

## TITULO

“Diseño de una Planta para Tratamiento de Aguas Residuales en una Industria Cartonera”

## AUTORES

Luis Fernando Freire Molina <sup>1</sup>, Edmundo Villacis Moyano<sup>2</sup>

•<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico, 1999

•<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1974

Profesor ESPOL desde 1974

## RESUMEN

La conservación del medio ambiente se ha convertido en un tema de gran interés. En nuestro país, la idea de preservar el ecosistema gana terreno día a día, es por esto que el realizar el “**Diseño de una Planta para Tratamiento de Aguas Residuales en una industria Cartonera**” surge como un tema de actualidad y de gran utilidad que bien puede servir de guía para la ejecución del mismo en otro tipo de industrias.

Este diseño en particular, se centra en obtener la infraestructura más idónea para una industria de este tipo por medio del análisis del tratamiento a elegir.

En el primer capítulo se describe la participación del agua en los procesos de corrugado e impresión. Seguidamente se define la calidad del agua, luego de ser empleada. Se incluye un capítulo en el cual se describen los diversos tratamientos para aguas residuales a fin de elegir el más apropiado para este tipo de industria en particular.

Luego se procede al diseño de la planta, es aquí donde se dimensionan los equipos tales como tanques, bombas, líneas de distribución para los químicos y en un capítulo aparte se trata el diseño del tanque espesador con filtrado de vacío. Se adjunta el último capítulo para el análisis de costos.

## INTRODUCCION

Este trabajo tiene por objetivo demostrar la factibilidad de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Para este caso en particular, el diseño se centra en el tratamiento de una planta con capacidad de 2000 galones de agua residual en una industria cartonera para luego reutilizarla en el proceso de elaboración del adhesivo.

De esta manera, los objetivos de la planta de tratamiento son : 1) Suministrar el agua con las condiciones requeridas para la preparación del almidón 2) Reducir el impacto ambiental del agua residual en la red de alcantarillado de acuerdo a los parámetros establecidos por los organismos de control de impacto ambiental del estado.

Inicialmente se detalla el proceso de fabricación del cartón corrugado. Se describe la función del agua dentro de este proceso y se detalla la influencia de esta sobre las propiedades del adhesivo . El tratamiento de las aguas residuales utiliza cal hidratada , sulfato ferroso y tierra diatómicea de acuerdo a las cantidades sugeridas por Alar Corporation para el agua residual en este tipo de industria.

De acuerdo al volumen de agua a tratar, la masa de reactivos a usar y el cálculo del volumen de agua tratada y los residuos, se procede al diseño de la infraestructura y selección de equipos.

Se incluye además un programa desarrollado en Qbasic para el cálculo de masas de reactivos a usar , diseño de elementos, selección de bombas y cálculo de costos . Cabe mencionar que la infraestructura diseñada, es compatible para el tratamiento de aguas residuales con otras características para lo cual previamente se definen los reactivos a usar con el uso de pruebas experimentales . Esta última particularidad, convierte a este trabajo en una propuesta interesante, la cual puede ser adoptada en nuestro medio , sin que esto represente una inversión honerosa .

**1.- Objetivos del Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en una Industria Cartonera**

- 1.- Suministrar el agua con las propiedades requeridas para la elaboración del Adhesivo.
- 2.- Tratar el agua residual para que no represente un peligro para el medio ambiente.

**2.- Características del Agua Residual Tratada en la Industria de Cartón Corrugado**

Esta es el agua que ha sido usada en las imprentas y líneas de corrugado, esta mezclada con tintas, detergente, reguladores de Ph así como también de almidón ya cocinado , aceite, grasa y fibras de papel.

**2.1 Influencia del Agua en las Propiedades del Almidón**

No existe un estándar para la calidad del agua a ser empleada en la fabricación de almidón, pero existen algunos puntos a considerar en cuanto a sus propiedades.

