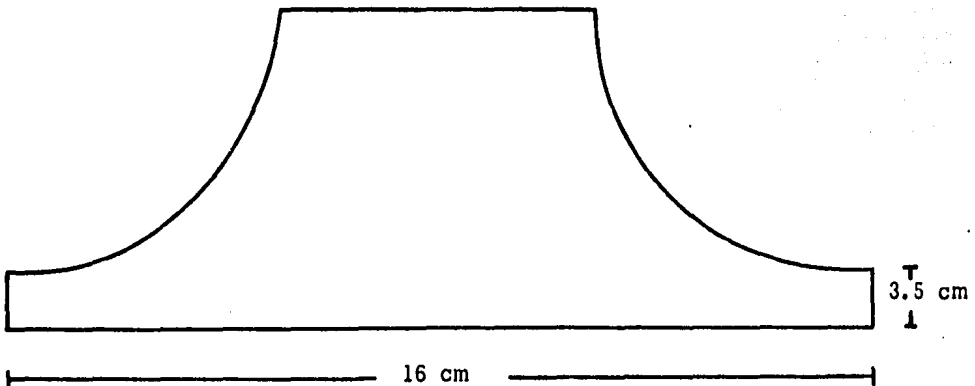
$$b = \frac{(0.0106 \text{ m}^3 / \text{seg}) / 2}{\sqrt{2 (0.035 \text{ m}) (9.81 \text{ m/seg}^2)} (0.056 + 0.023) \text{ m}}$$

$$b = 0.08 \text{ m}$$

Para calcular la curvatura del vertedor se utiliza la ecuación 7.3.3., en la cual se asumen valores para "Y" y se resuelve para "X", resultando la tabla 7.2.

La descarga del vertedor proporcional debe hacerse en "caída libre" de tal forma que se evite el ahogamiento para su buen funcionamiento.

El diseño del vertedor proporcional consistirá en una placa de acero o fibra de vidrio donde se hará la escotadura que resultó del cálculo anterior, como se muestra en la figura.

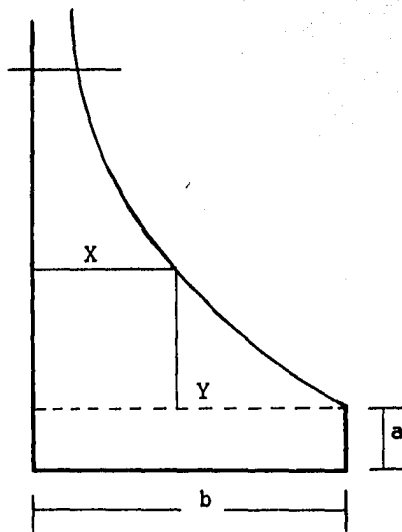


*Referencia No. 1

TABLA 7.2

Tabulación de resultados, para la escotadura del vertedor.

Y (cm)	X (cm)
0.0	8.0
0.1	7.15
0.2	6.80
0.3	6.55
0.5	6.16
1.0	5.49
1.5	5.04
2.0	4.70
2.5	4.42
3.0	4.19
3.5	4.00
4.0	3.83
5.0	3.54
6.0	3.32
7.0	3.13
8.0	2.97
9.0	2.83



Sedimentador Primario

Se ha seleccionado un sedimentador circular con alimentación central.

Cálculo del área del sedimentador:

$$q = Q / A \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} Q. - \text{flujo de agua residual (m}^3/\text{día) } \\ A. - \text{área del sedimentador (m}^2 \text{) } \\ q. - \text{carga superficial (m}^3/\text{día/m}^2 \text{) } \end{array}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1.06 \times 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 915.84 \text{ m}^3/\text{día} = 916 \text{ m}^3/\text{día}$$

La carga superficial, para flujos menores de $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ no deberá exceder de $24 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$ (Ref. No. 9).

