



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Química – Farmacia  
Departamento de Ingeniería Química*

# *Trabajo de Diploma*

*“Aplicación de un procedimiento de evaluación  
tecnológica en la Papelera “Pulpa Cuba”*

*Autor: Dayron Soto del Valle Ruiz*

*Tutores: Msc. Juan Pedro Hernández Touset  
Ing. Fidel Alain Rodríguez Romano*

*Asesor: Dr. Ing Agustín García Rodríguez*

*“Año de la alternativa bolivariana para las América”*

*Curso 2004-2005*

## Resumen

La tendencia actual en las fábricas de papel es reducir a cero la descarga de efluentes, con la consecuente disminución de costos por tratamiento de residual y la minimización del consumo de agua fresca. El cierre es recompensado si la producción está limitada por restricciones ambientales en las descargas de efluentes u otras limitaciones de capacidad en las instalaciones existentes para el tratamiento del agua residual.

En este trabajo se aplica un procedimiento de evaluación tecnológica en el contexto de la planta de papel, que incluye el análisis y procesamiento de la información obtenida en la caracterización de la industria y la tecnología, la definición de las deficiencias del equipamiento y la tecnología, la aplicación de las herramientas del análisis e integración de procesos, la selección del equipamiento y la evaluación económica.

Como resultado de la aplicación del procedimiento, definen las modificaciones al esquema tecnológico, mediante las cuales se puede alcanzar un sensible ahorro de agua y energía en el proceso.

El objetivo del trabajo ha sido superar las limitaciones de eficiencia y de índole ecológicas que prevalecen en la fábrica de papel, así como prevenir posibles contingencias por concepto de deficiencias de la transferencia en las nuevas inversiones, mediante la aplicación de un procedimiento que permite medir el impacto técnico y económico de la tecnología de producción de papel.

## **Abstract.**

The current tendency in paper mills is to reduce to zero the effluent discharge, with the consequent decrease of costs for treatment of residuals and the minimisation of the consumption of fresh water. The closing is rewarded if the production is limited by environmental restrictions in the effluents discharges or other limitations of capacity in the existent facilities for the treatment of the residual water.

In this work a procedure of technological evaluation is applied in the context of the paper machine plant that includes the analysis and prosecution of the information obtained in the characterization of the industry and the technology, the definition of the deficiencies of the equipment and the technology, the application of the tools of the analysis and integration of processes, the selection of the equipment and the economic evaluation.

As a result of the application of the procedure, modifications to the technological structure are defined, by means of which a sensitive saving of water and energy in the process is reached.

The objective of the work has been to overcome the limitations of efficiency and of ecological nature that prevail in the paper mill, as well as to prevent possible contingencies for concept of deficiencies of the transfer in the new investments, by means of the application of a procedure that allows to measure the technical and economic impact of the technology of paper production.

<b>Índice.</b>	
<b>Resumen.</b>	
<b>Summary</b>	
<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Revisión bibliográfica.</b>	
<b>1.1 El agua en la fabricación de papel y cartón. Aplicaciones</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2 Criterios de calidad en función de la aplicación</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. Alternativas más frecuentes para cierre de los circuitos</b>	<b>7</b>
<b>1.1.4 Sistema de efluente cero</b>	<b>9</b>
<b>1.1.5 Características de los circuitos de aguas de las fábricas de papel para embalaje</b>	<b>13</b>
<b>1.1.6 Integración de procesos. Integración de masa</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Equipamiento para la recuperación de agua y fibra</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2 Métodos para la limpieza de agua</b>	<b>24</b>
<b>1.2.3 Tecnologías progresivas para mejorar la limpieza del agua</b>	<b>25</b>
<b>1.2.4 Selección de un equipo separador sólido – líquido</b>	<b>26</b>
<b>1.3 Evaluación de tecnologías</b>	<b>26</b>
<b>1.3.2 Simulación del proceso</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 2 Aplicación de la metodología general de evaluación tecnológica</b>	
<b>2.1 Caracterización general de la fábrica</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Estado técnico de los equipos. Principales dificultades tecnológicas en las diferentes secciones de la planta</b>	<b>36</b>
<b>2.3.1 Principales focos contaminantes</b>	<b>42</b>
<b>2.3.2 Caracterización del agua utilizada en la fábrica</b>	<b>42</b>
<b>2.3.3 Residuales líquidos</b>	<b>43</b>
<b>2.4 Acciones desarrolladas para mitigar los impactos ambientales generados por la entidad</b>	<b>49</b>
<b>2.5 Materiales y métodos para la caracterización de las corrientes residuales</b>	<b>53</b>
<b>2.5.1. Determinación de la consistencia</b>	<b>53</b>
<b>2.5.2 Determinación de la longitud de fibra por clasificación</b>	<b>54</b>
<b>2.5.3 Separación de fibras por tamizado</b>	<b>58</b>
<b>2.5.4 Determinación de las cenizas para papel, cartón y cartulina</b>	<b>59</b>

<b>Capitulo 3 Análisis técnico-económico realizado en la Papelera” Pulpa Cuba” de Trinidad aplicando métodos de integración de procesos</b>	<b>62</b>
<b>3.1- Aplicación de la metodología de integración de procesos al flujo de producción en la papelera ” Pulpa Cuba” de Trinidad</b>	<b>62</b>
<b>3.1.1 Planteamiento de los Balances de agua y fibra por etapa o equipo</b>	<b>67</b>
<b>3.1.2 Estructura del sistema de aguas papelera” Pulpa Cuba”</b>	<b>81</b>
<b>3.1.3 Aplicación de la técnica de integración de masa diagrama fuente-sumidero</b>	<b>92</b>
<b>3.2 Estructura del circuito de aguas</b>	<b>98</b>
<b>3.3 Estructura del circuito de aguas propuesto</b>	<b>99</b>
<b>3.4 Selección del Equipamiento</b>	<b>100</b>
<b>3.4.1 Tamiz de Tambor Rotatorio Sumergido</b>	<b>100</b>
<b>3.4.2 Selección del equipo de flotación</b>	<b>100</b>
<b>3.5 Análisis económico</b>	<b>101</b>
<b>3.5.1 Determinación del costo de operación sin tratamiento de efluentes</b>	<b>102</b>
<b>3.5.2 Determinación del costo de operación con tratamiento de agua</b>	<b>103</b>
<b>3.5.3 Estimación del Tiempo de recuperación de la inversión</b>	<b>105</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>107</b>
<b>Recomendaciones.</b>	<b>108</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>109</b>

## **Introducción**

En los procesos inversionistas en los países en desarrollo, los inversionistas y sus proveedores de tecnologías, proyectan y deciden la exportación de las mismas, a veces sin tener en cuenta suficientemente los intereses estratégicos y ecológicos, ni las particularidades socio - económicas de la región o nación en cuestión que pudieran ser decisivas en el éxito de una nueva inversión o en la transformación tecnológica con vistas a la modernización, diversificación o simplemente incremento de la eficiencia de un proceso o la conservación del medio, en estas naciones receptoras, en muchas de las cuales, estas cuestiones no son debidamente analizadas ni evaluadas. En este sentido, la evaluación tecnológica en el proceso inversionista en los países en desarrollo debe tener en cuenta los factores antes mencionados, pues de ello depende en gran medida el éxito o el fracaso de una inversión y el avance efectivo del desarrollo en estas naciones.

El problema de la transferencia tecnológica ha sido la causa de importantes deficiencias en los procesos industriales y de graves perjuicios económicos, ya que el receptor generalmente no ejecuta una efectiva evaluación de la tecnología que se transfiere.

Es apreciable la cantidad de instalaciones de procesos químicos introducidos en el país a través de los diversos mecanismos de transferencia tecnológica, que han operado ineficientemente, desde el propio inicio de sus operaciones, con comportamientos anómalos y sin la adecuada proyección de las innovaciones tecnológicas. Esta situación es atribuible en un alto grado a una insuficiente información tecnológica previa y a la recepción y explotación de la tecnología sin una consecuente aplicación de herramientas ingenieriles, que integradas en un procedimiento, haga posible evaluar la tecnología.

El presente trabajo contribuye a alcanzar los objetivos trazados por la dirección de la UEB Papelera Pulpa Cuba relacionados con la reducción de los consumos de agua, energía y de vertimiento de efluentes, así como, a la elevación de los índices de eficiencia del proceso.

La tendencia moderna en el tratamiento del agua blanca es hacia el mayor cierre de los sistemas para reducir la demanda de agua fresca y volúmenes de los efluentes. Este objetivo puede ser logrado en parte utilizando equipamiento que minimice los requerimientos de agua fresca mediante el reuso del agua blanca filtrada en aplicaciones que normalmente requieren agua fresca.

Enmarcado en este contexto, el problema de investigación se enuncia como sigue:

Las fábricas de de papel ha presentado limitaciones considerables de eficiencia, con sensibles afectaciones técnicas, económicas, sociales y ambientales como consecuencia de una insuficiente evaluación tecnológica. En correspondencia con lo anteriormente expresado se formula la hipótesis:

Es posible mediante la aplicación de un procedimiento de evaluación tecnológica, que se sustenta en la selección y utilización las herramientas de la ingeniería de procesos superar las limitaciones de eficiencia y de índole ecológicas que prevalecen en instalaciones en producción, así como prevenir posibles contingencias de esta índole en las nuevas inversiones que involucren la transferencia de nuevas tecnologías en cualquiera de sus manifestaciones.

El objetivo general del trabajo es evaluar el sistema de agua de proceso mediante la aplicación de un procedimiento de que permite medir el impacto técnico y económico de la tecnología de producción de papel.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el sistema de aguas de proceso mediante métodos de integración de masa.
2. Definir un esquema tecnológico para la minimización de aguas frescas y vertimiento de residuales.

## **Revisión bibliográfica**

### **1 Cierre de circuitos de aguas en fábricas de papel**

#### **1.1 El agua en la fabricación de papel y cartón. Aplicaciones.**

En la fabricación de papel y cartón, 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 1.1 se resumen los principales usos del agua en esta industria.

Tabla 1.1 Principales usos del agua en la industria del papel

Aplicaciones del agua en la fabricación de papel		
Usos	Función	Ejemplos
Agua de proceso	Transporte  Dilución	Transporte de aditivos, fibra. cargas. Etc  Ajuste de consistencia, preparación de aditivos.
Agua para rociadores y toberas.	Mojado  Lubricante  Corte, desbarbe  Limpieza  Dilución Enfriamiento	Mojado de la tela de formación.  Rodillo de cabeza de retorno de la tela, tensor, conductor.  Recorte de los laterales de la banda de papel.  Limpieza de la tela de formación, del fieltro, de los rodillos.  Caja de alimentación.  Rodillo guía, parte superior, partes mecánicas.

Aplicaciones del agua en la fabricación de papel		
Usos	Función	Ejemplos
Agua para rociadores y toberas.	Antiespumante	Células de flotación, cajas de alimentación, etc
Agua de refrigeración	Enfriamiento	Sistema de bombas, sistemas de accionamiento de máquinas, fluidos de lubricación.
Agua de caldera	Producción de vapor	Cilindros secadores.
Agua de sellado	Sellado	Cajas de vacío, bombas, etc.
Agua de limpieza	Transporte	Limpieza de la maquina, depósitos, tuberías

El volumen de agua consumida depende de numerosos factores (lo cual explica la disparidad de los datos encontrados), 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.

Según los productos fabricados, los consumos de agua en las fábricas de tecnologías actuales se encuentran dentro de los siguientes intervalos:

- Cartón: 3-8 m<sup>3</sup>/t de producto.
- Papel de periódico: 10-15 m<sup>3</sup>/t de producto.
- Papel tisú: 15-20 m<sup>3</sup>/t de producto.
- Papel de impresión y escritura: 200 m<sup>3</sup>/t de producto.

Conviene hacer notar que frecuentemente se encuentra, fábricas que operan con

consumos muy superiores, debido a factores tales como la utilización de máquinas antiguas, la inexistencia de procesos de clarificación de aguas, el

menor cierre del sistema de aguas, cte. Los consumos pueden llegar a alcanzar los siguientes valores:

- Cartón: 35 m<sup>3</sup>/t de producto.
- Papel de periódico: 30 m<sup>3</sup>/t de producto.
- Papel tisú: 60 m<sup>3</sup>/ t de producto.
- Papel de impresión y escritura: 200 m<sup>3</sup>/t de producto.

### **1.1.2 Criterios de calidad en función de la aplicación**

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. En la tabla 1.2 se indican los intervalos típicos de la composición de las aguas blancas con altos y bajos niveles de recirculación. La amplitud de los intervalos se debe a un gran número de factores: tipo de

materia prima fibrosa, tipo y calidad del producto fabricado, condiciones de fabricación, fuente de alimentación, grado de cierre del sistema de aguas, eficacia de los tratamientos internos para la clarificación y reutilización de las corrientes de proceso, etc.