**TABLA I  
INFLUENCIA DEL AGUA EN PROPIEDADES DE ADHESIVO**

<b>Propiedad</b>	<b>Influencia</b>
Ph	- Puede variar tener valores entre 4.5 y 11, esta variación puede originar variación en el punto de gelatinización del almidón. - Valores de pH entre 11 y 12 pueden provocar formación de depósitos de CaCo3, pues este es menos soluble a tales valores de pH.
Temperatura	Variación del punto de Gelatinización
Sólidos	Altera viscosidad, pH y punto de gelatinización.

**3. Tratamiento del Agua Residual usando Sulfato Ferroso, Cal Hidratada y Tierra Diatómicea.**

La adición de sales tiene el nombre de coagulación, la que podemos definir como aquel proceso en el cual las partículas dispersas con color y turbiedad en un medio líquido son

agrupadas por medios químicos para producir coágulos de mayor tamaño que pueden ser separados del efluente.

#### 4. Análisis del Agua Residual Tratada con Sulfato Ferroso, Cal Hidratada y Tierra Diatómica

Con el fin de cuantificar las propiedades del agua residual y compararlas con las propiedades deseadas para la elaboración del almidón se presentan los resultados de un examen Físico – Químico realizado a las aguas residuales de una industria cartonera de la localidad ( PROCARSA ). El análisis se llevó a cabo en aguas residuales antes y después del tratamiento sugerido en este trabajo.

**TABLA II**  
**ANALISIS FISICO – QUIMICO**

Parámetros	M 1	M 2	M 3	V.P
Color Co Pt	Fuerte	60	50	30
Sólidos Suspendidos ( ppm)	6300	12	9	350
Sólidos Sedimentables (ppm)	600	0	0	---
Grasas y aceites (ppm)	---	0	0	Ausencia
DBO 5 (ppm)	185	180	180	350
DQO 5 (ppm)	16530	965	1125	Rem 90 %
Temperatura (°C)	30	31	32	< 35
PH	7.3	6.2	7.2	5 - 9
Material Flotante	Visible	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Donde :

M1: Agua Residual que entra al tanque de tratamiento

M2 : Agua Residual Tratada que sale de la Planta de Tratamiento

M3 : Agua Residual Tratada que se descarga a la alcantarilla

Los parámetros del agua residual industrial después del tratamiento, indican que existe una remoción de más de 90 % en el D.Q.O, encontrándose dentro de los parámetros establecidos por la ley . En cuanto al parámetro de color, se detectó una elevación en estos valores, debido a que el filtro de carbón, cuya función es más de eliminar malos olores también es decolorar, se hallaba en mantenimiento.

D.B.O = Demanda Bioquímica de Oxígeno

D.Q.O = Demanda Química de Oxígeno

**TABLA III**

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA AL RECURSO AGUA A CORTO PLAZO**

Parámetros	Unidades	Descargas al Río Daule y Guayas o Sistemas de Drenaje que descargan a los ríos		Descargas a los Esteros o Sistemas de Drenaje que descargan a los esteros		Descargas al Sistema de Alcantarillado	
		Promedio diario	Instantáneo	Promedio diario	Instantáneo	Promedio diario	Instantáneo
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-11	5-11
Temperatura	° C	35				40	40
Material Flotante	-	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia
Aceites y Grasas visibles	-	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia
Sólidos Suspendedos	mg/L	250	350	250	350	a	a
DbO 5	mg/L	250	350	250	350	a	a
Caudal Máximo/caudal Promedio 24 horas	-	-	4.0		4.0	-	b

**5 DESCRIPCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

**5.1 Almacenamiento de las Aguas Residuales**

El agua residual, proveniente de la línea de corrugado e imprentas es transportada por bombas neumáticas hacia el tanque de almacenamiento de agua residual. Este tanque esta previsto de un agitador mecánico .

**Tanque de Tratamiento**

Aquí se produce la adición de los coagulantes de hierro para producir flóculos La adición de coagulantes cumple dos funciones :

1 ) Acelerar el asentamiento de la materia en suspensión 2 ) Permite velocidades de filtración más altas.