Por consiguiente:

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{916 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ m}^3/\text{día/m}^2}$$

$$A = 38.17 \text{ m}^2$$

Diámetro del Sedimentador:

$$A = \pi R^2 = \pi (D/2)^2 = \pi \frac{D^2}{4}$$

Por tanto:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(38.17 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 6.97 \text{ m} = 7.0 \text{ m}$$

Asumiendo 116.24 mg/lit de sólidos sedimentables (tabla 5.1) y una retención de lodos en el sedimentador de hasta 12 horas, con un 95% de humedad en los lodos, el volumen de almacenamiento requerido en la tolva es:

$$V = \frac{916 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ hr}/1 \text{ día}} \times \frac{116.24 \text{ mg/lit}}{10^6 \text{ mg}/1 \text{ Kg}} \times \frac{10^3 \text{ lit}}{1 \text{ m}^3} \times 12 \text{ hr} \times \frac{1}{0.05}$$

$$V = 1064.76 \text{ Kg}$$

Considerando un peso volumétrico de lodos de $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$:

$$\text{Vol. de la tolva} = \frac{1064.76 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg} / \text{m}^3}$$

$$\text{Vol. de la tolva} = 1.064 \text{ m}^3$$

Considerando una profundidad mínima del lado de la pared de 2.1 m, entonces el tiempo de retención es:

$$t = \frac{\pi (7.0 \text{ m})^2}{4} \times 2.1 \text{ m} \times \frac{1}{916 \text{ m}^3/\text{día}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$t = 2.11 \text{ hr} = 127.05 \text{ min}$$

Se comprueba la carga hidráulica en el vertedor periférico de salida, la cual no deberá exceder de $185 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ (Ref. No. 9).

$$q_h = \frac{916 \text{ m}^3/\text{día}}{\pi (7.0 \text{ m})}$$

$$q_h = 41.65 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$$

Como la carga hidráulica calculada no excede al valor señalado, podemos concluir que el diseño del sedimentador es correcto.

7.2.2. Blanqueado de la Celulosa

Tanque de Mezclado Rápido:

$$Q = 63.957 \text{ m}^3/\text{ton} \times 100 \text{ ton}/1 \text{ día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 1 \text{ hr}/60 \text{ min}$$

$$Q = 4.44 \text{ m}^3/\text{min}$$

Asumiendo un exceso del 30% para futuras demandas, obtenemos lo siguiente:

$$Q_{\text{diseño}} = 4.44 \times 1.3 = 5.77 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 5.77 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min}/1 \text{ hr} \times 24 \text{ hr}/1 \text{ día}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 8314.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del volumen del tanque:

$$t = V / Q \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} t. - \text{ tiempo de retención (min)} \\ V. - \text{ volumen del tanque (m}^3\text{)} \\ Q. - \text{ flujo de agua residual (m}^3\text{/min)} \end{array}$$

El tiempo de retención para una cámara de mezclado rápido está en el rango de 2 a 3 minutos (Ref. No. 7), por lo que se tomará un tiempo de retención de:

$$t_{\text{retención}} = 3 \text{ minutos}$$

por consiguiente:

$$v = t Q = 3 \text{ min} \times 5.77 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$v = 17.32 \text{ m}^3 = 17.5 \text{ m}^3$$

Dimensiones del tanque basado en este tiempo de retención:

$$V = 4/3 \pi R^3 = 4/3 \pi (D/2)^3 = 4/24 \pi D^3 = 1/6 \pi D^3$$

Por lo tanto:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 V}{\pi}}$$

sustituyendo valores:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 (17.5 \text{ m}^3)}{\pi}}$$

$$D = 3.22 \text{ m}$$

Ahora, sabiendo que:

$$V = \pi r^2 h$$

entonces:

$$h = V / \pi r^2$$

$$h = 17.5 \text{ m}^3 / \pi (1.61 \text{ m})^2$$

$$h = 2.15 \text{ m} = 2.5 \text{ m}$$

Resumiendo, tenemos lo siguiente:

Diámetro = 3.5 metros

Altura = 2.5 metros

Para llevar a cabo el mezclado, es necesario emplear un agitador del tipo de hélice, por lo que la potencia del motor para impulsar dicho agitador deberá ser:

De acuerdo con el monograma de la figura V de la página 1919 del Perry (1979), Manual del Ingeniero Químico, con Q y v , leemos directamente en el monograma la potencia teórica necesaria para impulsar al agitador.

