

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE REUTILIZACION DE AGUA DE  
PROCESO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA FRESCA EN UNA  
PLANTA PAPELERA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**ESTHER ADRIANA URQUIAGA CUEVA**

**LIMA – PERÚ**

**2013**

Dedicado a mi hija, Adriana Lucia.

## **RESUMEN**

Actualmente, en la fabricación de papel se consumen grandes volúmenes de agua, una manera de disminuir el consumo de agua fresca en la producción, es reemplazarla por agua del proceso previamente tratada.

La ampliación de la planta de efluentes, permitió una reducción de 20 m<sup>3</sup> a 17 m<sup>3</sup> del agua consumida por tonelada de papel producido. Gracias al uso de agua de proceso clarificada en lugar del uso de agua fresca. Mediante un tratamiento primario, el cual consiste en clarificar el agua con un sistema de clarificadores por flotación con aire disuelto DAF. Éstos separan los desechos sólidos de las aguas de proceso por medio de la acción de químicos floculantes y coagulantes, el agua clarificada con menos de 200 ppm de SDT retorna al sistema y se encuentra recirculando constantemente.

Las limitaciones surgen debido al aumento de la actividad bacteriana en el circuito por la disminución de la entrada de agua fresca al sistema. Para lo cual se tuvo que aumentar la dosis de biocidas para evitar la proliferación de bacterias y la contaminación del papel producido. Esto genera un aumento en el uso de biocidas que se compensa con el ahorro de agua resultando una utilidad de \$1.45/Tm de papel producido. Haciendo sostenible el proyecto.

La siguiente etapa sería un tratamiento secundario, que no es parte de este trabajo pero que eliminaría considerablemente la actividad bacteriana y permitiría dar más tiempo de recirculación al agua.

# ÍNDICE

	PAG
1. INTRODUCCIÓN	7
2. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TECNICAS	8
2.1. Proceso de fabricación de papel	8
2.1.1. Materia prima	8
2.1.2. Obtención de pasta de celulosa a partir de fibra	
De madera	9
2.1.3. Blanqueo	9
2.1.4. Producción de pasta a partir de fibra recuperada	10
2.1.5. Preparación de la pasta de papel	10
2.1.5.1. Aditivos	10
2.1.5.2. Auxiliares	11
2.1.6. Depuración	11
2.1.7. Formación de la hoja	12
2.1.8. Prensado en Húmedo	12
2.1.9. Secado	13
2.1.10. Bobinado	14
2.2. El agua en el proceso de fabricación del papel	14
2.2.1. Características del agua que ingresa al proceso de	
Producción	16
2.2.2. Contaminación del circuito de aguas	16
2.2.2.1. Materias primas fibrosas	16
2.2.2.2. Aditivos	17
2.3. Proceso de Clarificación	19
2.3.1. Conceptos y mecanismos	19
2.3.1.1. Coagulación	19

	PAG
2.3.1.2.Floculación	19
2.3.1.3.Sedimentación	20
2.3.2. Elementos necesarios en la clarificación	20
2.3.3. Tipo de Clarificadores Industriales	21
2.3.3.1.Tipo de Clarificador DAF	21
2.3.3.2. DAF-Principios Generales de Operación	22
2.3.3.3.Procesos de Clarificación DAF	24
2.3.3.4.Uso de químicos	27
2.3.3.4.1. Coagulantes	27
2.3.3.4.2. Floculantes	28
2.3.3.5. Ventajas	28
2.4. Actividad Bacteriana en agua de proceso clarificada	29
2.4.1. Parámetros de control del agua	30
2.4.1.1.Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) Y (DBO <sub>5</sub> )	30
2.4.1.2.Demanda Química de oxígeno (DQO)	31
2.4.1.3.Sólidos disueltos total	31
2.4.1.4.Fosfatos y sulfatos	32
2.4.2. Impacto ambiental	34
3. DESARROLLO DEL TEMA	37
3.1. Calidad del agua clarificada	37
3.2.Calidad del agua Fresca	37
3.3.Reutilización de agua de proceso	37
3.3.1. Situación del sistema de recuperación de agua, Antes de la implementación	37
3.3.2. Situación del sistema de recuperación de agua, Después de la implementación	38
3.3.3. Químicos usados en la clarificación	40

	PAG
3.4. Consecuencias del bajo consumo de agua fresca	41
3.5. Análisis Coste Beneficio	43
3.5.1. Inversión del proyecto	43
3.5.2. Gastos de operación	43
3.5.2.1. Uso de biocidas	43
3.5.2.2. Uso de químicos	44
3.5.2.3. Energía eléctrica	44
3.5.3. Ahorro	45
3.5.3.1. Ahorro de Agua fresca	45
3.5.3.2. Limpieza de pozas	45
3.5.3.3. Menor tiempo de desague de maquinas Papeleras	45
3.5.4. Periodo de recupero de la inversión	46
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.1. Conclusiones	47
4.2. Recomendaciones	48
5. BIBLIOGRAFIA	49
6. ANEXOS	50

## 1. INTRODUCCIÓN

La manufactura de papel se inicia en China en los años 500 d.c. a partir de fibras de bambú, extendiéndose a Europa, principalmente a España e Italia donde se usaba largas fibras de lino y finalmente llega a América el año 1700.

Existen diferentes variedades de papeles, en su mayoría usados para escritura, impresión y empaque. La pulpa de papel se obtiene de gran variedad de arboles y ésta a su vez es extraída de la madera con diferentes procesos. Generalmente la extracción de la celulosa desde la pulpa se hace con métodos mecánicos, ya que los procesos químicos maltratan las fibras lo que origina un papel de menor calidad en cuanto a sus propiedades de resistencia y rigidez.

En la actualidad, la fabricación del papel requiere grandes cantidades de agua, pulpa y energía. Hoy en día el agua es un recurso valioso y escaso, por lo que surge la necesidad de hacer uso de ésta de manera eficiente. Una contribución importante se produjo al disminuir el consumo de agua fresca en una planta papelera.

La planta papelera en la que se implementó éste método, tenía un consumo de 20 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de papel, lo cual se redujo a 17 m<sup>3</sup>, gracias al uso de agua de proceso clarificada en lugar del uso de agua fresca. Las limitaciones surgen debido al aumento de la actividad bacteriana en el circuito por el mayor tiempo de residencia del agua en el proceso por lo que se deben a controlar los niveles de DBO y DQO en los efluentes de la planta.

## 2. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TECNICAS

### 2.1. Proceso de fabricación de papel:

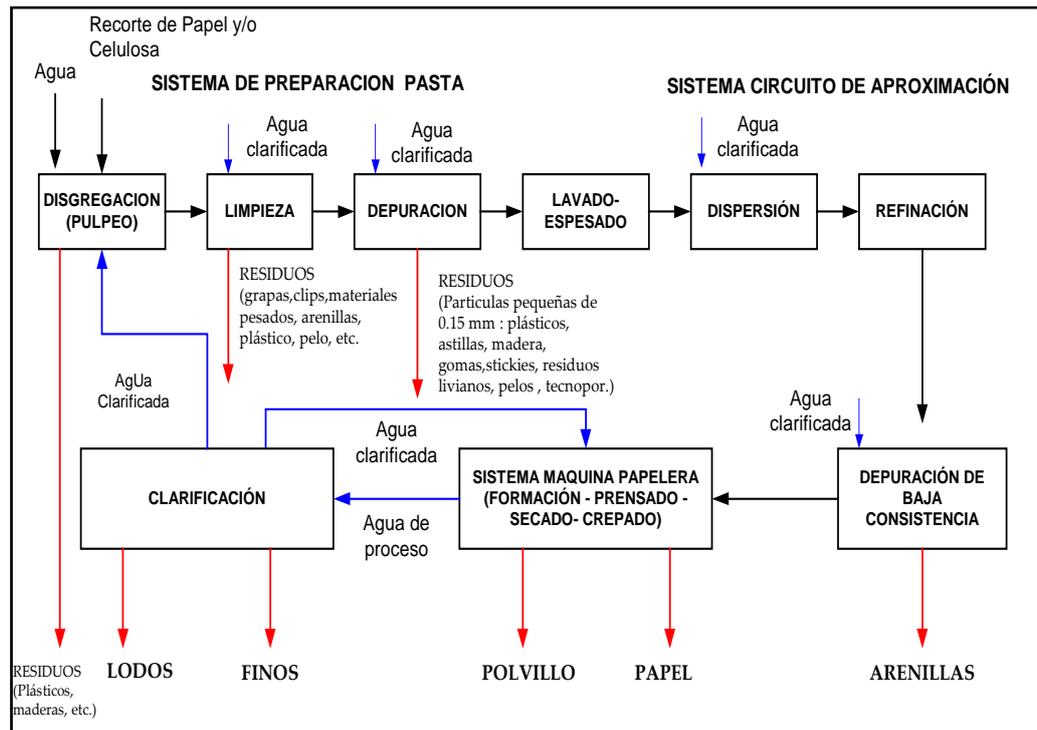


Fig. 2.1 Diagrama de bloques del proceso de Fabricación de Papel

**2.1.1. Materia prima:** Existen numerosas variedades de árboles que pueden emplearse en la producción de papel.

En Sudamérica se usa principalmente arboles de eucaliptos y pinos los cuales presentan fibras largas capaces de formar una compleja malla entretrejida que propicia una adecuada formación de papel en máquina. También se usa fibra recuperada procedente de papel reciclado del consumo generando así un equilibrio que permita hacer la industria papelera sostenible en el tiempo.