Tabla 1.2 Intervalos típicos de composición de las aguas blancas

<b>Intervalos típicos de composición de las aguas blancas</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Rango</b>
a) Con altos niveles de recirculación	
Ph	4.9 – 7.3
Conductividad (ms/cm)	3 - 11
DQO (mg/l)	4 500 – 22 000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	2 000 – 8 000
Sólidos en suspensión (mg/l)	4 500 – 23 000
Sólidos disueltos (mg/l)	1 000 – 10 000
Sulfatos (mg/l)	240 – 2 350
Cloruros (mg/l)	130 – 2 950
Sodio (mg/l)	100 - 800
Calcio (mg/l)	360 – 2 040
Magnesio (mg/l)	30 - 110
Hierro (mg/l)	0.1 - 47
Aluminio (mg/l)	0.5 – 53
Colonia de microorganismos aerobios (10 <sup>6</sup> col/ml)	100 - 300
Colonias de microorganismos anaerobios (10 <sup>6</sup> /ml)	15 - 950
b) Con bajos niveles de recirculación( )	
DQO (mg/l)	83 - 530
DBO (mg/l)	46 - 284
Sólidos en suspensión (mg/l)	11 – 44.5
Sólidos en suspensión de 0.45 µm (mg/l)	102 - 124
Sólidos en suspensión en la primera hora (mg/l)	0 – 0.05

Cloruros (mg/l)	35.5 - 180
(") a la salida de separación de fibra por sedimentación	

### 1.1.3. Alternativas más frecuentes para cierre de los circuitos

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. Las alternativas más frecuentemente adoptadas en la industria papelera para la reducción del consumo de agua son:

- Reutilización de las aguas blancas como aguas de proceso.
- Reutilización del agua clarificada para diferentes aplicaciones.
- Utilización del agua en sistemas en cascada en función de los requisitos calidad-uso.
- Utilización del agua para usos técnicos en sistemas cerrados.
- Reutilización del efluente después de su tratamiento como agua de alimentación.

#### Consecuencias

Los problemas asociados al cierre de los circuitos de las aguas como consecuencia de la acumulación de sustancias contaminantes en las aguas de proceso son de muy diversa índole, si bien se pueden clasificar de forma general por los problemas asociados:

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

Los problemas asociados al incremento de los sólidos en suspensión son los más fáciles de resolver, por cuanto estos compuestos pueden ser eliminados mediante sistemas de clarificación de las aguas de proceso. Sin embargo, una concentración elevada de los mismos puede dar lugar a graves problemas por

depósitos en distintas partes del proceso de fabricación, mayor consumo de aditivos y pérdidas de propiedades físicas en el producto final. El ejemplo más característico son los bloqueos de los rociadores en aquellas fábricas que reutilizan el agua de proceso para esta aplicación.

Los problemas asociados al aumento de la materia orgánica en suspensión son similares a los que se exponen a continuación referidos a la aglomeración de materia coloidal.

Con respecto al crecimiento de los sólidos inorgánicos en suspensión, hay que considerar los efectos perjudiciales del incremento de cargas en las aguas de proceso. A modo de ejemplo, pueden citarse:

- Incremento de depósitos en los equipos de fabricación.
- Incremento de la abrasión en partes móviles, como bombas, rodillos, telas, etc.
- Reducción de la resistencia física y química del producto.
- Disminución de la eficacia de determinados aditivos: agentes de encolado, colorantes, etc.
- Incremento de espumas cuando el carbonato cálcico se encuentra en medio ácido.

Los problemas asociados al incremento de la materia disuelta y coloidal son los que presentan una mayor importancia en la fabricación de papel y cartón. Se deben, en general, al aumento de la concentración de sales inorgánicas, de la materia orgánica y de los microorganismos.

La acumulación de sales inorgánicas en el sistema es uno de los aspectos importantes que hay que considerar como detrimento en el cierre del sistema de las aguas de proceso, debido al número elevado de problemas que pueden acarrear, tanto en el proceso de producción, como en el producto. Los principales problemas asociados con el incremento de la concentración de sales disueltas en las aguas de proceso son:

- Posible disminución de la resistencia física del producto.
- Alteración de la química de la parte húmeda de la máquina de papel por la interacción

de las sales con aditivos incorporados en el proceso.

- Disminución de la blancura en presencia de altos niveles de  $Fe^{3+}$  y  $Mn^{2+}$ .
- Incremento de los niveles de corrosión.
- Formación de depósitos de derivados del aluminio en procesos que operan a pH superior a 5 y a altas concentraciones de especies de aluminio.
- Formación de incrustaciones inorgánicas debido a reacciones de precipitación.
- Interferencia con colofonias en las operaciones de encolado cuando existen elevadas concentraciones de  $Ca^{2+}$ .
- Incremento del crecimiento microbiano como consecuencia del valor nutritivo de las sales inorgánicas.

En cuanto a la materia disuelta y coloidal de naturaleza orgánica, los problemas relacionados con los distintos tipos de *pitch* o grumos de resinas *stickies* o grumos pegajosos y *slime*, *biofilm* o depósitos de microorganismos son los más importantes para los fabricantes de papel y cartón. Estos depósitos son los responsables de problemas tales como la modificación de la química de la parte húmeda o *wet-end*, la formación de depósitos en los equipos y en el producto final, corrosión, producción de malos olores, roturas de la banda de papel, etc. Salome (2004)

#### **1.1.4 Sistema de efluente cero**

Esta variante solo se justifica por tres razones fundamentales:

- 1- Cuando la planta de tratamiento con que cuenta no se puede utilizar por razones financieras.
- 2- Porque la tecnología no es considerada segura.
- 3- Porque la conexión con una planta local es muy cara o porque esta última crea demasiado riesgo de dependencia.

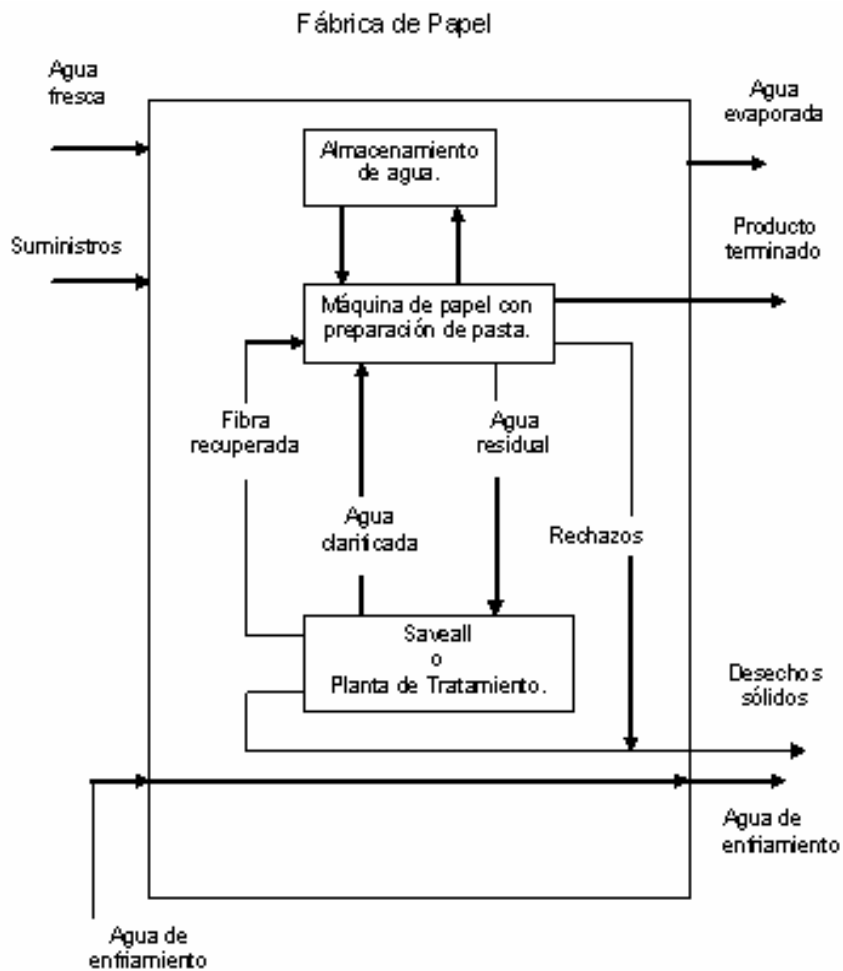
Por lo que, solo bajo estas condiciones solo la solución extrema sería la producción sin ningún tipo de emisión de agua.

Por tanto, un sistema de circuito cerrado, además llamado sistema de efluente cero puede ser definido de la siguiente manera:

“El agua fresca es solamente usada para compensar las pérdidas por evaporación, en el producto final y en el agua que se pierde con los desperdicios. La descarga de agua residual no debe ocurrir. El agua de enfriamiento no contaminada debe ser recirculada constantemente”

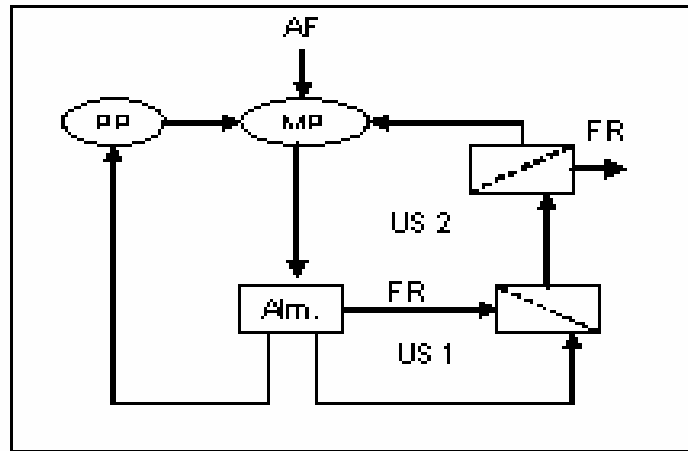
Este tipo de sistema es ilustrado a continuación:

**Figura 1.1 Principio de un sistema de agua cerrado (cero efluentes).**

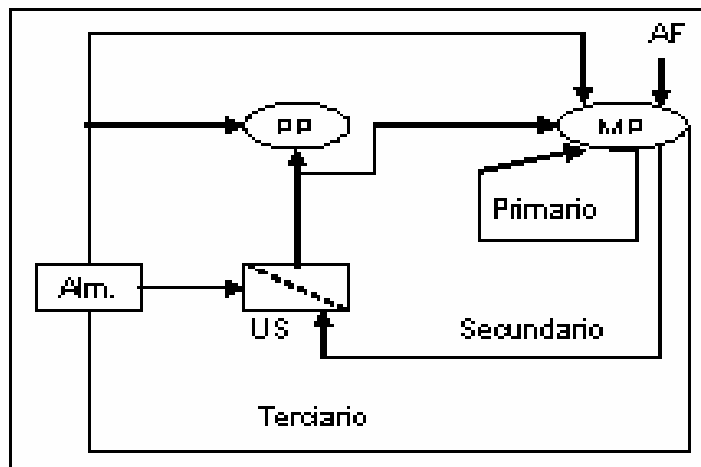


De trabajos hechos por Brecht (1980), Goettsching y Dalpke (1976) se puede ver a continuación los distintos tipos de circuitos representados en cuatro diagramas básicos, los cuales son representados en la figura 1.2.

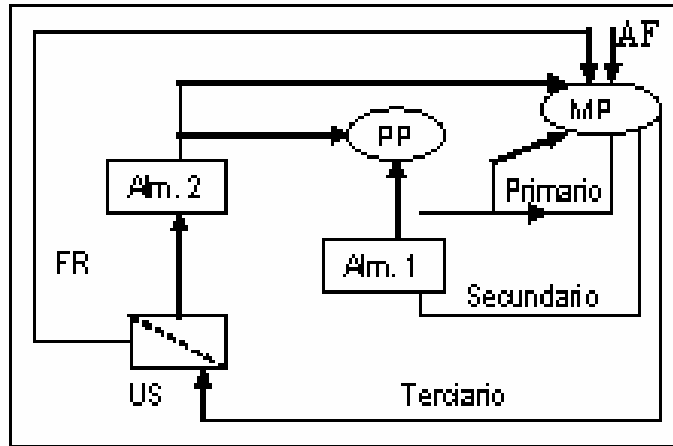
Figura 1.2 Diagramas de flujo básicos de sistemas de agua cerrados.



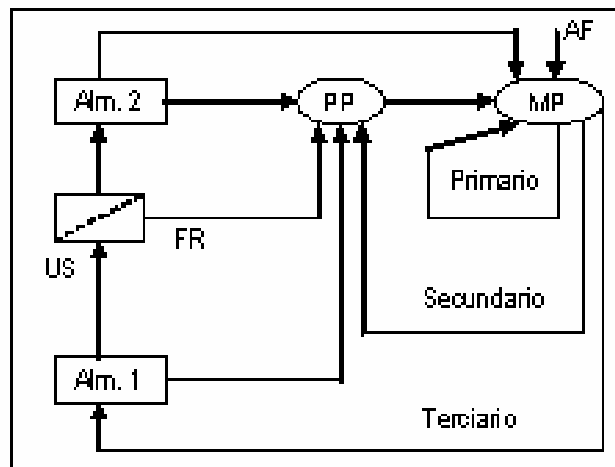
1



2



3



4

AF= agua fresca  
 PP= preparación de pasta  
 FR= fibra recuperada

Alm= almacenamiento  
 MP= máquina de papel  
 US= unidad de separación

Todos estos tipos de circuitos tienen en común el uso de saveall, siendo en la mayoría de los casos flotación, la cual es una unidad de separación mecánica añadida en el circuito secundario (1 y 2 ) o en el terciario ( 3 y 4).