Datos:

$$Q = 5773.88 \text{ l/min} = 5800 \text{ l/min}$$

$$v = 1500 \text{ rpm} = 160 \text{ m/seg}$$

Utilizando estos datos, la potencia teórica es:

$$\text{HP} = 0.45$$

Asumiendo 60% de eficiencia del sistema, la potencia real será:

$$P = 0.45 \text{ HP} / 0.6$$

$$P = 0.75 \text{ HP}$$

Tanque de Mezclado Lento (Floculador)

Cálculo del volumen del tanque:

El procedimiento de cálculo es el mismo que en el caso anterior, sólo varía el tiempo de retención. La variación del tiempo de retención es de 20 a 30 min. *, - por lo que:

$$t_{\text{retención}} = \frac{20 + 30}{2} = 25 \text{ minutos}$$

$$V = t Q = 25 \text{ min} \times 5.77 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$V = 144.25 \text{ m}^3$$

Dimensiones del tanque basado en este tiempo de retención:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 (144.25 \text{ m}^3)}{\pi}}$$

$$D = 6.5 \text{ m}$$

*Referencia No. 6

$$h = V / \pi r^2 = 144.25 \text{ m}^3 / \pi (3.25 \text{ m})^2$$

$$h = 4.35 \text{ m} = 4.5 \text{ m}$$

Resumiendo, tenemos lo siguiente:

Diámetro = 6.5 metros

Altura = 4.5 metros

Para llevar a cabo el mezclado, es necesario emplear un agitador del tipo de paletas, por lo que la potencia del motor para impulsar dicho agitador deberá ser:

En forma análoga al caso anterior, se procede al cálculo de la potencia teórica - necesaria, por tanto:

Datos:

$$Q = 5800 \text{ l} / \text{min}$$

$$v = 120 \text{ m} / \text{seg}$$

Utilizando estos datos, la potencia teórica es:

$$\text{HP} = 0.25$$

Asumiendo 60% de eficiencia del sistema, la potencia real será:

$$P = 0.25 \text{ HP} / 0.6$$

$$P = 0.42 \text{ HP}$$

Clarificador Primario

Se ha seleccionado un clarificador primario con alimentación central.

Cálculo del área del clarificador:

$$q = Q / A \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} Q.- \text{ flujo de agua residual (m}^3/\text{día) } \\ A.- \text{ área del clarificador (m}^2 \text{)} \\ q.- \text{ carga superficial (m}^3/\text{día/m}^2 \text{)} \end{array}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 8314.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para flujos mayores de $4000 \text{ m}^3/\text{día}$, la carga superficial no deberá exceder de $32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$ (Ref. No. 9), por lo que:

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{8314.4 \text{ m}^3/\text{día}}{32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2}$$

$$A = 259.82 \text{ m}^2 = 260 \text{ m}^2$$

Diámetro del Clarificador:

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (260 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 18.195 \text{ m} = 18.5 \text{ m}$$

Asumiendo 95.18 mg/lit de sólidos sedimentables (tabla 5.4) y una retención de lodos en el sedimentador de hasta 12 horas, con un 95% de humedad en los lodos, el volumen de almacenamiento requerido en la tolva es:

$$V = \frac{8314.4 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ hr} / 1 \text{ día}} \times \frac{85.18 \text{ mg/lit}}{10^6 \text{ mg} / 1 \text{ Kg}} \times \frac{10^3 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \times 12 \text{ hr} \times \frac{1}{0.05}$$

$$V = 7,082.20 \text{ Kg}$$

Considerando un peso volumétrico de lodos de $1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$:

$$\text{Vol. de la tolva} = \frac{7,082.20 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg} / \text{m}^3}$$