**2.1.2. Obtención de pasta de celulosa a partir de fibra de madera:** Los troncos de mayor tamaño se destinan a la producción de madera aserrada. La industria de papel utiliza los sobrantes de los aserraderos, ramas, copas de árboles y materiales descartados en los procesos de criba. La madera incluye dos partes bien diferenciadas: *una interna*, compuesta por fibra de celulosa de gran utilidad, y una *capa externa* que no entra en el proceso de papel sino se utiliza en producción de biocombustibles.

A partir de aquí la madera sin corteza pasa a pulpa o pasta de celulosa, con cualquier de los 3 procesos siguientes:

*Proceso mecánico:* La madera es triturada y humedecida para obtener la pasta de un color pardo por la presencia de lignina. La pasta obtenida pasa por unas finas cribas, lo que permite sólo el paso de las fibras.

*Proceso termo mecánico:* Los troncos se cortan en astillas, las cuales son calentadas con vapor para ablandarlas y luego introducidas a presión a un refinador donde se separan a fibras individuales.

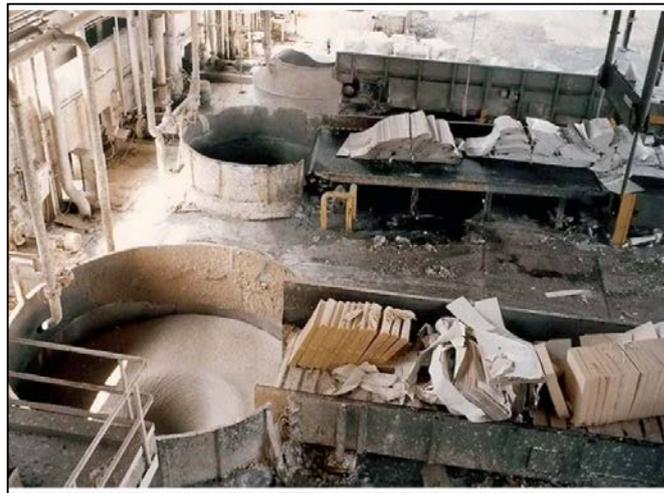
*Proceso químico:* Los troncos se cortan en astillas, las cuales son introducidas a un recipiente de cocción llamado digestor, a la temperatura de 150 a 200 °C y mediante químicos la lignina de la madera se disuelve y libera las fibras, éstas se extraen y se lavan para eliminar los restos de químicos.

**2.1.3. Blanqueo:** La pasta obtenida por cualquier método presenta un aspecto parduzco por lo que es necesario un proceso de blanqueo cuando se requiere papel de alta calidad. Las sustancias química utilizadas habitualmente son O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Los residuos generados pueden ser tratado con mayor facilidad que residuos de cloro.

**2.1.4. Producción de pasta a partir de fibra recuperada:** Los libros y revistas recicladas son tratadas con una solución de químicos tenso activos y agua caliente, en un tanque rotatorio.

Con ésta acción empieza el proceso de destintado, es decir, se deshace la unión de la tinta y la fibra. La pasta se limpia ahora en un proceso de lavado de múltiples capas. Se aplica aire comprimido desde el fondo del recipiente a la superficie, lo que genera que las partículas de tinta liberadas con las burbujas de jabón suban a la superficie del recipiente separándose de la fibra y siendo luego eliminadas por rebalse.

**2.1.5. Preparación de la pasta de papel:** La celulosa obtenida de fibra virgen y/o reciclada, es disgregada con agua en un equipo similar a una batidora llamado Pulpera, luego de ésta etapa pueden introducirse aditivos o auxiliares, dependiendo del producto final requerido:



**Fig. 2.2** Pulper

**2.1.5.1. Aditivos:** Se añaden para modificar las características del papel.

*Cargas y pigmentos*, aditivos de carácter inorgánico, la diferencia esencial es que los pigmentos tienen un tamaño de partícula más pequeño y son aplicados a la superficie y la

cargas se aplican a la masa. Las cargas mejoran las propiedades de opacidad y blancura.

*Colorantes*, matizan el papel.

*Agentes de blanqueo óptico*, dan la propiedad al papel de emitir una luminosidad azulada, que al estar en contacto con luz ultravioleta da la apariencia óptica de blancura.

*Resina de resistencia en húmedo*, mejoran las propiedades del papel en húmedo, generan enlaces entre la fibra y la resina lo que impide las uniones entre la fibra y el agua.

*Ligantes*, principalmente fijan los pigmentos a la superficie del papel.

*Encolantes*, evitan la penetración de líquido en el papel. Haciendo impermeable.

*Resina de resistencia en seco*, mejoran las propiedades del papel en seco, aumentando la fuerza de los enlaces puente hidrógeno entre fibra y fibra.

**2.1.5.2. Auxiliares:** Modifican de manera importante las propiedades de papel mejorando el proceso.

*Antiespumantes*, eliminan y/o impiden la formación de espuma. Ya que ésta puede generar roturas y defectos.

*Microbicidas*, se utilizan para evitar la posible formación de colonias de bacterias o microorganismos que se adhieren a las paredes de los tanques, fieltros y demás elementos de las máquinas.

*Retentivos*, se añaden para mejorar la acción de otros aditivos.

**2.1.6. Depuración:** Durante la fabricación de papel, es importante llevar un control de los elementos que pasan a la formación de la hoja. Durante el proceso de fabricación de la pasta es necesaria la depuración de las fibras de todas aquellas partículas no deseadas, que podrían causar problemas en la fabricación. Los objetivos principales de la depuración son obtener un papel limpio y evitar

roturas o desgastes en la depuración. Las impurezas pueden ser: arenas, astillas, cenizas, metales, etc. La depuración se lleva a cabo en tamices o ciclones.



**Fig. 2.3** Dispensor

**2.1.7. Formación de la hoja:** Una vez que se ha preparado la pasta de papel con la combinación conveniente de aditivos, éste caudal pasará de ser una masa diluida a una lámina delgada, ancha y uniforme con todos los componentes perfectamente distribuidos. En esta parte las fibras se entrelazan unas a otras.

En la caja de entrada está contenida la pasta, de aquí es colocada uniformemente sobre la mesa de fabricación, donde las fibras se ordenan en sentido transversal y longitudinal.

En la mesa de fabricación la pasta se deshidrata sobre la tela primero por el efecto de la gravedad y luego por succión a vacío

**2.1.8. Prensado en Húmedo:** Este proceso sigue a continuación de la mesa de fabricación cuando la hoja tiene una humedad de 20%. El prensado en húmedo se realiza haciendo pasar la hoja, en contacto con un fieltro, entre dos rodillos.

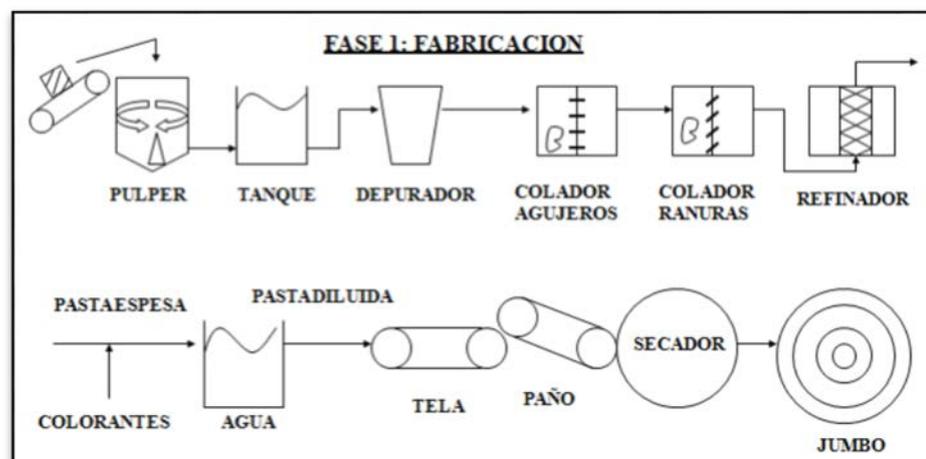
El fieltro es un tejido que gira alrededor de los rodillos de las prensas que se encarga de transportar la hoja y la vez de absorber el agua.