El mejor diseño es el número 4, caracterizado por las siguientes ventajas:

1- No se almacena agua en los circuitos primarios y secundarios, asegurando un rápida salida sin depósitos y condiciones anaeróbicas.

2- Se utiliza una pequeña unidad de almacenamiento antes del saveall para regular y otra unidad mayor después para el agua clarificada, teniendo solamente un pequeño riesgo de formación de depósitos.

Como precondiciones para el cierre de circuitos tenemos:

- Provisión de suficiente capacidad de almacenamiento para almacenar agua al disminuir la demanda.

- El saveall debe tener buena efectividad para que toda el agua fresca que demande el proceso sea utiliza con agua blanca sin problemas.

- Reducción del consumo de agua fresca por debajo de las pérdidas de evaporación.

- Sustitución gradual de todos los equipos que se corroen por otros construidos con materiales resistentes a la corrosión.

- Uso de aditivos particulares para el control de olores y para propósitos de limpieza.

Los dos últimos requerimientos nos indican los problemas causados por el cierre de circuitos utilizando dicha tecnología. Además, los finos y otras sustancias coloidales disueltas no pueden ser descargadas del sistema y sus concentración aumenta gradualmente.

### **1.1.5 Características de los circuitos de aguas de las fábricas de papel para embalaje.**

Las plantas investigadas por Zippel (2001) que pertenecen a este grupo producen corrugado medio y liner. Hace algunos años estas fábricas fueron de especial interés para los ecologistas y las instituciones de investigación, donde

la mayoría de ellas trabajaron con el sistema cero efluente, donde este método sirvió de ejemplo para su aplicación en otros grupos de papeleras. Pero esta tendencia deseada no se pudo mantener. Actualmente este tipo de plantas casi todas trabajan nuevamente con circuito abierto pero con la instalación de plantas de tratamientos de aguas residuales anaeróbica, siendo la misma una instalación muy confiable para la reducción de emisiones. Por tanto, este tipo de planta son nuevamente los modelos ecológicos de las plantas que utilizan el papel recuperado.

### **Utilización del agua fresca. Consumos específicos**

De las 13 plantas estudiadas, dos con maquinas de papel pequeñas trabajan con circuitos completamente cerrados, añadiendo solo de 1.5 a 1.7 L/Kg de agua para compensar la vaporización. Los consumos de las otras 11 plantas están situados entre los 4 a 7 L/kg. El valor medio del consumo específico es de solo 4.9 L/Kg. Este resultado muestra que se tiene en cuenta al reabrir el circuito cerrado así como el esfuerzo en cerrar el circuito de los otros.

### **Uso del agua fresca y el agua clarificada para las principales aplicaciones**

En el proceso de preparación de pasta se usa en la mayoría de las plantas agua blanca II. Existen otras fabricas (la minoría), principalmente las mas antiguas que usan agua clarificada.

El agua utilizada en la sección húmeda por los elementos rociadores (spray) es manipulada de forma diferenciada. Las duchas de baja presión utilizan básicamente agua clarificada. Los esfuerzos para economizar agua fresca se muestran claramente en el agua utilizada como agua de limpieza en la filtración y depuración utilizando agua clarificada así como para el sellaje. Por lo que para la mayoría de las aplicaciones se utiliza agua fresca, el agua clarificada toma su lugar a extensión del uso de agua fresca para su aplicación en puntos de la maquina de papel de difícil acceso o sensible a la calidad del agua, variando ampliamente en este grupo, dependiendo del tamaño y modernidad de la misma. Además, muchas maquinas de papel modernas que tienen muchos puntos de

aplicaciones compensan el uso adicional de agua con su productividad específica.

### **Sistema de circuitos. El saveall en el circuito de la maquina de papel.**

La mayoría de las unidades modernas que forman parte de este grupo tienen instalados un filtro de disco u otro equipo similar. Algunas están equipadas con flotación y muy pocas con sedimentación tipo embudo.

Además, teniendo en cuenta las dificultades que se presentan debido a la composición del agua esta debe ser muestreada frecuentemente en aquellas fábricas que tratan corrientes de limpieza. Para ello existen filtros finos para agua clarificada que actúan principalmente contra la presencia de materiales suspendidos. Obviamente el uso de este equipamiento no es muy utilizado debido al mantenimiento adicional que hay que aplicarles.

#### **1.1.6 Integración de procesos. Integración de masa.**

En la década del 70, la principal actividad ambiental en los procesos químicos era el tratamiento del efluente al final del proceso. Esta actividad se basaba en la instalación de una unidad de control de la contaminación que podía reducir la composición de contaminantes en los flujos de residuales a niveles aceptables, la mayoría de estas unidades empleaban técnicas destructivas que convertían los contaminantes en especie que no perjudicaban al medio (incineración, tratamiento biológico, etc. En los 80 la industria de los procesos químicos comenzó a mostrar interés en la implementación de políticas que analicen el flujo de contaminantes, como flujo de materiales de valor que podían ser recuperados de manera efectiva. Debido a esto ya en los 90 se han observado avances significativos en la optimización y síntesis de procesos ambientales. Estos avances han sido en respuesta a regulaciones ambientales cada vez de mayor exigencia que han presionado a las diferentes industrias en la búsqueda de una respuesta para desarrollar estrategias de prevención y minimización de la contaminación, consumo de agua fresca y vertimiento de efluente a un costo rentable. (El-Halwagi, 1992; El-Halwagi y Srinivas, 1994; Crumple, 1996).

La minimización de residuos es el proceso de reducir o eliminar la generación de cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso antes de que el material sea tratado, almacenado o dispuesto. Las técnicas de minimización de residuos se enfocan, ya sea en cualquier reducción de origen o en la recuperación y el reciclado como medio para disminuir el volumen y/o la toxicidad de las corrientes y residuos. (Eastwood, Tainsh y Fien, 1998).

Adicionalmente la minimización de los residuos se puede conceptualizar al estudiar el enfoque particular de instituciones gubernamentales y el sector industrial. Por ejemplo, según la agencia de protección al entorno de E.U.A. define la prevención de la contaminación como:

“La utilización de materias, procesos o prácticas que disminuyen o eliminan la creación de los contaminantes o residuos en la fuente de origen”; y según esta misma organización definen la minimización de residuos como:

“La reducción, hasta donde sea posible de los residuos riesgosos que se generan, o que posteriormente se tratan, clasifican o tiran”. En cambio para el sector industrial se considera que la prevención de la contaminación incluye la reducción en la fuente de origen, el reciclaje y el tratamiento, estos constituyen los medios más eficaces para disminuir y prevenir la pérdida de efluente (Michalek, Lombardo, 1996).

Diremos de la minimización que tiene cuatro incentivos fundamentales:

1. Cumplir las regulaciones.
2. Ventaja competitiva y tecnológica.
3. Mejores relaciones con los empleados y la comunidad.
4. Beneficios financieros.

Una combinación en el análisis de las utilidades cuestión de estudio, está siendo aplicada para reducir los consumos de la institución. Los principales objetivos del proyecto serán, disminuir los requerimientos de vapor, agua de enfriamiento, etc. Esto podrá tener lugar gracias al reuso de diferentes corrientes e identificar el potencial para lograr el decrecimiento del volumen de desperdicio de efluente.

Pasemos ahora a mencionar las herramientas para el desarrollo de algunos casos para evaluar la descarga del efluente al medio y otras para su reducción (Hurme, 1997).

Simulación de la carta de flujo: Los simuladores de flujo calculan los balances de materiales y energía, los cuales son necesarios en la tarea de minimización de los residuales. Por lo anterior para lograr la integración, simular el proceso es fundamental.

Balance de materiales: A través de este balance se pueden calcular los índices de descarga y con esto se puede estimar y comparar las corrientes generadas en cada proceso.

Optimización: Después de identificar gracias al balance las diferentes corrientes que conforman el proceso será necesario optimizar el proceso en aras de encontrar la forma más factible de operar en el proceso y encontrar las vías para reutilizar corrientes y así minimizar los costos. Para ello contamos con dos herramientas:

1. Optimización matemática.
2. Análisis PINCH de agua.

Análisis PINCH de agua: Es un método para identificar las oportunidades de reducción del consumo de agua y generación de los residuales. El método puede analizar cualquier número de contaminantes y cuantificar los beneficios para el reuso, regeneración y reciclaje. En este aspecto se han comprobado los ahorros considerables en los procesos donde se ha aplicado (Johnson, 2000).

Hasta aquí se han visto algunas herramientas que en los últimos tiempos han sido utilizadas en el dimensionamiento e integración de procesos que han cobrado mucho auge y son usadas en la prevención del vertimiento de efluente (Chandra, 1997; Dyer y Mulholland, 1998).

En este punto debemos notar que la integración de procesos es una tecnología sistemática, basada en un enfoque hacia el desarrollo de proceso que permite al ingeniero de proceso ver un gran escenario primero y los detalles después; además permite al dimensionador identificar los objetivos globales de eficiencia antes de cualquier actividad de desarrollo y encontrar la estrategia óptima para llevarlo a cabo. Estos objetivos pueden ser por ejemplo, minimización de la

generación de residuales, minimización de los requerimientos energéticos, maximización de la eficiencia del proceso, entre otras.

Las herramientas de síntesis del proceso desarrollado, son técnicas de diseño genéricas, sistemáticas y de uso sencillo, que tienen como base el tratamiento de programación matemática se trabaja con funciones objetivos, modelos matemáticos y el tratamiento termodinámico, en el cual se encuentra el análisis PINCH, siendo esta última la de mayor aplicación industrial. La integración es caracterizada por dos elementos la energía y la masa (Cripps, 2000).

La integración de masas es una técnica relativamente nueva que se ha desarrollado mucho en los últimos años. Las investigaciones en este tema han conducido al desarrollo de una herramienta sistemática y potente para el desarrollo de un entendimiento total del proceso y explotar así sus posibilidades de integración.

Por lo que se puede concluir que la integración de masas facilita un entendimiento global de los fluidos de masa dentro del proceso, guía además al ingeniero químico a través de la complejidad de este y le permite extender el alcance de cualquier actividad de desarrollo de proceso (Hamad, Varma y Krishnagopalan, 1998).

En particular la fortaleza del concepto de síntesis e integración de procesos es que ha sido desarrollado para lograr:

- Proporcionar una visión general de todos los flujos de residuales en la planta( en lugar de analizar por separado el flujo residual generado en cada equipo en particular.
- Estudiar las tecnologías que pueden ser utilizadas en la recuperación de residuales.
- Identificar los objetivos de eficiencia tales como el mínimo y extensión máxima de la integración del proceso.

Para utilizar este concepto, el diseñador debe tener la capacidad de valorar los escenarios que existen para lograr la tarea objetivo (en nuestro caso la reducción de residual.

Algunas de las técnicas de integración de procesos desde la masa que han sido implementadas en diferentes procesos son:

Diagrama fuente/sumidero: Herramienta gráfica de fácil aplicación que permite determinar las oportunidades de reciclado mezclado e intersección dentro de un proceso determinado. Unida a ella debe desarrollarse el diagrama de ruta del elemento de análisis, con lo cual se podrá valorar la influencia del reciclado y mezclado de las corrientes del proceso. (Parthasarath y Krishnagopalan, 2000).

Redes de intercambio de masa(RIM): Este procedimiento, cuya aplicación se ha extendido a la prevención de la contaminación, es una extensión del análisis PINCH en transferencia de calor. El primer reporte que incluye la similitud entre el análisis PINCH en transferencia de masa y de calor fue desarrollado en 1989 por El-Hawagi y Manousiousthakis(El-Halwagi y Manousiousthakis, 1989).

A partir de ese momento se han publicado varios artículos sobre la extensión del PINCH en transferencia de masa y su aplicación en el tratamiento de residuales. En resumen podemos plantear que las redes de intercambiadores de masa es un procedimiento para la generación de una red de intercambiadores de masa con un costo aceptable. La tarea de las RIM es determinar el tipo, número, tamaño y unidades de interconexión que optimicen la transferencia de masa (Wilson y Manousiousthaki, 1997; El-Halwagi, 2000).

Varios autores han hecho referencia a la importancia de la selección adecuada de agentes separadores de masa. Es conocido que en una operación de separación, el grado de separación estará influenciado por una correcta selección del agente de separación, además para una misma tarea de separación se pueden usar diferentes agentes separadores, por lo que seleccionar el más efectivo es de vital importancia (Srinivas, 1996; Tripath, 1996; El-Halwagi y Spriggs, 1998).