Una bomba neumática forma parte de esta unidad para transportar el agua con los coagulantes hacia la bandeja para filtrado al vacío. Cuando el agua alcanza el nivel deseado en la bandeja se produce el cierre de la válvula  $v_1$  en la línea hacia la bandeja, abriéndose la válvula  $v_2$  para la recirculación en el tanque de tratamiento (ver fig 1).

## **5.2 Dosificación de Coagulantes**

### **Dosificación de Sulfato Ferroso ( FeSo<sub>4</sub> )**

Luego de que el agua residual alcanzó el nivel esperado dentro del tanque de tratamiento, se dosifica el sulfato ferroso al cerrarse la válvula v3 y abrirse la válvula v4 mientras se produce la agitación dentro del tanque de tratamiento.

La dosificación de sulfato ferroso forma el hidróxido ferroso, de acuerdo a la ecuación detallada en el capítulo anterior. De esta manera, la dosificación se realiza hasta que la mezcla alcance un pH menor o igual a 4.0. El pH puede controlarse con un medidor de pH de tipo manual o montado en el tanque.

### **Dosificación de Cal Hidratada Ca (OH)<sub>2</sub>**

Inmediatamente después de que la mezcla alcanzó un valor de pH de 4.0 se detiene el bombeo de sulfato ferroso para bombear la cal hidratada al tanque de tratamiento.

La adición de cal hidratada produce un incremento en el pH del agua. Mientras más alto sea este valor, la oxidación del hidróxido ferroso será completa y se formará el hidróxido férrico. Este último compuesto es completamente insoluble. Para este caso en particular, el pH de formación puede estar entre 8 o 9.

### **Dosificación de Tierra Diatómica**

Mientras se realizaba la dosificación de la cal hidratada, se realiza la agitación y dilución de la tierra diatómica en un tanque plástico con 150 gal de agua. Al concluir la dosificación de la cal hidratada, se inicia el bombeo de la tierra diatómica y agua del tanque de tratamiento hacia la bandeja que contiene el filtro al vacío.

La tierra diatómica sirve de medio filtrante y forma una capa firme sobre las paredes del filtro.

Simultáneamente la bomba de vacío y la bomba separadora entran en funcionamiento. Los motoredutores del filtro se encienden y se inicia el filtrado al vacío.

## **5.3 Filtro al vacío**

El filtrado se produce en la parte sumergida del filtro a una presión de vacío de 25 pulg de agua. Por efecto del vacío se forma una capa de lodo en la pared del mismo. El filtro gira a 3 rev/min y la remoción del lodo se logra por efecto de una cuchilla que continuamente roza la pared del filtro. Los lodos removidos caen en un contenedor y son retirados luego de terminado el ciclo del tratamiento.

El agua que ha sido filtrada por efecto del vacío es transportada hacia el tanque de agua tratada, pasando antes por el filtro de carbón activado.

## **5.4 Filtro de carbón activado.**

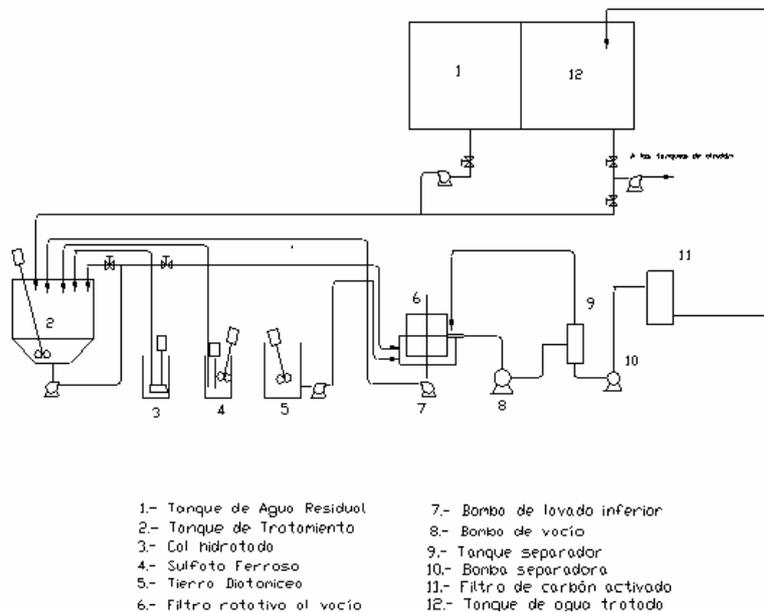
El agua transportada por la bomba separadora pasa por la columna de carbón activado para retirar los malos olores y coloración turbia. Este filtro presenta forma cilíndrica y trabaja en sentido vertical. Los gránulos de carbón detienen los flóculos que no pudieron ser retenidos en el filtro de vacío.