A lo largo del recorrido el fieltro es lavado y secado para un nuevo contacto con el papel.

Las principales variables de esta etapa son: tipo de prensa, velocidad de la maquina a mayor velocidad debe ser mayor la presión, humedad de la hoja, humedad del fieltro y las propiedades del papel.

**2.1.9. Secado:** El secado de la hoja consiste en suministrar calor a la hoja, con un método apropiado para evaporar el agua. Incluye transferencia de calor y masa. La efectividad de la evaporación depende de la temperatura, humedad del ambiente y circulación del aire.

En la fase de secado se elimina el agua que se encuentra dentro de la fibra. La hoja húmeda es transferida a alta velocidad (aproximadamente 1400 metros/minutos) a un paño continuo denominado fieltro muy parecido a una alfombra que la transporta y la traspasa a un cilindro metálico de grandes dimensiones llamado Yankee, calentado por dentro con vapor y adicionalmente se le inyecta por fuera aire caliente a 450oC y a alta velocidad sobre este cilindro la hoja es secada casi en un 95%.



**Fig. 2.4** Diagrama de proceso.

**2.1.10. Bobinado:** El papel que sale de la maquina papelera es bobinado en el *pope* para su transporte y manipuleo. Donde se da el formato especificado, diámetro, etc.



**Fig. 2.5** Bobinas de papel base.

## **2.2. El agua en el proceso de fabricación del papel:**

En la fabricación de papel, el principal empleo del agua lo constituye su uso como medio de dispersión y transporte de las materias primas fibrosas y de los aditivos, a través de las etapas del proceso de producción, que van desde el pulpeo hasta la formación. El agua se utiliza también como fluido de intercambio de calor, para el sellado de los sistemas a vacío, para la producción de vapor, como agente lubricante, etc. En la Tabla 2.1 se resumen los principales usos del agua en esta industria. El volumen de agua consumida depende de numerosos factores, entre los que cabe destacar tres principales: el tipo de fibra utilizada como materia prima, el producto fabricado y la tecnología del proceso de producción.

**TABLA 2.1:** Utilización de las aguas en la industria de papel Tissue.

<b>USOS</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>EJEMPLOS</b>
Agua de proceso	Transporte	Transporte de fibras aditivos, cargas, etc.
	Dilución	Ajuste de la consistencia, preparación de aditivos.
Agua para rociadores y toberas	Mojado	Mojado de la tela de formación
	Lubricante	Rodillo de cabeza, de retorno de la tela, tensor conductor, etc.
	Corte desborde	Recorte de los laterales de la banda de papel
	Limpieza	Limpieza de la tela de formación, del fieltro, de los rodillos
	Dilución	Caja de alimentación
	Enfriamiento	Rodillos guía, rodillo superior, partes mecánicas
	Antiespumante	Células flotación, caja de alimentación, etc.
Agua de refrigeración	Enfriamiento	Sistemas de bombas, sistemas de accionamiento de máquinas, fluidos de lubricación, calandrado, etc.
Agua de caldera	Producción de vapor	Cilindros secadores
Agua de sellado	Sellado	Cajas de vacío, bombas, etc.
Agua de limpieza	Transporte	Limpieza de la máquina, depósitos, tuberías.

### 2.2.1. Características del agua que ingresa al proceso de producción:

La gestión de las aguas en la fabricación de papel hace necesario establecer unas especificaciones de calidad mínima del agua en función del uso al que se destinan.

En cuanto a las aguas de proceso, es imposible establecer con carácter general una calidad mínima, debido a la gran variedad, tanto de los procesos que se emplean como de los constituyentes que pueden formar parte de la composición de estas aguas.

**2.2.2. Contaminación del circuito de aguas:** Las fuentes de contaminación de los circuitos de aguas en la fabricación de papel son: las materias primas fibrosas, los aditivos y el agua de alimentación:

**2.2.2.1. Materias primas fibrosas:** Las materias primas fibrosas constituyen la fuente de contaminación principal de las aguas, si bien la naturaleza e importancia de la misma varía considerablemente en función del tipo de fibra utilizada en el proceso de producción. Los tres parámetros más importantes son: el contenido de partículas de finos, el contenido de materia orgánica soluble y la concentración de microorganismos.

**TABLA 2.2:** Contribución a la contaminación del agua de proceso de los distintos tipos de pasta

Tipo de pasta	Contenido partículas finas	Contenido materia orgánica soluble	Contenido en microorganismos
Mecánica	Alto	alto	moderado
<b>Química blanqueada</b>	<b>Bajo</b>	<b>bajo/moderado</b>	<b>bajo</b>
<b>Reciclada sin destintar</b>	<b>moderado/alto</b>	<b>moderado/alto</b>	<b>alto</b>
Reciclada destintada	bajo/moderado	bajo	Moderado

Los problemas asociados con los depósitos de materias resinosas en fibras vírgenes son reemplazados, en este caso, por un gran número de problemas asociados a los depósitos potenciales de stickies (sustancias pegajosas).

Las fuentes principales de estos contaminantes potenciales son adhesivos de contacto (polímeros de estireno-butadieno, acrilatos de vinilo, etc.) y adhesivos de fusión (por ejemplo, el acetato de vinilo). Otros contaminantes son los aglutinantes que entran a formar parte de las tintas modernas, como por ejemplo, las resinas alquídicas en los pigmentos de impresión láser.

Además, todos los papeles estucados contienen aglutinantes en su composición (polímeros de estireno-butadieno, acetato de polivinilo, etc.). Otra fuente de contaminación importante de las fibras secundarias es la elevada concentración de microorganismos como consecuencia de la suciedad y la humedad del medio en que se almacena el papelote antes de su reutilización. Por otra parte, los almidones presentes en el papel reciclado son un excelente medio de crecimiento para los microorganismos presentes en el sistema de aguas de proceso, y, por tanto, favorecen, el desarrollo de microorganismos y, los problemas asociados a los mismos.

**2.2.2.2. Aditivos:** Los aditivos se consideran la segunda fuente de contaminación de las aguas de proceso en la industria de papel Tissue. El número elevado de aditivos que se puede, incorporar durante el proceso de fabricación hace difícil definir la naturaleza e importancia de esta fuente de contaminación. En la Tabla 2.2.3 se recogen los principales aditivos utilizados en esta industria, así como su aplicación más importante.

**TABLA 2.3:** Tipos de aditivos.

<b>Descripción</b>	<b>Usos</b>
<b>ADITIVOS FUNCIONALES</b>	
Encolantes internos	Control de la penetración de líquidos
Encolantes superficiales	Mejora de las resistencias superficial, de la lisura, de la resistencia al agua, de la abrasividad, etc.
Aditivos de resistencia en seco	Aumento de la resistencia en seco
Resinas de resistencia en húmedo	Aumento de la resistencia en húmedo
Pigmentos	Colorantes, mejoran las propiedades ópticas y de impresión
Cargas	Sustitución de las fibras celulósicas
<b>ADITIVOS DE PROCESO</b>	
Ácidos, bases y sales	Control del pH, mejora de la formación, retención y drenaje
Agentes de pulpeo y destintaje	Pulpeo y destintado del papelote
Aditivos de retención	Mejora de la retención de fibras, finos, cargas y pigmentos
Aditivos de drenaje	Mejora de la eliminación del agua
Biocidas	Control del crecimiento de microorganismos
Floculantes y agentes de fijación	Control de grumos y stickies
Inhibidores de incrustaciones y corrosión	Control de la formación de depósitos y de la corrosión
Antiespumantes	Control de espumas
Agentes de limpieza	Limpieza y acondicionamiento de la tela y del fieltro

## **2.3. Proceso de Clarificación:**

### **2.3.1. Conceptos y mecanismos:**

La clarificación es una operación unitaria en la que se quitan retiran los sólidos dispersos en un líquido.

La clarificación del agua tiene como objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. Este proceso se usa para tratar agua potable y también para el tratamiento de aguas industriales.

La clarificación incluye los subprocesos de coagulación, floculación y sedimentación. En las plantas industriales éstos tres procesos se llevan a cabo en un solo equipo llamado clarificador.

**2.3.1.1. Coagulación:** Proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y energía para el mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. Comienza en el mismo instante en que se agrega el coagulante. Desde el punto de vista electrostático es reducir el potencial por adición de iones específicos e inducir a la desestabilización de partículas para aglomerarlas.