Síntesis de redes de reacción: Para un mecanismo de reacción dado, esta síntesis identifica una red de reactores, las cuales transforman las materias primas en productos. Cuando en la reacción se producen productos intermedios, las síntesis tienen un efecto significativo en la reducción de los residuales.

A través de los principios que rigen el diseño de estas redes de procesos integrados se han desarrollado otras herramientas para su aplicación a diferentes procesos como por ejemplo:

- Redes de intercambio de masa con reacción.
- Combinación de redes de intercambio de masa con reacción y redes de intercambio de energía.
- Redes de separación de energía inducida.
- Redes de separación de calor inducido (Grossmann y Hashemi-Ahmady, 1997; El-Halwagi y Srinivas, 1997; Spriggs y El-Halwagi, 1997)

Como se ha visto la metodología de las dos primeras herramientas que mencionamos involucran el uso de equipos de contacto directo, sin embargo esta metodología incluye contacto con los agentes separadores de masa que reaccionan con los constituyentes residuales. En muchos casos esta reacción puede convertir al residual en un componente reusable o vendible.

Diremos que este patrón de metodología es implantado al realizarse un proyecto en el laboratorio de diversificación energética en Canadá por el CDRL, donde se vio que la integración de procesos usa avanzadas herramientas analíticas para identificar oportunidades en pos de reducir los consumos de agua y energía lo que se traduce en un menor costo y salvar utilidades (electricidad, vapor, etc.). Este proyecto permitió ver la integración del proceso global viendo la interacción entre las partes en aras de su integración, y se enfoca en lo anterior principalmente por encima de las operaciones individuales. La integración de procesos opera específicamente con el proceso de análisis teniendo en cuenta calidad, desarrollo y retorno en los parámetros investigados todo esto sin que sufra alteración el proceso.

Para estudiar el proceso de integración se deben tener en cuenta los siguientes principios:

1. Adquisición de una data y desarrollo de un modelo de simulación.
2. Identificación de las oportunidades de reflujos de agua.

3. Evaluación de la integración de agua y energía.
4. Análisis y simulación del proyecto identificado con el estudio ya realizado.
5. Evaluación económica del proyecto.

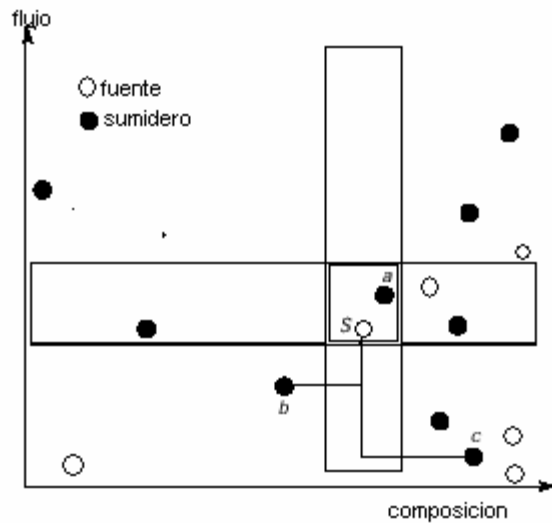
Para la adquisición de los datos y simulación del papel debemos analizar el diagrama de flujo, el cual está asociado a los balances de masa que se desarrollaron durante el estudio del proceso y de ahí obtuvimos los datos, los cuales aparecen al estudiar las distintas operaciones, desde el hidrapulper, pasando por la mesa formadora hasta obtener el papel ya seco con el consecuente vertimiento de un volumen de agua considerable a la zanja y con estos datos simulamos el proceso tal y cual se nos presenta. (Leroy y Legault, 2000).

Como expresamos anteriormente tendremos para nuestro trabajo como herramientas fundamentales, el diagrama fluido/sumidero, diagrama de ruta, redes de intercambio de masa entre otras, ahora daremos un pequeño bosquejo de cómo los dos diagramas pueden servirnos de elementos de visualización.

El mapa del diagrama es una herramienta de visualización que permite que el reciclaje pueda ser usado directamente. El diagrama puede ser construido teniendo como dato los flujos que participan en la etapa sometida a estudio (eje y), donde cada flujo que entra a la etapa se moverá dentro de un rango, y la composición que entra con cada flujo involucrado en la etapa se moverá también en un rango y se sitúa en el eje de las x; si al plotear los puntos dos o más puntos quedan encerrados dentro de un mismo cuadrante se podrá recircular directamente el flujo enmarcado en el cuadrante. Los puntos que queden fuera de los cuadrantes no podrán ser reciclados y por tanto serán vertidos o tratados.

Un ejemplo de cómo queda un mapa del diagrama es mostrado en la figura 1.3

Figura 1.3 Diagrama típico fuente - sumidero



Los puntos de color negro reflejan los sumideros y los blancos las fuentes, los puntos a y s que aparecen encerrados en el mismo cuadrante nos da la medida de que en esa etapa puede ocurrir un reciclaje directo; y en los puntos b y c que están comprendidos en otra etapa del proceso ocurrirán un refluo indirecto.

## 1.2 Equipamiento para la recuperación de agua y fibra

### 1.2.1 Recuperación de fibra y limpieza de agua

De acuerdo con el título, se debe hacer una distinción clara entre estos dos términos: la recuperación de materiales fibrosos y finos para ser recirculados dentro de los circuitos de pasta por un lado y la limpieza del agua blanca para su reuso y reposición de agua fresca. Además, no podemos dejar pasar por alto la importancia que tiene el proceso de recuperación de fibra en la obtención del agua clarificada reutilizable, pero para ello es necesario el uso de procedimientos y equipos adicionales para intensificar la limpieza del agua clarificada para:

- Usarla en la sustitución del agua fresca en la maquina de papel.
- Rebajar el circuito de sustancias disueltas y coloidales con alta demanda química de oxígeno.

Por lo tanto, toda la fibra y los finos recuperados por este tipo de proceso puede ser retornado al circuito nuevamente y los materiales separados deben ser descargados del sistema durante la limpieza para rebajar el contenido de sustancias detrimentos en el circuito.

## **Saveall**

Para la recuperación de fibra se utilizan tres procedimientos básicos: filtración, flotación y sedimentación.

### **Recuperación de fibra por filtración.**

La filtración es una tecnología ampliamente aceptada por su confiabilidad, pequeños volúmenes de agua, circuitos cortos de recuperación de fibra y por su fácil operación. Además, los costos de servicio son un poco más elevados que otros tipos de procedimientos debido a que requieren tubos cubiertos y por el mantenimiento de las partes móviles y su sellaje. Los dispositivos de filtración operan usualmente con buena eficiencia sin el uso de agentes químicos, pero para el mejoramiento en la retención de finos se puede utilizar la adición de floculantes.

Los filtros de discos son los mas utilizados y difundidos al relativamente pequeño tamaño requerido comparado con otras alternativas como lo es el filtro de tambor, lo cual reduce el factor de costo.

### **Recuperación de fibras por flotación.**

Durante los últimos años, la tecnología de flotación ha experimentado un renacimiento a través de la introducción del DAF (flotación por aire disuelto) o microflotación. La eficiencia de remoción fue significativamente mejorada por la utilización del aire saturado y por el diseño de unidades especiales de flujo para la generación de burbujas muy pequeñas. El nuevo proceso fue bien aceptado y rápidamente introducido. La microflotación se usa para rebajar la carga de los circuitos y para la post-limpieza de agua clarificada convencional.

### **Recuperación de fibra por sedimentación**

La sedimentación convencional es bien conocida como una operación factible y segura. Además, tiene un alto nivel de eficiencia en la limpieza de agua con pocas variaciones. Sus largos volúmenes con baja circulación favorece el crecimiento de microorganismos, siendo esta causa lo que ha provocado la disminución de su uso. También la tendencia reducida de fibra y finos a sedimentar debido al cambio al proceso neutral sin el uso de alúmina aceleró la reducción en la aplicación del proceso de sedimentación.

### **1.2.2 Métodos para la limpieza de agua**

La demanda de métodos económicos para mejorar la purificación del agua crece incesantemente. Para la realización de tan importante tarea se han desarrollado 2 soluciones, como lo son la microflotación y la filtración fina. Ambas están basadas en tecnologías convencionales pero a la vez constituyen innovaciones genuinas.

**Microflotación (DAF):** este término es utilizado para diferenciar o delimitar la versión convencional de la flotación por burbujas, en la cual se producen burbujas muy finas de aire las cuales asimilan pequeños flocos y precipitan productos. Para lograr este objetivo, un reactor es usado con una elevada presión, produciendo una homogenización del agua con un 70 – 90 % de aire saturado disuelto en el agua. Un criterio importante del proceso es la cantidad de aire que puede ser doblada. En el microflotador tipo "DELTAPURGE" aproximadamente de un 30 – 40 % del flujo de entrada es saturado con aire. Esto se lleva a cabo en el flujo de entrada o con agua clarificada recirculada en caso de que haya un alto contenido de fibras. Se requiere en caso de que se use agua clarificada recirculada de un correspondiente tanque de flotación de mayor tamaño.

Por lo que el verdadero uso de la microflotación es para la limpieza del circuito, es decir, para reducción de componentes perturbantes en el agua blanca, principalmente en fábricas donde se produzca pulpa mecánica y en las de papel recuperado, por lo que en las plantas modernas la microflotación se debe dejar

de usar. Esta se usa para el tratamiento de agua residual proveniente de los residuales de la preparación de pasta y para tratar lodos.

Un objetivo futuro es la post-limpieza del agua clarificada que contenga alrededor o mas de 100 mg/l de sólidos suspendidos, la cual debe disminuir hasta cerca de 30 mg/l para el uso en áreas sensibles de la maquina de papel. Se conoce de plantas de plantas que utilizan para dicha función un filtro de disco para agua clarificada.

**Filtración fina:** La filtración fina en la forma de pequeñas unidades conectadas y equipadas con cables finos metálicos han sido usadas comúnmente por largo tiempo para la limpieza adicional del agua. En los últimos años la demanda de mayor capacidad de filtración fina para la post-limpieza de grandes flujos de agua clarificada y para la retención de fracciones de fibra y finos se ha incrementado El objetivo fundamental es el de reducir el contenido de sólidos en el agua blanca que contenga mas de 80 mg/l hasta valores menores a 30 mg/l, principalmente hasta 10 mg/l.

### **1.2.3 Tecnologías progresivas para mejorar la limpieza del agua**

Actualmente varios profesionales han desarrollado nuevas ideas y modelos computacionales para el sistema de cierre de circuitos de las fabricas de papel, estimulado por los procedimiento innovadores de limpieza de aguas. Entre las tecnologías que han surgido recientemente para mejorar la limpieza de aguas tenemos:

- Evaporación como una parte integrada del vapor generado por la planta.
- Filtración por membrana (principalmente ultrafiltración combinada con nanofiltración).
- Ozonización combinada con filtración fina o con biofiltración.

La evaporación podrá ser usada preferentemente para el tratamiento de aguas blancas altamente cargadas. Los residuales de este proceso pueden ser quemados sin problema alguno. El agua clarificada resultante de la evaporación es absolutamente limpia y no contiene ninguna sal. En la industria del papel es un proceso poco conocido debido a que su sea limitada solo para aplicaciones

particulares. Actualmente se conoce sobre dos tipos de procedimientos disponibles en el mercado, donde ambos tienen en común las pequeñas diferencias de temperatura.

Las compañías Hadwaco y Andritz se encargan de comercializar y desarrollar equipos de este tipo, los cuales se basan en dos métodos fundamentales: la compresión mecánica del vapor (MVR) y la evaporación secuencial. Este último método ofrece bajos costos de operación debido a que puede utilizar como fuente de energía el calor excedente proveniente del desfibrado de procesamiento de pasta. En ausencia de excedentes de calor se aplica la técnica de compresión mecánica del vapor que utiliza energía eléctrica.

En ambos casos se utilizan grandes superficies poliméricas de transferencia térmica, mediante las cuales las diferencias de temperatura pueden conservarse a muy bajo nivel. El Papel (2000).

#### **1.2.4 Selección de un equipo separador sólido – líquido.**

En la selección de un equipo que separe sólidos de un líquido (Perry, R, 1984), es importante tener presente las posibilidades y limitaciones de los dispositivos comerciales. Debido a la multiplicidad de tipos que existen en el mercado muchos son diseñados para ciertas aplicaciones específicas y no se pueden usar para satisfacer ciertas situaciones particulares sin fallo o interrupción. Los pasos generales para resolver un problema de separación son:

- 1- Definir el problema global.
- 2- Establecer las condiciones del proceso.
- 3- Hacer una selección preliminar.
- 4- Tomar muestras representativas.
- 5- Hacer pruebas simples.
- 6- Modificar condiciones del proceso si es necesario.
- 7- Consultar fabricantes de equipos.
- 8- Hacer la selección final.