### 5.5 Almacenamiento del Agua Tratada

Después del paso por el filtro de carbón , el agua es transportada al tanque de almacenamiento de agua tratada, en donde es agitada por un batidor eléctrico.

### 5.6 Retrolavado de Filtros

Al finalizar el proceso de tratamiento, se inicia el lavado del filtro giratorio de vacío. Cuando el agua en el tanque de tratamiento alcanza el nivel mínimo, se abre la valvula v 7 que permite el paso de una ducha de agua limpia sobre la superficie del filtro de vacío. Cuando el agua alcanza el nivel máximo permitido en la bandeja del filtro, arranca la bomba de retrolavado y transporta los residuos de la filtración y el agua hacia el tanque de tratamiento.



**FIG. 1**  
**PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

## 6 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

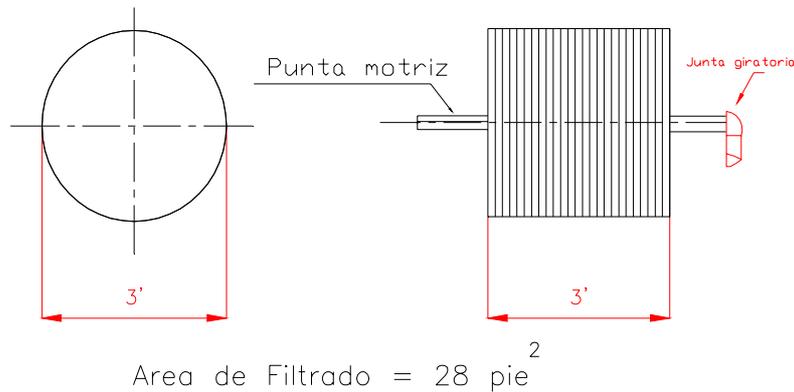
### 6.1 Tanque Homogenizador de Agua Residual y de Agua Tratada

De acuerdo a los volúmenes de agua residual producido por la planta en un lapso de 9 semanas y usando el análisis estadístico se determinó la capacidad de los tanques en 10500 gal y 6000 gal para los tanques de agua residual y agua tratada

### 6.2 Tanque de Tratamiento

Se determinó que el volumen promedio generado por turno es de 1370 gal. Con el fin de sobredimensionar el tanque se determinó la capacidad del tanque en 2000 gal.

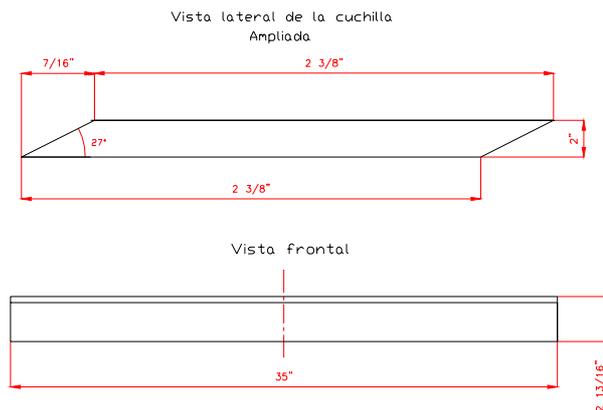




**FIG 3**  
**FILTRO DE VACIO**

**6.5 Diseño de la cuchilla**

Esta herramienta separa los lodos adheridos a la tela filtrante por efecto del vacío aplicado. Para el filtro a contruir, esta presenta las siguientes medidas :

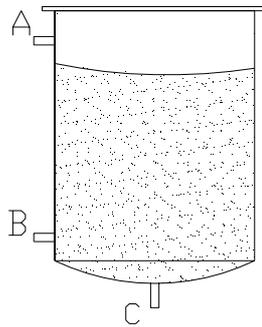


**Fig 4**  
**CUCHILLA PARA LODOS**

Esta cuchilla se encuentra montada sobre un mecanismo que cuenta con un motor de giros pausado. Este movimiento permite a la cuchilla avanzar hacia el lodo adherido sobre la superficie del tambor para desprenderlo.