La coagulación es el método más eficaz para eliminar las impurezas en el agua. La dosis del coagulante está condicionada al funcionamiento de las unidades de sedimentación.

**2.3.1.2. Floculación:** Es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado floculo y se debe a un mecanismo de formación de enlaces químicos y físicos.

**2.3.1.3.Sedimentación:** Es la remoción de las partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado. Estos sólidos están constituidos por coloides agrupadas mediante las etapas previas de coagulación y floculación.

**TABLA 2.4.**Tamaño típico de partículas en el tratamiento de aguas

Diámetro de partícula	Tipo de partícula	Tiempo de sedimentación en 1mt de agua
10mm	Grava	1seg
1mm	Arena	10seg
0.1mm	Arena fina	2min
10micras	Algas, Arcillas	2hs
1micra	Bacterias	8 días
0.1micras	Virus, Coloides	2 años
10nm	Virus, Coloides	20 años
1nm	Coloides.Moléculas	200 años

**2.3.2. Elementos necesarios en la clarificación:**

- Coagulante (inorgánico o sintético)
- Floculante
- Aire
- Agua a clarificar

### 2.3.3. Tipo de Clarificadores industriales:

Se tiene diferentes tipos de clarificadores, básicamente los factores que determinan la velocidad de sedimentación son: *diámetro, densidad y viscosidad de la solución*. Normalmente los equipos de contacto-sólidos, se usan cuando la densidad de las partículas es mayor que la del agua, generalmente el coagulante se dosifica en línea de alimentación de agua y el floculante en la zona de mezcla rápida. Pueden ser de 3 tipos:

Tipo IAF: Induced air Flotation

Tipo CAF: Cavitation Air Flotation.

Tipo DAF: Dissolved Air Flotation

Estos sistemas se emplean principalmente en el tratamiento de aguas con alto contenido de sólidos suspendidos y/o aceites y grasas emulsificadas difíciles de reducir por precipitación.

El principio es agregar aire al agua para que las burbujas que suben a la superficie arrastren todo el material insoluble presente en el agua así se facilita su retiro. *Dependiendo de la forma en que se agregue el aire o gas, y del tipo de burbuja que se produzca se utilizará un DAF, CAF o IAF.*

Se va a ampliar para el tipo de clarificador DAF. Por ser parte del tema desarrollado.

#### 2.3.3.1. Tipo de Clarificador DAF:

Este tipo de clarificadores, dan un método altamente eficiente y económico para la clarificación de efluentes. Significa *Sistema de Flotación por Aireación*, este mecanismo genera burbujas muy pequeñas con un promedio de diámetro de 20 micrones que son generadas con aire comprimido en la parte media de la suspensión.

Estas burbujas se adhieren tanto a sólidos finos, materia en suspensión, bacterias, precipitados, colorantes, elementos orgánicos, etc. Haciéndolas flotar a la superficie, permitiendo la clarificación en el fondo del tanque. Una vez en la superficie pueden eliminarse mediante un rascado superficial u otro medio mecánico.

### **2.3.3.2. DAF-Principios Generales de Operación:**

La flotación por aire disuelto utiliza los principios de velocidad “cero” permitiendo una flotación de sólidos más efectiva.

El aire es disuelto sobre presión, para flujo total o parcial (típico 25% de reflujo). Se utiliza un ADT (tubo de dilución de aire) para generar micro burbujas. Se requiere presión en la entrada del ADT y a través de una válvula de globo, la que produce mayor corte para generar burbujas de aire de tamaño correcto.

Entrada típica de presión es 5.5 bar con caída de presión de 0.5 bar (salida del ADT 5 bar)

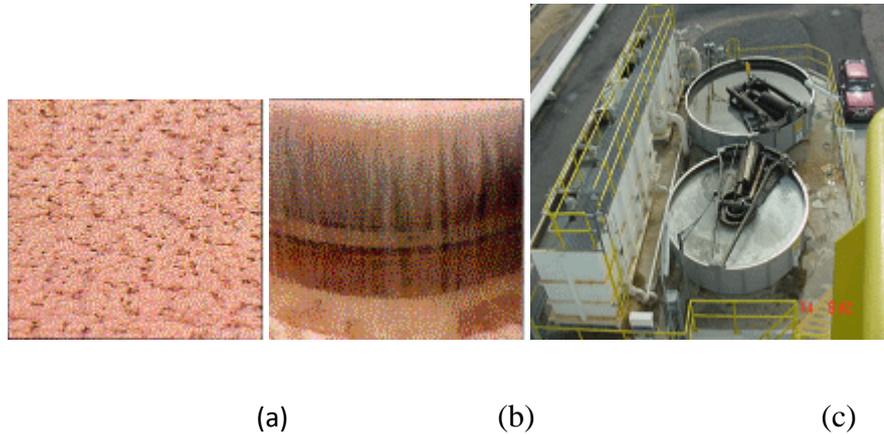
El agua aireada se mezcla en el flujo principal permitiendo la formación de “micro burbujas” cuando se tenga presión atmosférica.

Estas burbujas se adhieren a los flóculos, causando la flotación.

El sector de la industria de papel Tissue consume una gran cantidad de agua por lo que es necesario aumentar el grado de cierre de los circuitos. Para cerrar los circuitos evitando la acumulación de contaminantes es necesario clarificar las aguas de proceso antes de su reutilización



**Figura 2.6:** Unidad ADT, de un en clarificador Daf de patente Krofta, tomado de <http://www.kroftaengineering.com/krofta-supracell.html>



**Figura 2.7:** Clarificador Daf de patente Krofta, a) sólidos acumulados en la superficie como flóculos, b) Rebalse de agua clarificada, c) Vista superior de dos clarificadores. Tomado de: <http://www.kroftaengineering.com/krofta-supracell.html>

### **2.3.3.3. Procesos de Clarificación DAF: Se descompone en:**

#### ***Saturación de agua con aire a presión:***

Este proceso tiene como objetivo disolver aire en agua a presión elevada para proveer, una vez reducida la presión, el gradiente de concentración de aire y energía necesario para la formación de micro burbujas. La disolución de aire en agua depende de la temperatura y presión. La cinética de disolución depende de las características del sistema de saturación. Esta se lleva a cabo en "saturadores" o estanques herméticos resistentes a la presión, operando en continuo con alimentación de agua y aire.

Una de las formas más utilizadas para contactar el aire con el agua es un sistema que emplea un empaque (anillos Rashing) por el cual se distribuye el agua bajo presión y se contacta íntimamente con el aire. Este último método es el más utilizado en el ámbito industrial.

#### ***Generación de micro burbujas:***

Estas se producen en los constrictores de flujo, situados entre el saturador y la celda de flotación. La selección de este sistema de constricción del flujo es importante porque de su eficiencia depende la distribución de tamaño de burbujas y la cantidad de aire "liberado", dos de los factores de mayor importancia en la clarificación DAF. Por ejemplo, simples constricciones de placas con orificios de diámetro variable son baratas y eficientes, consiguiendo valores de "liberación", del orden de 90 % del aire disponible.

La energía requerida en la generación de burbujas, en la constricción de flujo, será menor cuanto menor sea la tensión superficial y mayor la diferencia de presiones entre la salida del saturador y el constrictor.

Después de la expansión, las cavidades llevan un tiempo para alcanzar el tamaño de las burbujas. La "precipitación" del aire en la forma de burbujas no es total y muchas burbujas son "nucleadas" y formadas en superficies sólidas.

***Coagulación y/o floculación de las partículas a separar:***

Esta etapa involucra la desestabilización de suspensiones coloidales o

Emulsiones, condición necesaria para que estas se puedan unir en agregados de mayor tamaño, susceptibles de ser capturadas por las micro burbujas. La agregación puede ser realizada vía coagulantes, floculantes o ambos. El tiempo de residencia en esta etapa dependerá del grado de dispersión de los sólidos (o emulsiones) a remover, del tipo y concentración de reactivos y de la hidrodinámica requerida.

Otros factores que influyen en el diseño de coaguladores o floculadores son las características del efluente, la cinética de adsorción de contaminantes, en el caso de usar precipitados coloidales adsorbentes y del punto de adición de los reactivos.