### **1.3 Evaluación de tecnologías**

Es apreciable la cantidad de instalaciones de procesos químicos introducidos en el país a través de los diversos mecanismos de transferencia tecnológica, que han operado ineficientemente, desde el propio inicio de sus operaciones, con comportamientos anómalos y sin la adecuada proyección de las innovaciones tecnológicas. Esta situación es atribuible en un alto grado a una insuficiente información tecnológica previa y a la recepción y explotación de la tecnología sin una consecuente aplicación de herramientas ingenieriles, que integradas en un procedimiento, haga posible evaluar la tecnología.

Hernández (2004) reporta un procedimiento que contribuye al mejoramiento de la calidad del proceso inversionista en general con la determinación de las anomalías tecnológicas de las plantas y a la definición de las modificaciones necesarias a través de un análisis integral del proceso. En su conjunto constituye una útil herramienta para las entidades inversionistas y tomadores de decisiones, lo cual conduce a la minimización de los gastos en el ciclo de vida de las plantas y al incremento de la eficiencia de los procesos industriales.

La metodología general de Evaluación Tecnológica consta de las siguientes etapas:

1. Definición del problema: significa definir el contexto de la evaluación.
  - 1.1 Evaluación parcial: secciones, sistemas, líneas, equipos.
  - 1.2 Evaluación total: fábrica, planta, taller.
2. Caracterización de la industria y la tecnología.

Consiste en la recopilación de la información proveniente de:

  - 2.1 Documentación técnica: proyecto técnico de tecnología, proyecto mecánico, proyecto civil, etc., carta tecnológica, manual de operación.
  - 2.2 Reportes de operación. Incluye:
    - 2.2.1 Consumos de materias primas, productos auxiliares, servicios.
    - 2.2.2 Variables de operación.

- 2.2.3 Eficiencia o rendimiento.
- 2.3 Costos de producción y eficiencia económica.
- 2.4 Literatura, patentes, bases de datos y ofertas de tecnologías y equipos.
- 2.5 Estado técnico de los equipos.
- 2.6 Estudios e investigaciones en la industria.
- 2.7 Localización de modificaciones tecnológicas (innovaciones).
- 3. Análisis y procesamiento de la información obtenida en la caracterización de la industria y la tecnología.
- 4. Definición de las anomalías.
- 5. Determinación del origen de las anomalías.
- 6. Definición de las deficiencias tecnológicas asociadas al proceso inversionista.
- 7. Estimación de las pérdidas materiales y financieras.
- 8. Formulación de los aspectos a considerar de la evaluación.
- 9. Definición y aplicación de los métodos de la Ingeniería de Procesos: análisis e integración de procesos.
- 10. Propuesta de modificaciones y diseño.
- 11. Evaluación económica.
- 12. Análisis de los resultados y toma de decisiones.

Para que exista transferencia tecnológica, según Pavón (1997) tiene que existir un gradiente tecnológico entre los protagonistas de dicha transferencia. Este gradiente debe tener un valor suficiente para que el intercambio sea interés para las dos partes. Esta situación debe tenerse en cuenta por la empresa compradora de tecnología, ya que se tiende casi siempre a adquirir lo mejor disponible, siendo el resultado en la práctica, ineficaz su aplicación.

Frank y colaboradores (2000) definen básicamente la transferencia tecnológica como el “proceso mediante el cual la tecnología, el conocimiento, o la información desarrollada en una organización, en un área, o para un propósito se aplica o se usa en otra organización o área, o para otro propósito”. Estos autores señalan que los puntos de vista varían considerablemente en cuanto a lo

que constituye éxito en la transferencia tecnológica, teniendo en cuenta que algunos dicen que una transferencia es exitosa solo cuando esta se convierte en un producto o proceso rentable, mientras que otros manifiestan que una transferencia es exitosa cuando la tecnología al menos se analiza para un posible uso por otra persona u organización.

Los autores establecen tres dimensiones que se tienen en cuenta en la medición de la transferencia tecnológica: los mecanismos de transferencia tecnológica, el marco de tiempo en el cual ocurre la transferencia tecnológica, y el área de impacto (o resultados). La tercera dimensión en la medición de la transferencia tecnológica se refiere a la consideración de los impactos económicos, técnicos y sociales.

Aunque la dimensión de mayor interés para una gerencia es generalmente económica, considerando la inversión del usuario, las ventas de artículos fabricados o servicios del usuario, los ahorros del costo y los puestos de trabajo creados o suprimidos, los resultados técnicos también son importantes. Frecuentemente estos son incluso más importantes que los resultados económicos porque hacen posible una tecnología más efectiva o eficiente.

Los impactos técnicos se determinan más fácilmente porque estos se incluyen usualmente como una parte de los objetivos del proyecto y el grado relativo de mejoramiento o sustitución que se puede buscar, se puede describir y otorgársele un valor. Esta es una afirmación desde la perspectiva de suministrador de la tecnología, sin embargo, solo es posible obtener una medición real de los resultados técnicos y económicos de la transferencia mediante una evaluación “activa” de la tecnología desde el propio inicio del proceso inversionista por la entidad receptora.

Bosch (2000) establece que para transferir una tecnología debe tenerse presente la selección de la tecnología (mediante estudios internos y externos) y negociación de la compra (evaluación, estructura del contrato). En la selección debe identificarse a los proveedores, evaluar la capacidad de adaptación y de asimilación. El autor considera a la evaluación eficaz de la tecnología como una de las “estrategias de implantación de la tecnología”.

Un programa de transferencia de tecnología sería considerado eficaz cuando la brecha es mínima o no existe entre los impactos potenciales y reales de la tecnología. Esto significa que la supervisión de la adopción o adaptación de tecnologías es una parte íntegra del sistema de transferencia de la tecnología. Por consiguiente la transferencia de tecnología debe estar precedida y sucedida por la evaluación de tecnología, reafirmando que la transferencia y evaluación de tecnología son procesos complementarios. (FAO, 1996).

La FAO (1996) define la evaluación tecnológica para como un “método comprensivo para examinar el impacto real o potencial de las aplicaciones de la tecnología en ciertos problemas de la sustentabilidad”, es decir, se refieren a determinar la mejor opción tecnológica para un desarrollo sustentable.

Según el diccionario conceptual (2000), los términos Evaluación Tecnológica “se refieren a la evaluación, previa a la innovación, de las múltiples implicaciones de un desarrollo tecnológico, mas allá de la mera determinación de la factibilidad técnica y la rentabilidad, de modo que se maximice el bien común, y se minimicen los riesgos públicos.

Para los científicos de Argonne (2000) “la evaluación de tecnología es un proceso para analizar las varias opciones de tecnología existentes y nuevas y determinar la mejor aplicación de estas tecnologías a una situación particular.”

Frank y colaboradores (2000) definen básicamente la transferencia tecnológica como el “proceso mediante el cual la tecnología, el conocimiento, o la información desarrollada en una organización, en un área, o para un propósito se aplica o se usa en otra organización o área, o para otro propósito”. Estos autores señalan que los puntos de vista varían considerablemente en cuanto a lo que constituye éxito en la transferencia tecnológica, teniendo en cuenta que algunos dicen que una transferencia es exitosa solo cuando esta se convierte en un producto o proceso rentable, mientras que otros manifiestan que una transferencia es exitosa cuando la tecnología al menos se analiza para un posible uso por otra persona u organización.

Los autores establecen tres dimensiones que se tienen en cuenta en la medición de la transferencia tecnológica: los mecanismos de transferencia tecnológica, el

marco de tiempo en el cual ocurre la transferencia tecnológica, y el área de impacto (o resultados). La tercera dimensión en la medición de la transferencia tecnológica se refiere a la consideración de los impactos económicos, técnicos y sociales.

Aunque la dimensión de mayor interés para una gerencia es generalmente económica, considerando la inversión del usuario, las ventas de artículos fabricados o servicios del usuario, los ahorros del costo y los puestos de trabajo creados o suprimidos, los resultados técnicos también son importantes. Frecuentemente estos son incluso más importantes que los resultados económicos porque hacen posible una tecnología más efectiva o eficiente.

Los impactos técnicos se determinan más fácilmente porque estos se incluyen usualmente como una parte de los objetivos del proyecto y el grado relativo de mejoramiento o sustitución que se puede buscar, se puede describir y otorgársele un valor. Esta es una afirmación desde la perspectiva de suministrador de la tecnología, sin embargo, solo es posible obtener una medición real de los resultados técnicos y económicos de la transferencia mediante una evaluación “activa” de la tecnología desde el propio inicio del proceso inversionista por la entidad receptora.

Según la IATAFI (2001), un número creciente de institutos gubernamentales, educativos y de investigación en el mundo aplican la prospección y evaluación tecnológica a un rango diverso de problemas. Una decisión errónea en una fase crucial no sólo será perjudicial, sino que también puede tener efectos adversos y diversos en otros países. La evaluación de tecnología como base para una satisfactoria selección de tecnología, es crítica como herramienta para el esfuerzo de un país para lograr un desarrollo sustentable.

Varias de las concepciones expuestas sobre la Evaluación de Tecnologías, muestran una tendencia hacia la evaluación del potencial comercial de la tecnología, a la previsión de los desarrollos futuros de una región y a las consecuencias o efectos del uso de una tecnología, una vez que es generada para ser implementada por el receptor de dicha tecnología, más que a la

evaluación de los resultados tecnológicos, económicos, ambientales y sociales al ser implementada por el receptor de la tecnología.

Talbure (2002) considera que aunque en los últimos 20 años ha existido mucho progreso en el campo de la evaluación tecnológica, especialmente debido a varios estudios llevados a cabo en E.U., Japón, Alemania y otros países europeos, es una necesidad aún desarrollar métodos integrativos para la ET y expresa que esta es para los ingenieros, una herramienta para operacionalizar el concepto ideal de desarrollo sustentable.

La autora define que la evaluación tecnológica significa el proceso metodológico, sistemático y organizado de:

- análisis de una tecnología y sus posibilidades de desarrollo,
- evaluación de los impactos técnicos directos e indirectos, de salud, ecológicos, humanos, sociales y otros de la tecnología y alternativas posibles,
- enjuiciamiento de los impactos de acuerdo a objetivos y valores definidos y demandar también ulteriores desarrollos tecnológicos,
- deducción de posibilidades para la acción y el diseño a partir de la tecnología.

Define cuatro fases para la evaluación tecnológica, que a su juicio son:

- Definición y estructuración del problema.
- Análisis de impacto.
- Evaluación.
- Toma de decisiones.

### **1.3.2 Simulación del proceso.**

Para empezar un estudio de optimización, la primera etapa debería ser el desarrollo de una simulación del proceso (Labidi, 1999, 2001). La simulación tiene muchas ventajas y puede servir para:

- Determinar el balance de energía y materia del proceso.
- Identificar y entender los efectos de los diferentes parámetros que intervienen en el proceso.

- Evaluar cualquier modificación del proceso antes de su implantación que permite un ahorro de tiempo, pruebas y dinero invertido.
- Formar al personal que trabaja en las papeleras. La simulación da una visión global que permite comprender el funcionamiento del proceso
- Ayudar a la dirección de la empresa en la toma de decisiones estratégicas de ampliación y de modernización de equipos o aplicación de nuevas tecnologías.
- Planificación de la producción tanto más importante cuando más amplia sea la gama de productos

#### Metodología para desarrollar una simulación

El desarrollo de una simulación útil obedece a un número de reglas que debe seguir el ingeniero para alcanzar el objetivo perseguido. Estas reglas se resumen en:

Una definición clara del objetivo perseguido que condiciona el resto de las reglas.

- Tener un esquema más o menos detallado del proceso que puede ser reproducido en la simulación
- La elección del programa que será utilizado para desarrollar la simulación. Actualmente existen un gran número de programas de simulación que se podrían dividir en dos categorías:
  - Simuladores estáticos: Excel, Wingems[3], Massbal[4] ...
  - Simuladores dinámicos: Cadsim Plus[5], Massbal, Wingems (simulador pseudo-dinámico).

Una simulación estática es más fácil de establecer y puede ser suficiente para un análisis de objetivos limitados. Este tipo de simulación no tiene en cuenta los comportamientos transitorios y fenómenos dinámicos que a menudo son dominantes en los procesos de fabricación de papel y por consiguiente, cruciales para una representación exacta del proceso y para un análisis fiable. Una simulación estática conlleva numerosas simplificaciones que pueden conducir a inexactitudes o errores. Por esta razón la simulación dinámica es más adecuada para el diseño de equipos, y el control y optimización de papeleras.

Detrás de cada programa de simulación hay un programa informático que traduce los modelos de las operaciones del proceso en un sistema de ecuaciones algebraicas y resuelve el sistema, llamado solver.