Vol. de la tolva = 7.082 m^3

Considerando una profundidad mínima del lado de la pared de 2.1 metros, entonces el tiempo de retención es:

$$t = \frac{\pi (18.5 \text{ m})^2}{4} \times 2.1 \text{ m} \times \frac{1}{8314.4 \text{ m}^3/\text{día}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$t = 1.63 \text{ hr} = 97.8 \text{ min.}$$

Ahora, se comprueba la carga hidráulica en el vertedor periférico de salida, la cual no debe exceder de $185 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ (Ref. No. 9).

$$q_h = \frac{8314.4 \text{ m}^3/\text{día}}{\pi (18.5 \text{ m})}$$

$$q_h = 143.06 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$$

Como la carga hidráulica calculada no excede al valor señalado, se puede concluir que el diseño del sedimentador es correcto.

Filtración

Se han seleccionado filtros circulares.

$$Q_{\text{diseño}} = 8314.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del área del filtro:

$$q = \frac{Q}{A} \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} q. - \text{carga superficial (m}^3/\text{día/m}^2) \\ Q. - \text{flujo de agua residual (m}^3/\text{día)} \\ A. - \text{área del filtro (m}^2) \end{array}$$

Asumiendo una carga superficial de $352 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$ (6 gpm/ft^2)*, obtenemos lo siguiente:

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{8314.4 \text{ m}^3/\text{día}}{352 \text{ m}^3/\text{día/m}^2}$$

$$A = 23.62 \text{ m}^2$$

*Referencia No. 7

Cálculo del diámetro del filtro:

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (23.62 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 5.5 \text{ m}$$

Condiciones de Operación

Capacidad = 1525.46 gal/min

Velocidad de Filtración = 6 gal/min/ft²

Flujo de Retrolavado = 10 gal/min/ft²

Presión de Entrada al Filtro = 0.45 Kg/cm²

Datos de Diseño

Medio Filtrante. - Está formado por tres capas que son: Antracita, Arena y Grava.

Número de Capas = 3 capas

ANTRACITA

Espesor = 0.3048 m

Tamaño Efectivo = 1.2 mm

Coefficiente de Uniformidad = 1.5

Esfericidad = 1.0

Factor de Forma = 6.0

Porosidad = 0.5

Gravedad Específica = 1.4

ARENA

Espesor = 0.3048 m

Tamaño Efectivo = 0.5 mm

Coefficiente de Uniformidad = 1.4

Esfericidad = 1.0

Factor de Forma = 5.0

Porosidad = 0.4

Gravedad Específica = 2.65

GRAVA

Espesor = 0.3048 m

Factor de Forma = 5.0

Porosidad = 0.6

Gravedad Específica = 2.5

Número de Unidades = 2

Pérdida de Carga = 0.3048 m

Porosidad del Medio Filtrante = 0.4

Peso Específico de la Arena = 165 lb/ft³

Densidad del Agua = 62.4 lb/ft³

Viscosidad Absoluta del Agua = 1.0 cp

7.2.3. Fabricación de Papel

Sedimentador Primario:

Se ha seleccionado un sedimentador circular con alimentación central.