***Acondicionamiento para contacto y adhesión de micro burbujas y partículas (zona de "captura"):***

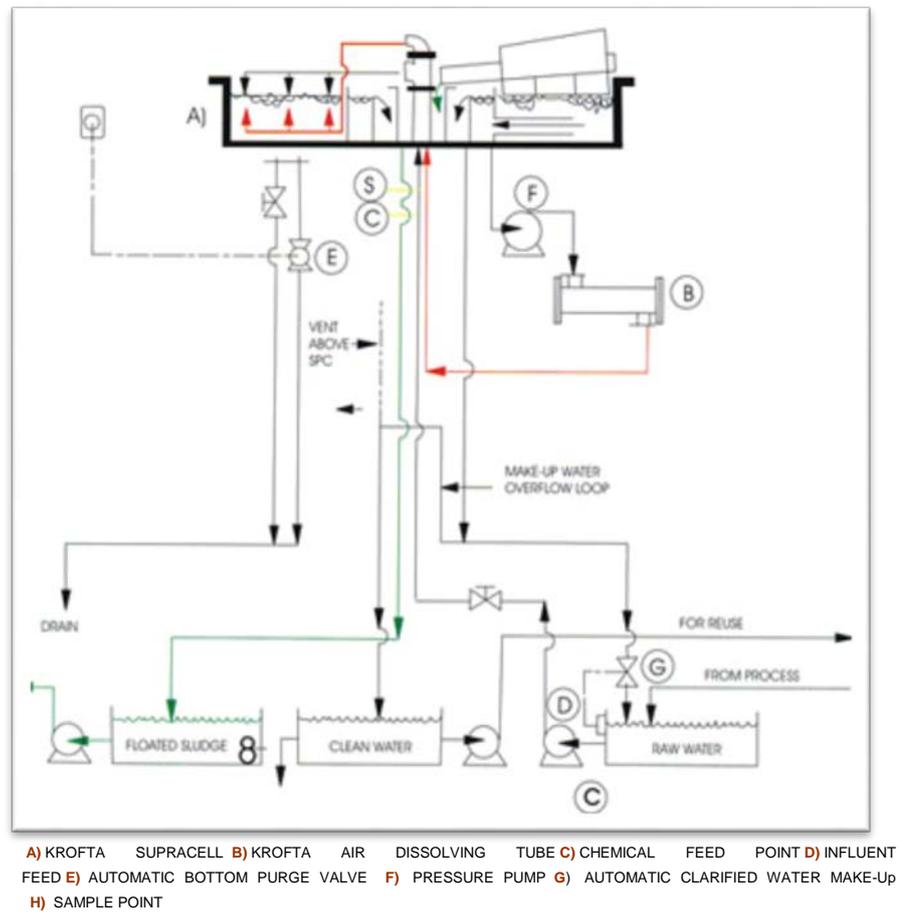
Esta etapa tiene como objetivo lograr la captura de partículas por burbujas y la formación de agregados "aireados" (con aire aprisionado). Corresponde a la zona donde se libera el agua saturada (reciclo).

***Flotación y remoción de sólidos flotados (zona de separación):***

La flotación propiamente dicho ocurre en un tanque que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar la fase flotada y efluente tratado (agua). Los sistemas de descarga del agua tratada, normalmente por el fondo, emplean mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las atraviesan longitudinalmente por su parte inferior, o

dispositivo que minimizan la formación de corrientes de agua. El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa, es el "flujo superficial" que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque.

En relación con el producto flotado, su extracción es normalmente realizada con un raspador (colector) mecánico que atraviesa lentamente la superficie de la unidad de flotación o situado en el extremo final del estanque separador.

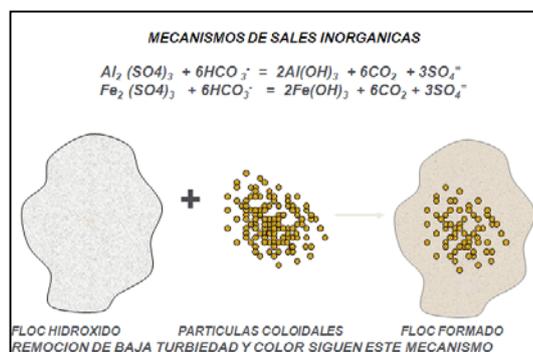
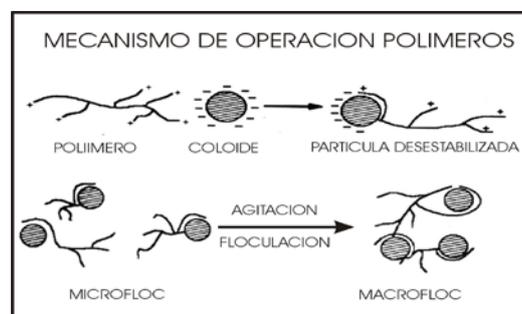


**Figura 2.8:** Etapas del proceso en clarificado Daf de patente Krofta, tomado de: <http://www.kroftaengineering.com/krofta-supracell.html>.

**2.3.3.4. Uso de químicos:** Los productos químicos como sales de aluminio, hierro, sílice activada, polímeros orgánicos naturales y sintéticos y sus combinaciones, ayudan a desestabilizar emulsiones, coagular coloides, precipitar proteínas y a formar flocs que se flotan más fácilmente, requiriendo menos aire disuelto y obteniendo un clarificado de mejor calidad.

**2.3.3.4.1. Coagulantes:**

- Polímeros orgánicos o inorgánicos, sales en solución, mezclas.
- Tienen carga catiónica.
- Funcionan por neutralización de la carga coloidal o por atrapamiento.
- Aplicados antes o durante la mezcla rápida.
- No alteran el PH del agua tratada.



**Figura 2.9:** Mecanismos de acción de coagulantes.

#### 2.3.3.4.2. Floculantes:

- Polímeros en emulsión, polvos o dispersos en agua
- Tienen carga catiónica, aniónica o neutra.
- Alto peso molecular.
- Funcionan por absorción y/o neutralización de cargas.
- Se usan para ayudar a la coagulación.



**Figura 2.9:** Mecanismos de acción de floculantes.

#### 2.3.3.5. Ventajas:

Esta tecnología tiene las siguientes ventajas:

- Tiempo de retención menor
- Mayor concentración de sólidos separados
- Menor área requerida
- Alta tasa de separación
- Remoción de microorganismos y precipitados difíciles de sedimentar y filtrar.
- Tratamiento primario, antes de un tratamiento biológico existente o Puede ser usado como tratamiento único
- futuro.
- Tratamiento secundario, después de un tratamiento biológico existente o futuro.
- Clarificación secundaria.

#### **2.4. Actividad Bacteriana en agua de proceso clarificada:**

La actividad bacteriana en el agua de proceso de cualquier planta industrial, depende de los efluentes generados en el proceso productivo, del tiempo de residencia de éstos, de los químicos empleados en el proceso, etc.

Los contaminantes de las aguas de proceso, son de naturaleza orgánica e inorgánica. Más del 99.9% en peso es agua natural y el resto son contaminantes que hacen no apta para su reuso en planta o para ser descartadas al alcantarillado público.

Los sistemas de tratamiento de aguas, precisamente realizan la función de remover en el mayor grado posible estos contaminantes. La remoción no significa la desaparición o extinción de la sustancia indeseable, puesto que la ley de la conservación de la materia es inviolable, sino que "remoción" en este aspecto, significa la conversión del contaminante a sustancias inocuas o menos objetables. También, remoción tiene el sentido de separación física de la masa de fluido, del o los componentes no deseados que se encuentran en las aguas procesadas.

Por mucho, la mayor cantidad de sustancias que se encuentran en el agua son residuos de tipo orgánico. Estos residuos se presentan como sólidos y son clasificados, de acuerdo a sus características como: sólidos disueltos, partículas coloidales y sólidos sedimentables.

Si tomamos una muestra de aguas de proceso y la evaporamos a sequedad, quedará un residuo final y estos son los sólidos totales. Si otra parte de la misma muestra se filtra a través de una membrana, el filtrado obtenido contiene los sólidos disueltos. Las partículas que quedan en el filtro son una parte sólidos sedimentables y otra parte son partículas coloidales o partículas que no sedimentan. El tener un previo conocimiento de la

distribución de los sólidos, es importante en el diseño y operación de los sistemas de tratamiento de aguas de proceso.

De acuerdo a los procesos de tratamiento de aguas de desecho se pueden clasificar estos como: Tratamiento Primario, secundario, terciario.

#### **2.4.1. Parámetros de control del agua:**

**2.4.1.1. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y (DBO<sub>5</sub>):** Es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales.

La importancia de este parámetro requiere de ciertos cuidados y atención en la técnica analítica, ya que por ser un proceso biológico el manejo y tratamiento de la muestra es delicado.

El método estándar consiste en tomar un pequeño volumen de la muestra a analizar. En ocasiones, especialmente cuando las aguas son de desecho de alguna industria o cuando las aguas domésticas están mezcladas con este tipo de aguas, no se ha desarrollado una flora bacteriana que pueda consumir este material orgánico. Esto puede deberse a la presencia de algún agente químico o físico que inhiba o retarde el crecimiento de los microorganismos y en esta situación deberá emplearse una siembra o desarrollo inducido de las bacterias.