## **Capítulo 2 Aplicación de la metodología general de evaluación tecnológica**

### **2.1 Caracterización general de la fábrica**

La empresa papelera "Pulpa Cuba" se encuentra situada en el Km 15 ½ carretera Trinidad, municipio de Trinidad, provincia de Sancti Spiritus. Perteneciente al ministerio de la industria básica, la mencionada instalación industrial realiza la elaboración de papel de varios tipos a partir de recorte OCC, desperdicios reciclados y materia prima, los cuales son importados de República Dominicana y también de origen nacional, el DKL constituido por recortes de cajas de las corrugadoras de Santiago de Cuba y La Habana, pulpa de madera procedente de Canadá y Rusia; así como el AKD producto encolante de naturaleza neutra o alcalina procedente de México. Por lo que se obtiene como producto final bovinas de papel de varios tipos; entre los que se encuentran: Liner 127- 200 g/m<sup>2</sup>, papel de 85 g/m<sup>2</sup> de envoltura y cartulina de 230 g/m<sup>2</sup>.

Estas producciones son vendidas a diferentes organismos, entre los que se encuentran: MINFAR, Talleres de Confección, Poligráficos, Pesca, Servicios Necrológicos, constituyendo estos a su vez los principales clientes de dicha empresa papelera.

El área ocupada por la instalaciones de la empresa alcanza una extensión territorial de 1 200 m<sup>2</sup>, dentro de la misma se encuentran: planta eléctrica, edificio administrativo, talleres, cocina comedor, almacén de víveres, salas de calderas, taller de papel, almacén de productos terminados, carpintería, taller automotor, puesto medico, garita CVP, un tanque almacén y dos tanques cisternas de ferrocarril para almacenar fuel oil.

## **2.2 Estado técnico de los equipos. Principales dificultades tecnológicas en las diferentes secciones de la planta.**

**Línea de Preparación de Pasta:** El estado técnico de los equipos fundamentales que componen la línea es crítico, por cuanto, los equipos en un 80 % de tecnología soviética de los años 80 se encontraban diseñados para el procesamiento de maculatura, es decir, para procesar materias primas similares, prácticamente al DKL que actualmente se recibe de República Dominicana y de otros países del Caribe. No obstante, todo lo anteriormente expuesto a partir de los años 92-93 la fábrica al perder el suministro estable de estas materias primas, sumado al incremento de los precios de la pulpa de madera Kraft que constituía el 40 % de estas materias primas la fabrica se vio en la necesidad de continuar produciendo Liner, pero con materias primas altamente contaminadas, lo cual trajo consigo la necesidad de hacer algunas variaciones en el diseño de los equipos que teníamos instalados buscando lograr acercarnos al restablecimiento de un 70-80 % de la capacidad de los mismos.

Dentro de las variaciones más notables y que afectan el correcto funcionamiento de la línea tenemos el haber incrementado los orificios de las placas perforadas del Pulper de 8 mm de diámetro a 25-30 mm.

La otra situación que mantenemos como una condición anormal y que afecta al resto de todos los equipos que intervienen en la línea es el hecho de trabajar con consistencias extremadamente bajas, las cuales oscilan aproximadamente entre 1 y 1.5 %, situación que entre otros daños hace que los depuradores y molinos pulsativos prácticamente no realicen su función de diseño del rompimiento de grumos, situación que se refleja directamente en las pérdidas de fibras en coladores rotatorios. Señalamos además que al trabajar a bajas consistencias se intensifica el desgaste precoz de estos equipos, incluyendo a los equipos e bombeo que intervienen en la línea.

La baja capacidad de esta línea esta dada por la lenta velocidad de desfibrado, la cual se acentúa aun mas al no contar con espesadores adecuados, manejando por esta causa grandes volúmenes de agua que limitan la capacidad de

almacenaje. El sistema de depuración resulta altamente ineficiente, pues las placas filtrantes del único colador tienen orificios próximos a los 4 mm.

Un aumento de capacidad en el pulper por encima de las 90 Tm/d limitaría el flujo de alta consistencia a la torre, pues su diseño para ese grado de refinado (13- 17 °SR ) es como máximo de 80 – 85 Tm/d con malla de tejido plano de 18x24. Un cambio para un mesh mas pequeño 14x14 incrementaría considerablemente las perdidas, igualmente ocurre con las bombas que alimentan la pulpa a los coladores.

**Sección de refinado:** Esta sección cuenta con tres molinos MD-14 de tecnología soviética instalados en el año 1989, en sustitución de los antiguos molinos cónicos JORDAN'S los cuales trabajan de manera satisfactoria, así como con dos molinos del tipo DOUBLE-D con más de 40 años de explotación y con un sinnúmero de intervenciones de mantenimiento los cuales desde el punto de vista mecánico y tecnológico están totalmente obsoletos. El excesivo desgaste en los alojamientos del rotor, y superficie de asentamiento o alojamiento de las guarniciones de molidas provocan la falta de paralelismo en estos elementos situación que afecta directamente en el grado de molidas esperado. Debemos reflejar que la carencia de una buena depuración antes del proceso de refinado permite el paso de gran cantidad de impurezas abrasivas altamente perjudicial para la geometría de las guarniciones de los refinadores haciendo ineficiente el trabajo de los mismos.

**Sección húmeda:** Esta sección cuenta con una caja cabecera de tipo abierta, y el fourdrinier. Además de contar con las deficiencias de formación provocadas por tener una caja cabecera de tipo abierta y elementos desgotadores obsoletos, en la actualidad trabajamos con una malla de tres capas con más de un año de trabajo la cual impide trabajar en función de mejoras de formación en la búsqueda de propiedades interna por cuanto su drenaje es prácticamente cero.

**Sección de prensas:** Esta sección cuenta con dos prensas de succión inferiores recientemente renovadas, las cuales han incrementado la sequedad de salida de

esta sección de un 35 % a un 41.5 %, contribuyendo al ahorro en el consumo de vapor en la sección de secado.

**Sección de secaje:** Cuenta mecánicamente con cuatro secciones, las cuales poseen algunas dificultades en lo referente a transmisión dadas principalmente por exceso de holguras o ajustes en los dentados, algunos desajustes de coronas secadoras en sus guijos, desgaste en algunos rodamientos de estas propias coronas, así como desajustes en pasadores coronas locas y tapas coronas diferenciales. Debemos reflejar además que en lo referente a las tuberías de vapor y condensado presentamos serias dificultades con válvulas y accesorios de tuberías incluyendo las juntas rotatorias de vapor, las cuales son prácticamente recuperadas en talleres de planta mecánica Villa Clara donde la diferencia en los materiales utilizados en su recuperación traen consigo disminución de la vida útil de sus partes y piezas con las consiguientes intervenciones más frecuentes de mantenimiento.

Podemos señalar que dentro de las deficiencias del secaje se encuentran: Variaciones continuas del peso básico, calibre y velocidad unido a la falta de un registrador de perfil de temperatura. Por lo que en ocasiones de 41 tambores secadoras con que cuenta el sistema llegamos a tener hasta el 50% de las mismas fuera de servicio.

**Sistema de condensado:** A pesar de tener algunas dificultades en tuberías y algunos accesorios el sistema trabaja sin muchas dificultades con excepción de la falta del condensador del separador #3 y la instalación de la bomba de vacío de los gases incondensables del sistema que fue puesta fuera de servicio en los años 70.

**Calandria y reel:** No presentan grandes dificultades excepto el exceso de longitud que existe entre ellas. Situación que está presente desde la arrancada de esta Fábrica.

**Bobinadora:** No presenta grandes dificultades en la parte mecánica, no así en la parte eléctrica por cuanto contamos con un sistema eléctrico de control Wall

Leonard con más de 40 años de explotación con el cual en ocasiones no se logra alcanzar una correcta calidad del bobinado.

**Descensor de bobinas:** Este equipo posee un estado técnico crítico dado por el desgaste del conjunto de transmisiones por cadenas, así como de los puntos de apoyo de las mismas y otras partes integras de la estructura que conforman el equipo que a pesar de los esfuerzos por lograr mejoras dañan en ocasiones el producto terminado.

**Sistema de tuberías de pulpa y agua:** Un 50% de estas redes de tuberías y accesorios con más de 40 años de explotación poseen un elevado grado de deterioro lo que provoca averías y fugas, principalmente en el proceso de arrancada.

**Sistema de bombeo de pulpa:** A pesar de haberse efectuado algunas renovaciones continuas en este sistema aun persisten equipos con dificultades y sobre todo sin repuesto alguno, tales como: bomba deculator #2, bomba 535, bombas cajas de vacío, entre otras.

**Turbo de 1200 HP:** Este turbo que es el encargado del accionamiento del generador y excitatriz principal para la corriente directa de los motores sincrónicos del mando seccionado de la maquina de papel. Debemos denotar que con los frecuentes mantenimientos que se le aplicaron a este equipo por averías en la mayoría de los casos durante mas de 40 años dados por la carencia de protección de diseño en el sistema de lubricación a los puntos de apoyo del rotor y del reductor han provocado daños irreversibles en este importante equipo, que unido a un sistema de regulación o gobierno del mismo con exclusividad en su diseño, y, por ende, sin piezas de repuesto, provoca en reiteradas ocasiones variaciones de velocidad, lo que trae aparejado partiduras del papel en el rolo couch, prensas, secciones y calandria (ineficiencia tecnológica, deterioro de los índices de consumo de fuel oil y electricidad).

**Control de peso básico y humedad:** La inexistencia de un control de peso básico y humedad en el proceso hacen que estos parámetros sean regulados con autopsia final del producto, situación que retarda la actuación sobre el proceso con la consiguiente afectación del índice de calidad en un por ciento en ocasiones elevado. Debemos reflejar que contamos con un regulador de peso básico con mas de 40 años de trabajo y con diferentes adaptaciones mecánicas para lograr que trabaje lo mas correctamente posible.

**Bascula maquina de papel:** Adquirida en los años 70 de tecnología Checoslovaca presenta serias dificultades en el mantenimiento de la calibración que con frecuencia se le efectúa por tener fieles de la plataforma de pesaje algunos recuperados a través de soldaduras, además de tener limitaciones en la actualidad con el ancho de la plataforma en el pesaje de bobinas con trimajes superiores a al medida 210. En más de una ocasión se ha detectado diferencias notables en peso.

**Planta de fuerza:** Aquí se incluye la estación de bombeo, tratamiento externo, así como los equipos que intervienen en el ciclo de generación de vapor y electricidad. De las dos bombas de poso profundo con que contamos, una se encuentra en un estado realmente crítico dado fundamentalmente por encontrarse con una adaptación en su columna de un sistema de lubricación por aceite a lubricación por agua, lo cual exige mantenimientos frecuentes, así como fallas imprevistas. Además, debemos resaltar que ambas bombas poseen motores con más de 40 años de explotación.

**Conductora de agua:** La conductora de agua de la estación de bombeo a la planta de tratamiento externo de aproximadamente dos Km de longitud y de tipo bajo superficie (soterrada) con varios años de explotación presenta en varios tramos salideros prácticamente imposibles de solucionar con soldaduras debido a que el espesor de las paredes de la tubería es muy pequeño.

**Planta de tratamiento externo de agua:** La planta de tratamiento externo de agua posee altos niveles de corrosión, principalmente en la campana interior del tanque principal, al igual que en sus canales distribuidoras y equipos de dosificación de alúmina y cal.

**Torre de enfriamiento:** Presenta serias dificultades de manera general, dentro de las cuales detallamos el deterioro de sus componentes internos, tales como: tuberías distribuidoras, relleno, deflectores, así como la carencia de extractores para una de sus torres. Debemos destacar además la presencia de daños ocasionados por la corrosión de tuberías de aguas de circulación hacia la misma, apreciándose de igual manera la corrosión microbacteriana en las estructuras y en el foso de hormigón armado que sustentan la instalación.

## **2.3 Impacto Ambiental de la instalación**

### **2.3.1 Principales focos contaminantes.**

Se definieron como los principales focos contaminantes los siguientes:

- 1- Emisión de residuales líquidos producto de los desechos de pulpa en la fabricación de papel, los cuales son vertidos por tres lugares del proceso productivo: salida del depurador de alta densidad, filtros rotatorios y la suma de todas las fugas de la maquina de papel.
- 2- Emisión de ruidos que se localizan fundamentalmente en la bobinadora, plataforma de bajos de la maquina y los compresores.
- 3- Salideros de agua y combustible durante el proceso de producción.
- 4- Emisión a la atmósfera de gases de la combustión de las calderas de vapor.
- 5- Consumo humano de agua no potable.

### **2.3.2 Caracterización del agua utilizada en la fábrica.**

La empresa recibe el agua del río de Ay, el cual según estudio realizados, los valores de turbiedad están por encima de lo normado ( $< 1\text{mg/l}$  de caolín). Teniendo picos en épocas de lluvias de hasta  $160\text{ mg/l}$  de caolín. Esto hace que dicha agua no sea potable y cuando la turbidez es muy alta puede afectar la calidad del papel producido.

Esta agua tiene diferentes usos como son:

- Fabricación de papel.
- Agua de calderas.
- Agua de consumo humano dentro de la fábrica.
- Abastecimiento para el consumo de la población aledaña y centros educacionales.

Anteriormente esta agua pasaba por una planta potabilizadora donde se le realizaba el proceso de coagulación y cloración, lo cual fue suspendido por la inexistencia de materias primas y por el posterior deterioro de la instalación.