Cálculo del área del sedimentador:

$$q = \frac{Q}{A} \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} Q.- \text{ flujo de agua residual (m}^3/\text{día) } \\ A.- \text{ área del sedimentador (m}^2 \text{)} \\ q.- \text{ carga superficial (m}^3/\text{día/m}^2 \text{)} \end{array}$$

$$Q = 57.915 \text{ m}^3/\text{ton} \times 100 \text{ ton/día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ seg}$$

$$Q = 6.70 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Asumiendo un exceso del 30% para las futuras demandas:

$$Q_{\text{diseño}} = 6.70 \times 10^{-2} \times 1.3$$

$$Q_{\text{diseño}} = 8.71 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg} \times 3600 \text{ seg}/1 \text{ hr} \times 24 \text{ hr}/1 \text{ día}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 7528.95 \text{ m}^3/\text{día} = 7529 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para flujos mayores de $4000 \text{ m}^3/\text{día}$, la carga superficial no deberá exceder de $32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$ (Ref. No. 9), por tanto:

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{7529 \text{ m}^3/\text{día}}{32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2}$$

$$A = 235.3 \text{ m}^2$$

Diámetro del Sedimentador:

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (235.3 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 17.31 \text{ m} = 17.5 \text{ m}$$

Asumiendo $59.3 \text{ mg}/\text{lt}$ de sólidos sedimentables (tabla 5.5) y una retención de lodos en el sedimentador de hasta 12 horas, con un 95% de humedad en los lodos, el volumen de almacenamiento requerido en la tolva es:

$$V = \frac{7529 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ hr}/\text{día}} \times \frac{59.3 \text{ mg}/\text{lt}}{10^6 \text{ mg}/\text{Kg}} \times \frac{10^3 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \times 12 \text{ hr} \times \frac{1}{0.05}$$

$$V = 4464.7 \text{ Kg}$$

Considerando un peso volumétrico de lodos de $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$:

$$\text{Vol. de la tolva} = \frac{4464.7 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg}/\text{m}^3}$$

$$\text{Vol. de la tolva} = 4.464 \text{ m}^3$$

Considerando una profundidad del lado de la pared de 2.1 metros, entonces el tiempo de retención será:

$$t = \frac{\pi (17.5 \text{ m})^2}{4} \times 2.1 \text{ m} \times \frac{1}{7529 \text{ m}^3/\text{día}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$t = 1.61 \text{ hr} = 96.60 \text{ min}$$

Se comprueba la carga hidráulica en el vertedor periférico de salida, la cual no debe exceder de $185 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ (Ref. No. 9).

$$q_h = \frac{7529 \text{ m}^3/\text{día}}{\pi (17.5 \text{ m})}$$

$$q_h = 137.0 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$$

Como la carga hidráulica no excede al valor señalado, podemos concluir que el diseño del sedimentador es correcto.

8. ASPECTOS LEGALES

Actualmente, la contaminación del agua en México, se ha convertido en un problema que por sus características requiere de una atención prioritaria e inmediata. Las diversas actividades humanas, han influido de manera determinante y significativa, sobre la calidad del agua de los cuerpos receptores, de tal manera que ríos, lagos, lagunas, aguas subterráneas y los mares, reciben constantemente las descargas de aguas residuales generadas por las industrias.

Todas las alteraciones ocasionadas a la calidad del agua, en lo que se refiere a sus parámetros físico-químicos, así como en cuanto a los aspectos bacteriológicos, ocasionan un desequilibrio ecológico que repercute directamente en la flora y fauna acuática, llegando inclusive a afectar la salud humana.

Dentro de los sectores industriales que generan mayor volumen de agua residual se encuentra el de fabricación de celulosa y papel.

El gobierno Federal, ha establecido a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), específicamente la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua (DGPCCA), una serie de estrategias y acciones para controlar los factores que originan la contaminación de las aguas. Por otro lado, la SEDUE da cumplimiento a las atribuciones que le otorga la legislación relativa a la protección ambiental, realizando una serie de programas encaminados a solucionar la problemática de la contaminación del agua, todas orientadas a que las descargas de agua residual que originan contaminación

de los cuerpos receptores, reciban el tratamiento adecuado previo a su vertido.