La razón técnica de hacer las lecturas de DBO a los cinco días de incubación es porque después de este periodo frecuentemente ocurre la nitrificación. La nitrificación o conversión del nitrógeno

orgánico y amoniacal a nitritos y nitratos requiere de oxígeno, por lo que la disminución de oxígeno disuelto o incremento de DBO, ya no se debe a la oxidación del carbono orgánico que es lo que se desea medir en este tipo de prueba.

**2.4.1.2.Demanda Química de oxígeno (DQO):** La Demanda Química de Oxígeno ó DQO, es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. Difiere del DBO en que en esta última prueba sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable. En la determinación de DQO todo el material orgánico (biodegradable y no biodegradable) es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador.

**2.4.1.3.Sólidos disueltos total:** Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de SDT en el agua de consumo. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras.

No se dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de SDT presentes en el agua de consumo y no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de SDT en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores.

Para la clarificación los sólidos totales, o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente un micrómetro, la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentable que se depositarán en el fondo del un recipiente en forma de cono durante 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

**2.4.1.4.Fosfatos y sulfatos:** *El ión fosfato,  $(\text{PO}_4)^{-3}$ , en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Al corresponder a un ácido débil, contribuye a la alcalinidad de las aguas.*

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son el orto fosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y poli fosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos.

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización), con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etcétera.

Una acción importante de los fosfatos es la influencia en el transporte y retención de los metales en el agua, debido al fenómeno de complejación.

Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua.

El contenido de fósforo en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria.

Es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua, su relación con la productividad biológica y los problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.

*El ión sulfato,  $(\text{SO}_4)^{-2}$ , corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3.000 ppm. Aunque en agua pura se satura a unos 1.500 ppm, como  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , la presencia de otras sales aumenta su solubilidad.*

Proceden de rocas sedimentarias, sobretodo yeso y anhidrita, y en menor proporción de la oxidación de los sulfuros de la pirita. En función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido al agua. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo.

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas. Algunos centenares de ppm perjudican la resistencia del hormigón. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se combina para formar incrustaciones de sulfato cálcico.

La remoción de sulfato puede resultar costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados. El

método más empleado para realizar su eliminación es por intercambio iónico.

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está destinado a evitar la probable corrosividad del agua. No afecta especialmente al agua en cantidades moderadas.

La determinación analítica por gravimetría con cloruro de bario es la más segura. Si se emplean métodos complejo métricos, hay que estar seguro de evitar las interferencias.

**2.4.2. Impacto ambiental:** El tratamiento de aguas residuales es una operación clave en la industria de procesos. Ya sea para cumplir con normas ambientales o para evitar impactos negativos en los cuerpos de agua cercanos, es conveniente que todo ingeniero conozca los fundamentos del tratamiento de aguas residuales, y las tecnologías existentes para alcanzar las metas de tratamiento requeridas. La eliminación de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en los cursos de agua receptores, y está en función de la concentración de contaminantes que dichas aguas contengan.

Al arrojar sustancias al agua por debajo de ciertas concentraciones límites, se inicia un proceso de autodepuración, debido a diversos microorganismos (tales como bacterias y algas). Estos microorganismos descomponen los desechos, metabolizándolos y transformándolos en sustancias simples, como dióxido de carbono, nitrógeno, etc. Este proceso se aplica a sustancias orgánicas, como detergentes y fenoles, y también a algunas sustancias inorgánicas, ya que hay microorganismos capaces de absorber ciertos metales, incorporándolos a sus células.

Si las sustancias arrojadas poseen una alta concentración de materias tóxicas, los microorganismos son destruidos y de este modo se anula la autodepuración. Además pueden morir organismos más grandes, como peces, crustáceos, y plantas acuáticas, por intoxicación o por falta de microorganismos para alimentarse. Estos a su vez pueden intoxicar al resto de la fauna que conforma la cadena alimentaria, eventualmente llegando hasta el hombre.

Los metales pesados y sustancias de difícil descomposición, tales como DDT y otros plaguicidas, son venenosos y su efecto puede no apreciarse a corto plazo. Pero con el paso del tiempo, se acumulan dentro de los organismos y pueden llegar a matarlos.

Este proceso de bioacumulación también puede ocurrir en el cuerpo humano. Por no apreciarse rápido sus efectos, es más complejo establecer límites para el vertido de este tipo de sustancias. Los vertidos con gran temperatura producen alteraciones importantes, ya que disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua. Al disminuir la solubilidad del oxígeno, disminuye su concentración, la cual es indispensable para la vida acuática aerobia. Adicionalmente, un aumento de temperatura acelera el metabolismo de los organismos. Si la temperatura es suficientemente alta, puede incluso matar a los microorganismos, de manera similar a la pasteurización.

Los efluentes ácidos o alcalinos matan a los microorganismos por envenenamiento con hidrogeniones o hidroxilos, por lo que se hace necesaria la neutralización previa de los mismos.

La eutrofización es otro problema resultante del vertido de líquidos con alto contenido de nutrientes orgánicos, tales como efluentes cloacales, o nitratos y fosfatos provenientes de fertilizantes y detergentes.

Estos vertidos producen un enriquecimiento de las aguas, resultando en un crecimiento desmedido de algas que llegan a cubrir grandes

extensiones. Estas algas al morir se pudren y despiden malos olores que afectan a los habitantes, turistas y pescadores. Además, algunas algas producen toxinas que afectan a los peces. Otro problema de la eutrofización es que la cantidad de algas llega a atascar los filtros en las tomas de agua, o a reducir su eficiencia.

Con el paso de los años, los restos de algas se van sedimentando en el lecho de los lagos, pudiendo llegar a convertirlos en un pantano. Este proceso, que en la naturaleza demoraría millones de años, puede producirse en pocas décadas por efecto de las actividades humanas. Los efectos este tipo de efluentes tienen sobre el equilibrio ecológico hacen que su tratamiento previo al vertido sea necesario

### **3. DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Calidad del agua clarificada:**

Luego de la clarificación el agua tiene de 100 a 150 ppm de sólidos suspendidos totales. Lo que permite un buen trabajo de los filtros de arena, y eso a la vez reduce el consumo de agua fresca.

Mantener el agua de proceso dentro del circuito de clarificación trae como consecuencias el aumento de la actividad bacteriana, por el aumento del tiempo de residencia y del cierre del circuito.

#### **3.2. Calidad del agua Fresca:**

El *agua fresca*, proviene de pozos subterráneos. Es usada en el proceso para la fabricación del papel, principalmente en el sistema de regaderas de las maquinas papeleras.

#### **3.3. Reutilización de agua de proceso:**

##### **3.3.1. Situación del sistema de recuperación de agua, antes de la implementación:**

En la elaboración del papel, toda el agua que se extrae durante el proceso es colectada en tanques para luego ser clarificada, y de esta manera poder reutilizarla en el proceso haciendo un circuito cerrado. El agua de proceso tiene principalmente fibras finas, materia orgánica y elementos que no han podido ser removidos en los limpiadores.

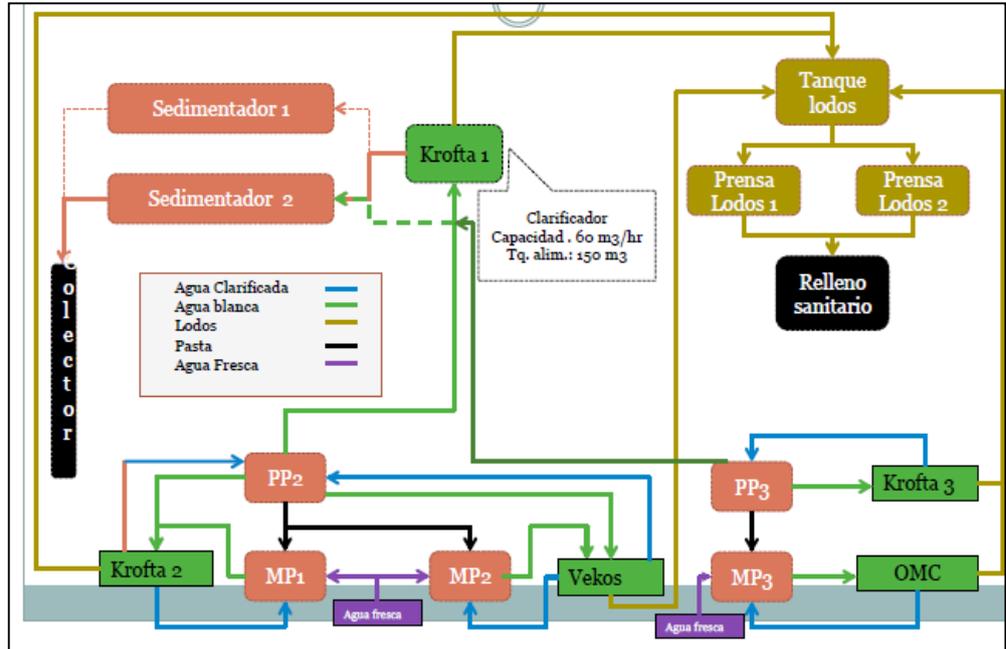
La planta tiene 3 máquinas papeleras (MP2, MP3, MP4), las cuales generan un caudal de agua máximo de proceso de 150 m<sup>3</sup>/hora.