En sentido general se considera que la empresa posee sobreconsumos de agua dados por las siguientes razones:

- 1- El método de pago por unidad de producción y no por consumo real no incentiva el ahorro de la misma, lo que hace que no haya un seguimiento de dichos consumos reales a pesar de la inexistencia de flujómetros.

2 –Se detectaron varios salideros de agua, tanto en el proceso de fabricación como en las calderas.

3- La vinculación de consumos de aguas no asociados a la producción, tales como el poblado, escuelas, etc., hace que sea difícil y antieconómico el control de la cantidad de la misma.

4- Existe poca cultura de agua entre los operadores que pueden influir en ello.

5- La tecnología empleada no se encuentra actualizada en los últimos adelantos científicos que permiten el ahorro del preciado líquido.

6- La calidad de la materia prima, con su alto por ciento de impurezas unido al atraso tecnológico del hidrapulper, hace que este tenga que ser lavado con frecuencia, aumentando el consumo de agua.

### **2.3.3 Residuales líquidos.**

Los residuales líquidos emitidos en el proceso productivo y que afectan al medio ambiente son las aguas vertidas por los distintos puntos del proceso (definidos anteriormente) y que contienen principalmente un alto por ciento de sólidos. Esta establecida la realización de monitoreos de las aguas residuales en el canal general por parte del laboratorio químico en la fabrica, los cuales deben realizarse con una frecuencia de 2 veces a la semana durante la etapa productiva. Este sistema se ve afectado en muchas ocasiones por la inestabilidad de la producción. En relación con estos controles por parte de la fábrica podemos decir que se presentan las siguientes dificultades:

1- Se monitorearon hasta el año 2002 los sólidos en suspensión y la norma especial (NC) esta en función de los sólidos sedimentables, lo que no aporta valores significativos.

2- Los sólidos en suspensión son comparados con recomendaciones realizadas por un instituto Sueco en 1980, donde se plantea que el cuerpo receptor es capaz de admitir hasta 200 mg/l de sólidos en suspensión.

3- Como no se miden los consumos de aguas es imposible conocer el valor real de los sólidos sedimentales por tonelada de papel producido.

En los meses de noviembre y diciembre del año 2001 se realizó una caracterización de las aguas residuales vertidas en distintos puntos del proceso productivo, dichos resultados se encuentran tabulados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Caracterización de las aguas residuales papelera” Pulpa Cuba”

<b>Parámetro Medido</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>	<b>Punto 4</b>	<b>Punto 5</b>	<b>NC</b>
<b>Ph</b>	7.3	7.36	7.78	7.34	7.11	6 - 9
<b>Sólidos Totales Suspendidos (mg/l)</b>	400.0	39.10	927.78	4548.61	643.08	ausente
<b>DQO (mg/l)</b>	501.53	131.8	39.53	1193.63	310.03	120
<b>DBO ( mg/l)</b>	43.0	33.33	45.0	70.0	72.0	60
<b>Sólidos Sedimentables (ml/l)</b>	25.0	1.33	116.6	229.33	33.33	5

Punto #1: A la salida de la planta de papel.

Punto #2: A la salida del canal de limpieza.

Punto #3: A la salida del colador.

Punto #4: A la salida del depurador.

Punto #5: A la salida del canal general.

Analizando las variaciones de ph se observa que el mismo es neutro y se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma, por lo que no varía las características del cuerpo receptor, resultado que era esperado al no utilizarse dentro del proceso agentes químicos.

Según pudo comprobarse por el análisis de las muestras, la DQO en casi todos los puntos de vertimiento de residual se encuentran fuera de la norma presentando valores elevados. El residual que más apporto con respecto a este

parámetro fue el correspondiente a la salida del filtro electroestático, donde se supone que este parámetro no debe tener problemas pero por el mal funcionamiento y mala operación de los operarios.

Con respecto a la DBO<sub>5</sub> los valores más elevados se registran en el canal general y en el punto medido a la salida del filtro electroestático por las mismas razones que la DQO.

Se observa que los valores de los parámetros medidos en el canal general se encuentran fuera de norma excepto el ph, cuestión esta que es preocupante si consideramos que estos son los niveles de contaminación que se aportan al cuerpo receptor con las consecuencias que trae para el mismo.

En el mes de abril del 2002 se realizó la caracterización de los residuales de la fábrica tomando las muestras de agua también en el canal general, cuyos resultados se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Caracterización de las aguas residuales

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>
Ph	7.37
DQO (mg/l)	280
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	108
Sólidos Sedimentables (ml/l)	100
Sólidos Suspendidos (mg/l)	14.71

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este análisis es evidente que excepto el Ph el resto de los parámetros medidos se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para la descarga de estos residuales en el cuerpo receptor.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la caracterización realizada en mayo y junio del año 2003 producto de los muestreos realizados en el canal general de la fábrica a la salida de la misma (punto#1) y en el punto de vertimiento al río Agabama (punto#2).

Tabla 2.3 Características de las aguas residuales año 2003

<b>Características de las aguas residuales año 2003</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Punto#1</b>	<b>Punto#2</b>	<b>NC”A”</b>
<b>Ph</b>	7.4	7.4	6.5 – 8.5
<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/l)</b>	405	312	-
<b>Sólidos Totales Suspendidos (mg/l)</b>	682	24.12	-
<b>Sólidos Sedimentables (ml/l)</b>	60	< 0.5	1
<b>DQO (mg/l)</b>	103.08	51.54	70
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	49.6	24.0	30
<b>O<sub>2</sub> Disuelto (mg/l)</b>	0.62	0.75	-
<b>Conductividad Eléctrica (µS/cm)</b>	519	505	1400

El análisis de las aguas residuales en el punto de vertimiento al cuerpo receptor no tiene precedentes, por ello no puede realizarse una comparación con similares. De cualquier forma, es evidente (comparando los resultados con los del canal general) que existe una degradación del residual en su recorrido hacia el río Agabama, todos los parámetros medidos muestran una disminución en sus valores, con excepción del oxígeno disuelto, que como es lógico debe aumentar. Es también evidente que los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales, aun en ríos de clasificación “A” (ríos, embalses y zonas hidrogeológicas) que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de agua situados en zonas priorizadas de conservación ecológica. Se realizó, además, una caracterización del cuerpo receptor (Río Agabama), aguas arriba (M1) y aguas abajo (M2) del punto de vertimiento de la fábrica. No se pudo realizar frente al lugar de vertimiento debido a que no se tenía acceso al mismo.

Tabla 2.4 Caracterización de las aguas río Agabama

<b>Caracterización de las aguas río Agabama</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>

<b>Ph</b>	8.3	8.0
<b>Sólidos totales disueltos (mg/l)</b>	295.8	309
<b>Sólidos Totales Suspendidos (mg/l)</b>	20.66	22.0
<b>Sólidos Sedimentables (ml/l)</b>	< 0.5	< 0.5
<b>DQO (mg/l)</b>	20.31	20.62
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	13.0	16.0
<b>O<sub>2</sub> Disuelto (mg/l)</b>	5.20	3.0
<b>Conductividad Eléctrica (µS/cm)</b>	493	515

Los resultados obtenidos en la tabla 2.4 muestran un aumento, no graseso, de los parámetros medidos aguas abajo del vertimiento de los residuales al río con respecto a los obtenidos aguas arriba. Estos demuestran que aunque no muy grande, la fábrica aporta una determinada carga contaminante al río Agabama. La cantidad de residuales vertidos depende de factores operacionales, influyendo en estos momentos en el por ciento de vertimiento las siguientes problemáticas:

1- Inexistencia de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos, los que son vertidos a un canal que en sus inicios se encuentra enchapado, pero que en su mayoría no lo está y que recorre una distancia aproximada de 3 Km, hasta incorporarse al río Agabama.

2- Es de destacar los siguientes problemas detectados en el recorrido del residual:

a) En los primeros 500 m de recorrido del residual se incorpora una corriente de residuales albañales provenientes de la comunidad aledaña.

b) Entre el kilómetro 2 y 3 los sólidos del residual han obstruido parte del canal, cambiando su curso y creando una capa de lodos que hace que el agua circule por debajo de la misma con menor velocidad y provocando su degradación, generándose malos olores en el posterior recorrido del mismo.

3- Al no estar la tecnología del hidrapulper acorde con el alto por ciento de impurezas de las materias primas existen frecuentemente tupidiones de este, lo que hace que aumenten las frecuencias de los lavados y la consiguiente incorporación de sólidos en el agua de salida.

4- Por la misma causa, las cuchillas de la cuba recolectora no cierran herméticamente por desajustes, lo que provoca el derrame indeseado de pulpa.

5- Los rebozos de los tanques de almacenamiento de pulpa se derraman por problemas operacionales.

Aunque existe algún control y cultura por parte de los operadores y supervisores del vertimiento de aguas residuales, pensamos que esta debe ser incrementada y mejorada. Oropesa (2003).

#### **2.4 Acciones desarrolladas para mitigar los impactos ambientales generados por la entidad.**

En los últimos tres años se han planificado acciones que contribuyen a la mitigación de los impactos ambientales ocasionados por la entidad, algunos de los cuales no se han desarrollado. En la tabla 2.5 que se muestra a continuación se relacionan las mismas acompañadas del financiamiento requerido para ello, así como de los impactos que cada una de ellas generan.

Tabla 2.5 Principales acciones para mitigar los impactos ambientales

<b>Acción</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Impactos que Ocasionan</b>
Modernización de la línea de preparación de pastas.	700 000 USD 20 000 MN	- Elevación de la eficiencia de la maquina de papel de un 62% a un 80%. - Disminución de los consumos energéticos. - Reducción de los costos del cartón al 12%.
Instalación de duchas de limpieza de paños húmedos.	10 000 USD	-Disminución de los consumos de vapor en un 6%

Instalación de agitadores en el foso de la couch.	2 000 MN	-Ahorro energético y de fibra equivalente a 18 000USD
Recubrimiento de los rolos de las prensas.	6 000 USD 5 000 MN	- Ahorro energético equivalente a 26 000 USD al año

<b>Acción</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Impactos que Ocasionan</b>
Sustitución de refinadores MD.	2 000 MN	- Disminución del consumo de electricidad de 443 MW/año equivalente a 24 300 USD/año.
Sustituir la tubería de refinado y parte húmeda.	50 000 USD 10 000 MN	- Ahorro energético equivalente a 13 800 USD al año.
Sustitución de los equipos de bombeo.	80 000 USD 10 000 MN	- Ahorro equivalente a 27 000 USD al año.
Instalación del control automático de las calderas de vapor.	60 000 USD	- Ahorro de 163 Ton/año de fuel oil equivalente a 21 300 USD al año.
Instalación de flujómetros de vapor, agua y fuel oil.	8 000 USD	- Ahorro energético de 28 000 USD al año.
Sustitución del turbo de 1200 HP	-	Ahorro energético equivalente a 35 000 USD anuales

Caracterización de los residuales líquidos de la industria.	800 MN	-
Puesta en operación de los metros de flujo de agua y realización de los estudios de redistribución de los mismos	500 MN	Ahorro de 1500 m <sup>3</sup> de agua diario con efecto de 10 000 USD anuales

De las acciones antes expuestas quedaron pendientes y se programaron para su realización las mostradas en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Acciones para mitigar el impacto ambiental hasta el año 2006

<b>Acción</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Impactos que Ocasionan</b>
Mejoras en el área de preparación de pastas.	3652 USD 1982 MN	- Disminución de las pérdidas de fibras en el colador.
Rehabilitación del área de prensas.	50 000 USD	- Disminución del consumo de vapor.
Puesta en explotación el sistema de atemperación para el secado de la maquina de papel.	-	- Uso racional y efectivo del vapor
Continuación del cierre de circuitos de aguas blancas.	-	- Disminución de los índices de consumo de agua. - Reducción de las pérdidas de fibra. - Disminución de las cargas contaminantes en las aguas residuales.

Mejoramiento del área de prensas.	6 000 MN	- Ahorro de fuel oil equivalente a 34 300 USD
Acondicionar el muro de contención del tanque de fuel oil.	15 000 USD 5 000 MN	-

<b>Acción</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Impactos que Ocasianan</b>
Instalación de agitadores en las cubas..	3200 USD 4000 MN	- Ahorro equivalente a 60 400 USD.
Instalación de flujómetros de agua, vapor y petróleo.	21 000 USD 3 000 MN	- Optimización del consumo de agua, vapor y petróleo.
Insulación de los tramos de tuberías sin recubrir, así como la corrección de los escapes de vapor, agua y aire..	-	- Disminución de los consumos de agua, vapor y aire.

## 2.5 Materiales y métodos para la caracterización de las corrientes residuales

### 2.5.1. Determinación de la consistencia

#### Términos y definiciones

% de consistencia: cantidad de sólidos secos contenidos en 100 ml de suspensión acuosa.