**6.6 Diseño del filtro de carbón**

EL filtro de carbón presenta forma cilíndrica, esta hecho de acero y opera en sentido vertical. Presenta conexiones de ingreso para el agua a filtrar **A** y salida del filtro **B**, así como también para la purga del agua en el filtro **C**.



Filtro de Carbón activado

**FIG. 5**

**FILTRO DE CARBON ACTIVADO**

El filtro de carbón activado elimina olores desagradables y aclara las aguas después del filtrado . Se ha escogido a la antracita # 1 con gránulos de 0.8 cm de diámetro.

**6.7 Bombas a usar**

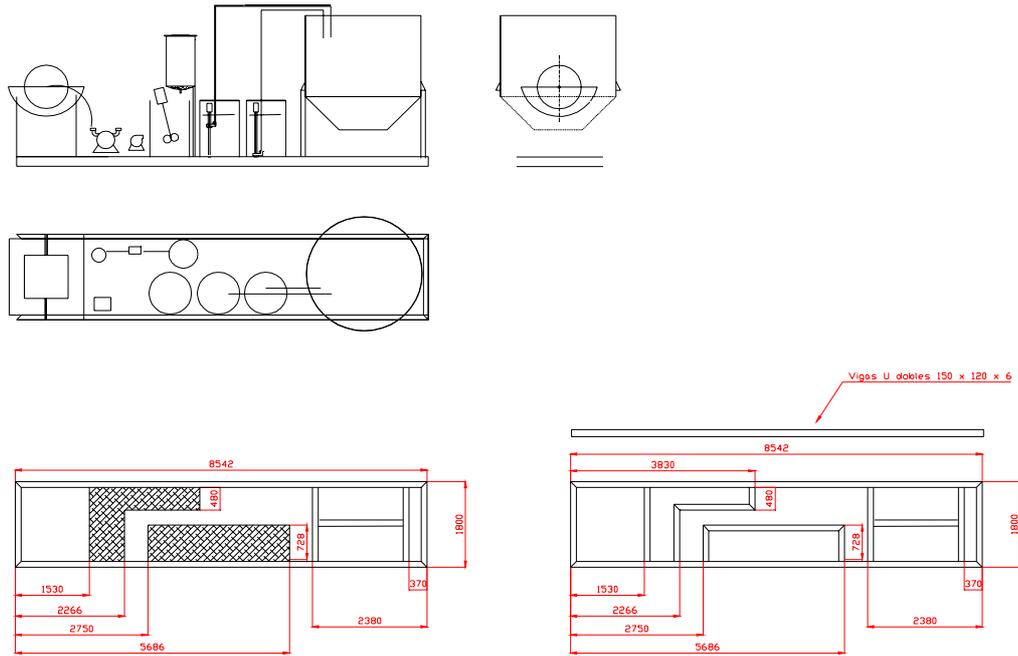
Se resume a continuación el tipo y cantidad de bombas a usar para el transporte de los fluidos a usar en las diversas etapas del tratamiento .

**TABLA V  
TIPOS DE BOMBAS A USAR**

<b>Tipo</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Cantidad</b>
Neumática	T. de Tratamiento	1
Centrifuga	So <sub>4</sub> Fe, CaOH <sub>2</sub> ,	5
Compresor de vacío	Filtro de vacío	1

**6.8 Disposición Física de los Componentes de la Planta de Tratamiento**

Con el fin de optimizar el uso del espacio y facilitar el posible transporte de la planta, todos los componentes de esta se encuentran montados en una estructura o marco. Este estructura esta formada por vigas “U” dobles, soldadas por el alma ( ][ ) y se presenta a continuación :



**FIG .6**  
**ESTRUCTURA DE MONTAJE**

**7. Resumen de costo**

A continuación de detalla el costo para la construcción de la infraestructura y equipos necesarios para la operación de la planta propuesta, esto incluye gastos de operación.