A la vez, se tienen 2 unidades de preparación pasta ( PP2 y PP3 ), dentro del circuito de fabricación se tienen 4 clarificadores Daf pero de diferentes patentes ( Krofta, OMC, Vekos ) que clarifican el agua independientemente en cada máquina papeleras.

Todas las aguas clarificadas de estos 4 clarificadores, eran enviadas a una clarificación final ( **Krofta 1** ), antes de ser enviadas al colector municipal y/o retornadas al proceso.

La capacidad que puede almacenar según su volumen de diseño es sólo  $60\text{m}^3$  cada hora. Cuando había rebalses en las máquinas papeleras se tenía un caudal máximo por lo que una parte de éste se podía clarificar y la otra parte era derivada a los **Sedimentadores 1 y 2**. Con este desbalance de agua, se debía hacer la reposición con agua fresca. El agua de proceso que se derivaba directamente a los sedimentadores no podía ser recuperada y su destino era el colector municipal.

A su vez la gran carga de sólidos de ésta agua saturaban los sedimentadores constantemente y a la vez sobrepasaban los límites permisibles en cuanto a SDT. Ver la figura 3.1

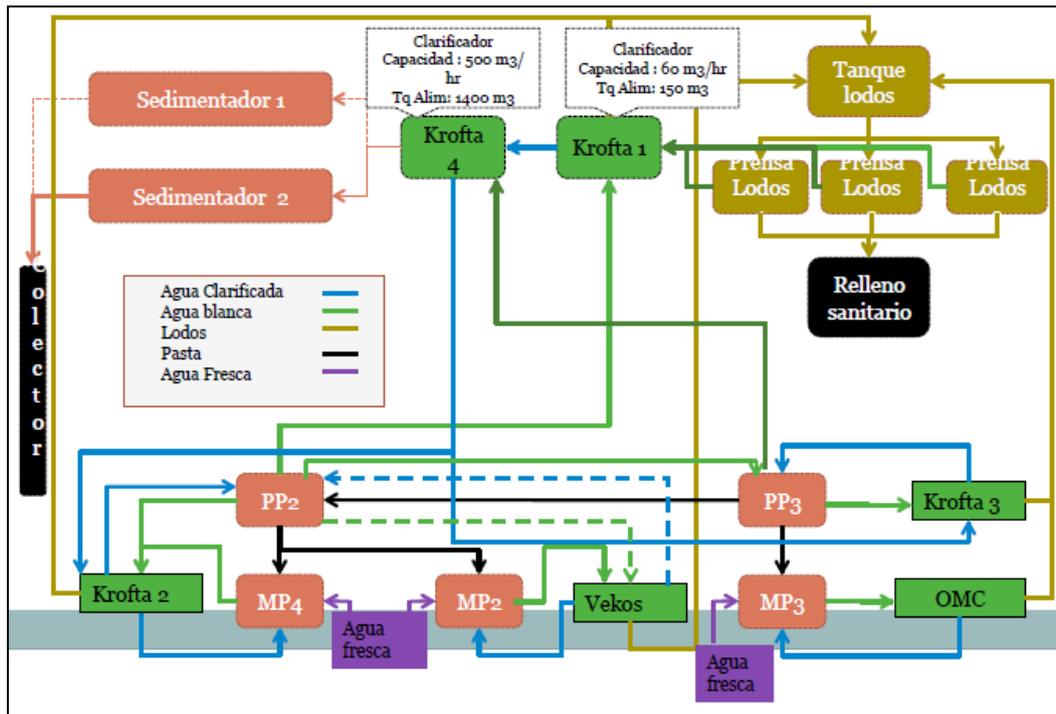


**Figura 3.1:** Distribución de agua de Proceso antes del proyecto.

### 3.3.2. Situación del sistema de recuperación de agua, después de la implementación:

Ahora el agua clarificada de las máquinas papeleras y preparación pasta es almacenada en un tanque pulmón el cual fue diseñado con el caudal máximo acumulado en un día (1400 m<sup>3</sup>). Toda el agua de proceso es colectada en este tanque para luego ser clarificada, se incluyó una nueva unidad de clarificación (**Krofta 4**), de ésta manera se controlan las emergencias por rebalses y se da a los sedimentadores el tiempo de residencia necesario para la separación completa de los sólidos. Se tiene mayor flujo de agua clarificada que regresa al proceso y a la vez una parte va para el colector municipal con menores valores de SDT.

Con esta nueva etapa se puede reusar el agua y bajar los SDT en el circuito. Las variables controlados en la unidades de clarificación de la planta, son: la presión de aire inyectado, los SDT del agua clarificada, la dosificación de coagulantes y floculantes. Debido a lo ya mencionado, el agua de proceso permanece más tiempo en el circuito, gana energía en el proceso por lo que se eleva la temperatura, con el tiempo los residuos orgánicos se degradan aumentando la actividad de bacterias aeróbicas y sulfato reductoras (que generan olores), lo que puede generar acumulación de hongos en las máquinas papeleras y por ende contaminación del papel producido. **Para aminorar estos efectos se aumentó el uso de biocidas en un costo de \$ 1.55/TM y el consumos de agua fresca disminuyó de 20m<sup>3</sup>/TM a 17 m<sup>3</sup>/TM.**



**Figura 3.2:** Distribución de agua de Proceso después del proyecto.

**3.3.3. Químicos usados en la clarificación:** En la planta papelerera se usa un coagulante el cual es una mezcla de un polímero y sal de aluminio. Y un floculante el cual es un polímero aniónico. A continuación se tienen los consumos de ambos y sus propiedades físico químicas:

**Tabla 3.1:** Consumo de coagulante y floculantes.

Reactivo	Descripción	\$ / Kg	KG/ mes	Kg/ día	Kg/ hora
<b>Chemlok 11400</b>	Coagulante Catiónico	4.00	9000	300	12.5
<b>Chemlok 2010</b>	Floculante aniónico en polvo	1.00	1500	50	2.1

**Tabla 3.2:** Propiedades Fisicoquímicas coagulante y floculantes.

	<b>Chemlok 11400</b>
<b>Estado físico</b>	Líquido
<b>Carácter iónico</b>	Catiónico
<b>Color</b>	Amarillo Suave
<b>pH</b>	1.0 - 4.0
<b>Gravedad específica</b>	1.20 - 1.60

	<b>Chemlok 2010</b>
<b>Estado físico</b>	Polvo o grano
<b>Carácter iónico</b>	Aniónico
<b>Peso Molecular</b>	12 - 16 millones
<b>% Contenido de Solución</b>	>88
<b>Velocidad de disolución</b>	2 horas
<b>Tamaño</b>	Contenido <0.15 mm 5% max Contenido <1.0 mm 5% max

### 3.4. Consecuencias del bajo consumo de agua fresca :

Si el agua se utilizase en la fabricación de papel en circuitos totalmente abiertos, el consumo de agua sería técnica, económica y ecológicamente inadmisibles en la actualidad. Por tanto, todas las fábricas utilizan, en mayor o en menor medida, algún grado de reciclado del agua en el proceso de fabricación. Unas de las alternativas más frecuentemente adoptadas en la industria papelera para la reducción del consumo de agua son:

- Reutilización de las aguas como aguas de proceso.
- Reutilización del agua clarificada para diferentes aplicaciones.
- Reutilización del efluente después de su tratamiento como agua de alimentación.

Los problemas que se generaron por el cierre del circuito de agua, básicamente fueron: la acumulación de sustancias contaminantes en las aguas de proceso y sus problemas asociados:

- Incremento de los sólidos en suspensión.
- Incremento de la materia disuelta y coloidal.
- Incremento de la temperatura.