Para llevar a cabo las acciones y programas dispuestos por la SEDUE, se requiere de la colaboración de los responsables de las descargas de aguas residuales, quienes al cumplir con las obligaciones que les impone la legislación vigente en la materia (Arts. 7 a 12 y 14) del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, lo cual simplifica en gran medida las acciones para dicho propósito.

Las obligaciones antes mencionadas básicamente son las siguientes:

1.- Registro de sus descargas de Aguas Residuales, que tienen como finalidad, formar un inventario de fuentes fijas de contaminación del agua, que contribuya a los estudios para determinar la calidad de los cuerpos receptores y las condiciones particulares que deban cumplir las propias descargas.

Esta obligación se cumple con proporcionar la información que se solicita en los formatos que para tal efecto distribuya en forma gratuita la SEDUE.

2.- Solicitar la fijación de condiciones particulares de descarga, así como cumplir con las mismas en el tiempo que para tal efecto se establezca. Las condiciones particulares son las características físicas, químicas y bacteriológicas a que deben sujetarse las propias descargas previo a su vertido.

De las acciones antes citadas, la segunda repercute en las obligaciones de instalar sistemas de tratamiento, los cuales son bajo la responsabilidad de las personas físicas o morales cuyas actividades originan descargas, desde su construcción hasta su operación y mantenimiento.

La SEDUE tomando en consideración que la construcción de sistemas de tratamiento requieren de tiempo y en algunos casos de equipo especial, con base en la legislación vigente otorga prórrogas para que los responsables de las descargas cumplan, sin hacerse acreedores a sanciones, siempre y cuando existan obras de por medio.

La SEDUE, con la finalidad de que todas las acciones emprendidas en materia de Prevención y Control de la Contaminación del Agua se reflejan en el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales que conduzcan a aminorar la contaminación de las aguas y de alguna manera facilitar a los responsables de las descargas el cumplimiento de ésta obligación, ha promovido programas de apoyo que permiten el desarrollo de esta actividad; entre estos destacan los siguientes:

- a) Programas de Distritos de Control
- b) Convenios
- c) Programa de Reuso del Agua

El programa de Distritos de Control es una de las estrategias para el control de la contaminación de las aguas, y tienen como base jurídica la Ley Fede-

ral de Protección al Ambiente y el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua.

Estos ordenamientos señalan que los responsables de descargas de Aguas Residuales están obligados a dar el tratamiento necesario a las Aguas Residuales para evitar la contaminación del agua, dando opción a que esta obligación puede llevarse a cabo de las siguientes formas:

- a) Tratamiento individual de las Aguas Residuales por cada responsable.
- b) Tratamiento conjunto de las Aguas Residuales provenientes de fraccionamientos, zonas industriales o poblaciones.

En la primera forma de solución el costo de tratamiento se realiza en forma directa y en la otra alternativa el responsable paga una cuota al encargado de la colección y tratamiento de las aguas residuales por el servicio que le proporciona, cuota que se establece con base a la calidad y cantidad de sus aguas residuales.

Convenios de Coordinación

Las causas de los problemas ambientales se asocian a los diferentes estilos de aprovechar y disponer los recursos, lo cual se deriva en diversos grados de deterioro ecológico.

El Gobierno Federal a través de la SEDUE y la Secretaría de Energía y Minas (SEMIP), en forma conjunta promueven la participación de las empresas Paraestatales vía convenios de concentración y coordinación, para la solución de los problemas de contaminación.

Dentro de este contexto, la SEDUE tiene firmados convenios con PEMEX, AZUCAR S.A., FERTIMEX, SIDERMEX.

En dichos convenios se establece la coordinación entre dependencia como elementos indispensables para orientar adecuadamente los esfuerzos de conservación y restauración ecológica de las áreas de influencia.

Reuso del Agua

En ciertas localidades, el país está afrontando problemas de disponibilidad de agua, ya sea porque el abastecimiento es insuficiente o porque las fuentes se encuentran contaminadas; es en estas zonas donde se plantea la necesidad de reutilización y recirculación del agua.