**Tabla VI**  
**RESUMEN DE COSTO GENERAL**

<b>Item</b>	<b>Costo</b>
Tanque de Agua Residual	<b>29'572.237</b>
Tanque de Agua Tratada	<b>23'916.972</b>
Tanque de Tratamiento	<b>13'637.562</b>
Filtro de Vacío	<b>22'405.400</b>
Filtro de Carbón	<b>4'905.309</b>
Estructura para Montaje de Equipos	<b>10'667.798</b>
Equipos Complementarios	<b>109'536.100</b>
<b>Total</b>	<b>214'641.137</b>

## Costos de Operación

**TABLA VII  
COSTOS DE OPERACION**

<b>Item</b>	<b>Costo Suces</b>
Costos de Insumos ( por turno )	1'141.000
Carbón activado ( una vez al año )	10'189.920
Costo de energía eléctrica ( por turno )	640.730

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- El costo de una unidad para tratamiento de aguas residuales fabricada en los Estados Unidos es de \$ 76200 dólares.

Al compararlo con el valor de \$ 25251 dólares estimado en este trabajo para una unidad fabricada en el país, se observa que representa menos del 50% del costo de la unidad importada.

Cabe mencionar que en este diseño conceptual no se ha incluido el costo de diseño e instalación eléctrica, así como tampoco los gastos de obra civil que dependen del lugar en donde se haga la instalación.

A pesa de esto tales rubros no representan los \$ 51000 dólares que hay de diferencia entre el costo de la unidad importada y la fabricada en nuestro país.

Esto diferencia es alentadora y justifica la inversión a realizar para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en nuestro medio.

2.- El costo estimado de la infraestructura permite la operación manual de la planta , pero es posible automatizar la operación de esta con la instalación de un Controlador Lógico Programable . La infraestructura necesaria para la instalación de tal equipo y el costo del mismo es de aproximadamente \$ 3500 .

3.- Es posible reemplazar los reactivos químicos que fueron usados en este diseño, los mismos que fueron seleccionados por ser de fácil obtención en nuestro medio . Como la cal, que es fácil de conseguir en y su presencia en el proceso produce la formación de depósitos de carbonato de calcio en tuberías y bombas . Esto representa un problema, pues tales componentes requerirían de un mantenimiento frecuente.

Actualmente hay productos en el mercado que facilitan la coagulación y pueden ser usados con la infraestructura presentada en este diseño.

## REFERENCIAS

1. L.Freire Molina, “ Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales en una Industria Cartonera“, ( Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1999).
2. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Volumen 2, (Editorial Limusa, 1987).
3. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Volumen 3, (Editorial Limusa, 1987).
4. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Volumen 4, (Editorial Limusa, 1987).
5. Manual de Aguas Para Usos Industriales, Volumen 1, (Editorial Limusa, 1983)
- 6.- Manual de Aguas Para Usos Industriales, Volumen 3, Editorial Limusa, 1983)
7. Fred Rokola, , “Utilization of Waste Water to make Starch, Harper Love Adhesives”, editor Harper Love Bulletin, 1997.
8. Peter Snyder. Basic of Starch Adhesive. Tappi Corrugating Short Course.1998.
9. R.W. Fox, Introducción a la Mecánica de Fluidos, (2da Edición,Mcgraw Hill,1990)
10. H . Betz, Handbook of Industrial Water Conditioning, ( 6ta Edición, Betz, 1972).
11. External Water Treatments, http : [www.hsb.com/hsbwate6.htm](http://www.hsb.com/hsbwate6.htm).
12. Lawrence Field, P.E. Continuous Filtration of Difficult Sludge with a Precoat Vacuum Filter, greatlakes@waterlink.com.