**Tabla 3.3:** Ventajas y desventajas del aumento de sólidos disueltos en el agua de proceso en la industria papelera.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Aumento de los sólidos en suspensión</b>	
Menor producción de lodos	Bloqueo de tuberías y rociadores
Menor pérdida de materias primas	Manchas en el producto Formación de depósitos Abrasión Reducción de la vida de la tela Aumento de finos Modificación de la capacidad de drenaje
<b>Aumento de los sólidos disueltos</b>	
Mayor retención de la materia disuelta	Incrustaciones Formación de depósitos y grumos Incremento de la actividad microbiológica Corrosión Color
<b>Aumento de la temperatura</b>	
Mejora de los procesos de drenaje	Problemas de encolado
Menor consumo energético	Reducción de la capacidad de las bombas de vacío Incremento y/o alteración de la actividad microbiológica

### 3.5. Análisis Coste Beneficio:

**3.5.1. Inversión del proyecto:** Consistió en la instalación de un clarificador , tanque pulmón de concreto y prensa de lodos:

**Tabla 3.4:** Inversión del proyecto

EQUIPOS ( CLARIFICADOR, BOMBAS, ETC )	\$	400,000
INSTRUMENTACION	\$	18,000
EQUIPOS ELECTRICOS ( MOTORES )	\$	60,000
TUBERIAS Y ACCESORIOS	\$	70,000
INGENIERIA	\$	10,000
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>558,000</b>

### 3.5.2. Gastos de operación:

**3.5.2.1. Uso de Biocidas:** El menor consumo de agua fresca tuvo como consecuencia el aumento en la dosificación de biocidas para mantener la actividad bacteriológica controlada, entonces:

**Tabla 3.5** Cantidad de biocida antes y despues del proyecto.

		ANTES		DESPUES	
PRODUCTOS	\$/KG	KG/TN	\$/TN	KG/TN	\$/TN
NALCO 7614	5.30	0.30	1.59	0.40	2.12
NALCO 4698	4.70	0.40	1.88	0.50	2.35
SACBIO PA 3440	3.90	0.46	1.79	0.60	2.34
<b>TOTAL ( \$/TN )</b>			<b>5.26</b>		<b>6.81</b>

De la tabla 3.5, se obtiene que el aumento de biocidas es:

<b>BIOCIDAS</b>	1.55 \$/TN Papel producido 6000 TN Papel producido/mes
	<b>9300 \$/mes</b>
	<b>111600 \$/AÑO</b>

**3.5.2.2. Uso de químicos para clarificación:** Se refiere al coagulante y floculante que se dosifican en la nueva unidad de clarificación:

QUIMICOS COAGULANTE	1800 Kg/mes 4 \$/Kg
	<b>7200 \$/mes</b>
	<b>86400 \$/año</b>
FLOCULANTE	300 Kg/mes 1 \$/Kg
	<b>300 \$/mes</b>
	<b>3600 \$/año</b>

**3.5.2.3. Energía eléctrica:** Se refiere a la energía requerida para poner en funcionamiento el motor de las bombas del circuito.

ELECTRICIDAD	72 KWxh 51840 KWxmes 0.092 \$/KW
	<b>4769.28 \$/mes</b>
	<b>57231.36 \$/AÑO</b>

**Tabla 3.6:** Gastos de operación

GASTO TOTAL	<b>21569</b>	<b>\$/mes</b>
	<b>258831</b>	<b>\$/año</b>

### 3.5.3. Ahorro:

**3.5.3.1. Ahorro de Agua fresca:** Debido al reuso del agua clarificada el consumo de agua fresca de pozos subterráneos disminuyo en 3 m3 por tonelada de papel producido, entonces:

AGUA RECUPERADA	3 m3/TN Papel producido
	6000 TN Papel producido/mes
	18000 m3/mes
	1.1 \$/m3
	<b>19800 \$/mes</b>
	<b>237600 \$/AÑO</b>

**3.5.3.2. Limpieza de pozas:** Por la clarificación del agua se logran niveles de SDT bajo los 200 ppm, por lo que se ha tenido un ahorro significativo en la limpieza de las pozas desarenadoras ya que no se saturan tan frecuentemente y la frecuencia de limpieza ha disminuido.

LIMPIEZA DE TANQUES DESARENADORES	<b>18000 \$/mes</b>
	<b>216000 \$/AÑO</b>

**3.5.3.3. Menor tiempo de desagüe de maquinas papeleras:** Debido a que se cuenta con un tanque pulmón, cada vez que hay parada de planta se ahorra tiempo en los arranques lo que se refleja en mayor producción.

AUMENTO DE PRODUCCION	<b>3900 \$/mes</b>
	<b>46800 \$/AÑO</b>

**Tabla 3.7:** Ahorro Total

AHORRO TOTAL	41700	\$/mes
	500400	\$/AÑO

**3.5.4. Periodo de recupo de la inversión (PRI):**

$$PRI = \frac{INVERSION\ TOTAL}{\frac{AHORRO\ TOTAL}{AÑO} - \frac{GASTOS\ OPERATIVOS}{AÑO}} \dots \dots \dots (i)$$

En (i) reemplazamos los datos de las tablas 3.4, 3.6 y 3.7, de esto se tiene que el PRI es de 2 años y 3 meses.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones:

- Las maquinas papeleras son las grandes consumidoras de agua, utilizan entre 10 y 15 m<sup>3</sup>/TN.
- Un menor consumo de agua fresca significa mayor consumo de biocidas para mantener controlada la actividad bacteriana .
- Reutilizar el agua, genera una disminución en su consumo, en éste caso en la industria de fabricación del papel Tissue: de 20 a 17 m<sup>3</sup> por TN de papel producido.
- Disminuir de 20 m<sup>3</sup>/TN a 17 m<sup>3</sup>/TN significa un ahorro de US\$3.00 y mayor consumo de biocidas \$1.55/TN en la receta estándar.
- El agua correctamente clarificada (SDT<200ppm), puede ser usada en el proceso, sin generar problemas en la fabricación del papel.
- Usando la técnica DAF para el tratamiento de las corrientes adecuadas se puede ajustar continuamente el grado de cierre de los circuitos del sistema de agua, alcanzando la calidad de agua requerida para su reutilización en distintas partes del proceso.
- La flotación por aire disuelto (DAF) es un proceso para la eliminación del material fino en una suspensión acuosa. La energía necesaria para la flotación eficaz se aporta en la forma de burbujas de aire extremadamente finas que se unen al material en suspensión.
- La principal ventaja de la DAF es que además de eliminar los sólidos en suspensión se puede eliminar parte de la materia coloidal presente en las aguas.
- La eficiencia óptima del sistema es buena, pero depende de diversos factores que deben ser monitorizados y controlados: pH,

caudal, tamaño de las burbujas de aire, consistencia de las aguas, dosificación de floculantes, etc.

- Con respecto a la materia prima utilizada es de gran importancia ambiental, ya que los papeles y cartones usados se aprovechan como materia prima en la industria papelera. De no ser así, se convertirían en desperdicios urbanos, lo que obligaría a construir nuevos vertederos sanitarios en las ciudades

#### **4.2. Recomendaciones:**

- El agua fresca en la preparación pasta sólo debe utilizarse para llenado de tanques en un arranque de máquina o cambio de producción.
- Es recomendable, mantener constantes los niveles de los tanques, instalar un tanque pulmón ha permitido acumulación del agua de proceso, pero debe controlarse el nivel, sobre todo en rebalses y saturación de las maquinas papeleras.
- Por otra parte, es recomendable el aprovechamiento de los papeles y cartones usados para fabricar nuevos productos, porque permite un considerable ahorro de materia prima, aspecto que favorece los sistemas de fabricación de productos de papel con fibra reciclada.

## 5. BIBLIOGRAFIA:

- Mac Cabe W., C. Smith J., Harriott P. “Operaciones unitarias en ingeniería química”. Cuarta Edición. Mc Graw Hill. España, 1998. Filtración, pág. 1029-1047.
- Calderón Torres, J. “Tratamiento de agua de proceso en la industria de papel tisúes utilizando tecnología de membranas”. Lima-Perú 2011. Informe de suficiencia para la obtención de título profesional.
- Ing. Carlos Tamariz, 2011-2012, Clarificación de agua de proceso en planta Protisa Peru. Jefe de área de ingeniería. Periodo de Marzo 2011 – Diciembre 2012.
- Ing. Genovés Céspedes, 2012, Proceso de Clarificación de agua de proceso en planta Protisa Peru. Jefe de la planta de efluentes. Noviembre 2012.
- Welcome to Krofta ingeniering, Visitado: Noviembre 2012. <http://www.kroftaengineering.com/>
- DSN° 021-2009-VIVIENDA, “Valores máximos admisibles para descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado sanitario”. Pág. 25-26.

## 6. ANEXOS:

- ✓ D.S. N°021-2009-VIVIENDA: Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

Parámetro	Unidad	Límites Máximos de los Residuos Industriales Admisibles en las Redes
Aceites y Grasas	mg/L	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000
Sólidos Sedimentables	ml/L/Hora	8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	500
Cianuro Total	mg/L	1
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	5
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	80
Cromo Hexavalente	mg/L	0.5