Fomentar la reutilización y recirculación de las Aguas Residuales como un recurso de bajos costos, con este objetivo se persigue liberar volúmenes de agua de primer uso que actualmente se destinan a procesos industriales, comerciales y agrícolas que pueden abastecerse con agua de menor calidad.

CONCLUSIONES

La industria de la celulosa y del papel, además de ser una de las industrias más consumidoras de agua, es una de las más contaminantes, por lo que el buen manejo interno del agua tendrá como consecuencia un menor consumo de agua de primer uso y por ende se podrá tener un mayor control de las aguas residuales en cuanto a contaminación se refiere.

Una de las medidas tendientes para abatir en forma considerable, tanto el consumo de agua de primer uso como la carga de contaminantes en el agua residual, es la separación interna de corrientes.

Con la separación de corrientes, el tratamiento que deba recibir el agua residual no es muy complejo, lo cual tendrá repercusiones positivas en los costos de tratamiento. Es decir, se minimizarán los costos de tratamiento, ya que no es lo mismo tratar al efluente total que en partes. Si tratáramos al efluente global, se involucrarían sistemas de tratamiento más complejos y por consiguiente los costos de tratamiento se elevarían.

Además, la separación de corrientes nos ofrece la ventaja de poder reutilizar el agua tratada, ya sea en el mismo proceso, o bien en otros donde la calidad del efluente lo permita.

Por lo que respecta al renglón de recuperación de subproductos, la cual es practicada en baja escala dentro de este sector industrial, un ejemplo lo cons-

tituye la fibra recuperada que puede ser considerada como un subproducto reutilizable, ya sea como materia prima, o bien como un subproducto cuya venta representaría a la industria beneficios económicos.

Otro de los aspectos importantes, es lo referente al cumplimiento de los parámetros de calidad estipulados por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas o en su defecto a las Condiciones Particulares de Descarga, las cuales son fijadas por la SEDUE.

Con la separación de corrientes, además de las ventajas antes mencionadas nos permitirá que exista una mayor probabilidad de cumplir con las disposiciones legales vigentes.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AWWA, (1977), Wastewater Treatment Plant Design, AWWA, New York.
- 2.- Casey, J.P., (1952), Pulp and Paper, Interciencia Inc., New York.
- 3.- Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Protección al Ambiente, publicadas en el Diario Oficial de Enero de 1984.
- 4.- DGPCCA, (1976), Usos del Agua en la Industria, SARH, México.
- 5.- Eckenfelder, W.W., (1966), Industrial Water Pollution Control, Mc Graw Hill, New York.
- 6.-Eckenfelder, W.W. Jr., (1979), Principles of Water Quality Management, Publishing Company, Inc.
- 7.- Fair-Geyer-Okun, (1976), Purificación de Aguas Y tratamientos y Remoción de Aguas Residuales (Tomo II), Limusa, México.
- 8.- Libby, E.C., (1980), Ciencia y Tecnología sobre la Pulpa y Papel, CECSA, México.
- 9.- Metcalf-Eddy, (1977), Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales, Labor, España.
- 10.- Nalco Chemical Company, (1979), Manual del Agua, Mc Graw Hill, New York.

- 11.- Nemerow, N. , (1971) , Liquid Waste of Industry, Adison Wesley.
- 12.- Ramalho, R.S. , (1977) , Introduction to Wastewater Treatment Processes , Academic Press Inc. , London.
- 13.- Reglamento para Prevención y Control de la Contaminación de Aguas , publicado en el Diario Oficial del 29 de Marzo de 1973, SRH , México.
- 14.- SRH. , (1974) , Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, SRH, México.
- 15.- Tarifa vigente a partir del 3/84, Tesorería del Distrito Federal, Dirección de Contribuciones de Agua , México.
- 16.- UNEP. , (1979) , Protección del Medio Ambiente en la Industria de la Pasta y Papel, UNEP, París.