#### Determinación de la consistencia para valores entre 1% al 3.5%.

- Se homogenizan las muestras mezclándolas varias veces.
- Se vierten 100 ml en el recipiente de enrase y se diluye a 1 000 ml en la probeta graduada, agitando nuevamente comprobando que las fibras estén separadas y libres de grumos.
- Se vierte inmediatamente la suspensión dentro de la cámara de drenaje del aparato Shoper- Riegler con la válvula de obstrucción en posición cerrada.
- Se coloca la probeta debajo del orificio lateral y se levanta la válvula 5 segundos después que toda la suspensión haya sido añadida.
- Cuando cese el drenaje por el orificio lateral y se levante la válvula, se lee en la probeta graduada el valor en °SR en cifras enteras (A). Esta lectura se reserva para la determinación del grado de molienda si la consistencia (peso seco) está en el rango comprendido entre 1.8 y 2.2.
- Se coloca cuidadosamente la pieza de fieltro sobre la torta fibrosa.
- Se extrae el agua de la torta mediante las piezas de comprimir y se saca cuidadosamente la capa de fibra formada sobre la malla, la cual deberá salir adherida a la pieza de fieltro con la ayuda del aditamento de soplado.
- Se recoge cualquier partícula de fibra que quede en la cámara, se coloca la otra pieza del fieltro sobre la torta y se pasa varias veces el rodillo sobre ella.
- Se separan las piezas del fieltro de la torta y se lleva a la cámara de secado infra-rojo hasta sequedad, se recomienda de 15 a 20 minutos aproximadamente.
- Se coloca en una desecadora durante 5 minutos aproximadamente hasta que adquiera equilibrio con la atmósfera y se obtiene el peso seco en la balanza hasta 1.0 g. Este peso representa el % de materia seca o consistencia de la muestra.

### **Determinación de la consistencia para valores menores al 1%.**

Para este caso se toman 200 ml de la muestra (dos veces el recipiente de enrase de 100 ml y se procede como se especifica en la técnica anterior).

### **2.5.2 Determinación de la longitud de fibra por clasificación. Ensayo físico.**

Esta norma tiene como objetivo determinar la longitud de las fibras celulósicas mediante clasificación y es aplicable a todo tipo de pulpas cruda o blanqueadas cualquiera que sea el método empleado para su fabricación.

### **Fundamento del método**

El método se basa en la separación de las fibras de diferentes longitudes mediante el paso de una cantidad conocida de pulpa en suspensión diluida a través de mallas metálicas normalizadas de distintas aberturas, las cuales giran dentro de compartimientos con flujo de agua controlado.

### **Términos y definiciones**

La terminología empleada en este documento concuerda con la definida en NC 42-18 : 81 Papel y Cartón. Términos y definiciones.

### **Aparatos, utensilios y medios de medición**

- Clasificador de pulpa : Consiste en un recipiente semicircular dividido en cuatro compartimientos, dentro de cada uno de los cuales gira un tamiz circular de 330 mm de diámetro montado sobre un eje que rota aproximadamente a 48 RPM. Junto a cada tamiz se encuentra una pieza de bronce de forma anular lo cual facilita el sellaje entre las ranuras. Consta además de una junta de goma en forma de tubo colocada desde una pequeña canal, la cual completa el cierre hermético del recipiente. Cada compartimiento está equipado con un tubo para el drenado de las fibras clasificadas, el cual descarga en una bandeja situada en la parte inferior del aparato.

Posee una caja de nivel constante para el control del flujo de agua dentro del sistema, el cual debe llenarse y escurrir a una velocidad de 12.5 l/min. El aparato

está diseñado para operar con mallas de la siguiente numeración: 14, 30, 50 y 100 de la serie de Sieve.

- Balanza con sensibilidad de 0.01 gramos.
- Balanza técnica con sensibilidad de 0.1 gramos.
- Bomba de presión y vacío.
- Estufa eléctrica con temperatura controlada a 103.
- Cronómetro.
- Recipiente preferentemente de aluminio o polietileno de 4 litros de capacidad.
- Probeta graduada de 2 litros de capacidad.
- Frascos de pesar de forma baja de 30x70 mm.
- Embudo Buchner de 100 mm de diámetro.
- Desecadora de vidrio preparada con sílica gel o cloruro de calcio anhidro.
- Tamiz No 325 serie Sieve.
- Agitador de vidrio.
- Papel de filtro cualitativo de filtración rápida.

### **Preparación y comprobación de los aparatos y medios de medición.**

Debe asegurarse que el agua a utilizar debe estar libre de partículas en suspensión (turbidez) que pudieran influir en los resultados, por lo que tanto el aparato se mantiene con el agua en circulación y los drenajes abiertos haciendo que el agua fluya libremente hasta observar una transparencia aceptable.

Las mallas deberán estar limpias y libres de fibras o incrustaciones. La limpieza se llevara a cabo utilizando sustancias detergentes no corrosivas aplicadas con un cepillo suave de cerdas de nylon y abundante agua a presión.

El procedimiento se repetirá el número de veces necesario hasta garantizar una limpieza completa de las superficies de las mallas.

Nota : Para probar la efectividad de este equipo se inyecta colorante (anilina) al agua de entrada en el primer compartimiento, no debiendo quedar trazas del colorante en el primer compartimiento después de un minuto y en el ultimo después de cuatro minutos. Antes de comenzar cada ensayo se verifica y ajusta el flujo de agua a una velocidad de 12.5 l/min operando como sigue:

- Se colocan los 4 tapones metálicos que cierran la superficie exterior de cada compartimiento, así como también los 3 que sirven para evacuar los residuos de fibra que quedan entre las mallas y las divisiones de cada compartimiento después de efectuar el drenaje.

- Abrir la válvula que da acceso a la entrada de agua al sistema, la cual esta situada horizontalmente en la línea que alimenta la caja de nivel constante y permite que se llenen todos los compartimientos.

- Arrancar el motor.

- Mediante la válvula situada debajo de la caja de nivel regule el flujo de agua hasta obtener en la descarga del último compartimiento 12.5 l/min.

Coloque sobre la malla de cada tubo de drenaje un papel de filtro de filtración rápida de 85 mm, previamente secado durante 1 hora a 103 °C, colocado en una desecadora durante 10 minutos y tarado dentro de un frasco de pesar con tapa con precisión de 0.01 gramos, doblándolo convincentemente pero sin hacerle presión con los dedos.

- Sitúe una pieza de papel de filtro previamente identificada en una de sus bordes sobre la malla del tubo de drenaje y ajuste contra la junta de goma comprobando su hermeticidad.

Para recoger los finos que pasan a través de malla serie de Sieve No 100 se colocara un tamiz circular No 325 debajo del tubo de descarga final, moviéndolo ocasionalmente para facilitar el drenaje y evitar que se derrame.

### **Preparación del muestreo de ensayo.**

De la muestra obtenida según sección 5 tomar el aproximadamente el equivalente a 10 gramos de la muestra libre de humedad y disuelva en 100 – 200 ml de agua para garantizar una buena separación de las fibras (para el caso de suspensiones de pulpa, determínese la consistencia y en base al resultado obtenido tome un volumen que posea una masa equivalente a 10 gramos). Añada ocasionalmente volúmenes adicionales de agua y compruebe la dispersión de la suspensión fibrosa observando una pequeña porción a través de un tubo o utensilio de vidrio. Complete después a 4000 ml. Divida después en dos volúmenes iguales uno de

los cuales se usará para la clasificación y el otro filtrado en un embudo Buscner para usarlo como muestra de referencia.

### **Procedimientos**

El aparato estará preparado para operar manteniendo los requisitos establecidos en la sección 4.

La porción reservada para la clasificación se agita enérgicamente y se añade lentamente sin de dejar de agitar en la caja de entrada del primer compartimiento, tomando para esta operación 30 segundos.

Inmediatamente después golpee suavemente en intervalos los bordes del tamiz situado debajo de la descarga final par facilitar el drenaje del agua y evitar que se derrame. La clasificación se mantiene 4 segundos mas después de añadir toda la suspensión (tiempo total 4.5 minutos).

Después se cierra la válvula situada debajo de la caja de nivel constante y de la tubería de entrada, a continuación pare el motor. Después de medio minuto se liberan los cuatro tapones que cierran los compartimientos dejando que escurran libremente hasta que toda el agua pase a través de los papeles de filtro y se forme una capa fibrosa.

Se retiran los 3 tapones situados entre tamices y con auxilio de una manguera añada pequeñas porciones de agua haciendo que la pulpa remanente entre las juntas y las divisiones pasen al tubo de drenaje. Un examen visual revelará si todavía existen residuos de fibra. Enjuague el aparato y los tamices y ajuste un tubo de goma en cada uno de los orificios de los compartimientos y sople con aire a  $0.3 \text{ kgf/cm}^2$  para secar la tubería. Lleve la presión a  $0.7 - 1.0 \text{ kgf/cm}^2$  para aumentar la sequedad de la torta.

Saque con cuidado las mallas con la pulpa y doble el papel de filtro. Cerciórese que toda la pulpa fue colectada en el papel de filtro. La porción de finos que pasa a través de la ultima malla retenida sobre la malla No 325 se recoge cuantitativamente inclinando el tamiz y con ayuda de un frasco lavador o un chorro de agua suave y una espátula pasándola sin perdida al frasco pesado.

Las fracciones de todos los tamices se llevan a la estufa con temperatura controlada 0 103<sup>0</sup>C y se secan hasta peso constante (generalmente el periodo de secado se aproxima a 12-16 horas).

Filtre la otra porción de muestras en el embudo Buchner usando vacío y doble el papel de filtro con la pulpa con extremo cuidado.

Después del periodo de secado saque las muestras de la estufa, refresque en una desecadora y pese dentro de un frasco de pesada tarada con precisión de 0.01 gramos.

Determine el % en peso en cada compartimiento aplicando la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{A * 100}{B}$$

A : masa seca de cada compartimiento en gramos

B : Masa seca de la muestra referida filtrada en el embudo Buchner.

### **2.5.3 Separación de fibras por tamizado.**

#### **Técnica operatoria**

- Primeramente se limpia el tamiz vibrador plano de laboratorio tipo Valley con suficiente agua con la manguera de presión.
- Se toma un volumen de la muestra bien mezclada en un punto que sea representativo del proceso y en condiciones estables.
- El volumen de la muestra será suficiente para proporcionar no menos de 50 gramos de material aceptado seco a través del tamiz.
- Se deposita dentro de la caja y se añade agua suficiente de modo que se mantenga la suspensión lo mas diluida posible.
- Se arranca el motor y se continúa la adición de agua hasta que se observen fibras en el agua de descarga.
- Se recoge el aceptado en el tamiz receptor, el cual será lo suficiente fino para evitar perdidas y el rechazo encima de la placa ranurada.
- Se colocan ambos en recipientes metálicos y se secan en la estufa hasta peso constante (105± 5<sup>0</sup>C).

- Se colocan ambas fracciones rápidamente en una desecadora hasta que adquieran humedad estable.
- Se pesa en una alanza sensible hasta 0.01 gramos.

### **Cálculos**

$$\% \text{ Rechazos} = \frac{Ax100}{A + B}$$

A: Peso rechazos, gramos

B: Peso aceptados, gramos

## **2.5.4 Determinación de las cenizas para papel, cartón y cartulina.**

### **Terminología**

Ceniza: es el residuo que queda después de la combustión completa de una muestra a  $925 \pm 25^{\circ}\text{C}$  ( $1697 \pm 45^{\circ}\text{F}$ ).

### **Generalidades**

Las cenizas pueden consistir de:

- Diferentes residuos de productos químicos usados en la fabricación del papel.
- Materiales metálicos de las tuberías y maquinarias.
- Materiales de relleno, revestimiento y pigmentación.
- Por lo general, si el contenido de cenizas no excede del 1 al 2% es que no se ha añadido material de relleno, revestimiento o pigmentación; aunque los pigmentos y, especialmente los de titanio, son frecuentemente usados en muy poca cantidad.
- Cuando los materiales de relleno y revestimiento están presentes en la ceniza es un índice aproximado de la cantidad añadida.

### **Aparatos y materiales**

- Crisol: Se recomienda un crisol de platino o una capsula con tapa. Si se carece de crisol de platino se pueden utilizar crisoles de porcelana o sílica, siempre que hayan sido bien incinerados a  $925^{\circ}\text{C}$  o más, de modo que su peso no cambie la incineración.
- Balanza analítica: Tendrá una sensibilidad de 0.1 mg.
- Horno eléctrico: Preparado para mantener una temperatura de  $925 \pm 25^{\circ}\text{C}$ .

### **Ejemplar de ensayo**

- Se obtendrá una muestra representativa del papel, cartón o cartulina.
- La muestra para el ensayo consistirá en pequeñas piezas de papel que pesen lo suficiente para producir, como mínimo, 10 mg de cenizas.
- Los ensayos serán hechos, preferentemente, por duplicado.
- Si se desconoce el contenido de humedad del papel, se determinará secando a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  una muestra representativa hasta peso constante.

Esto puede hacerse en el mismo crisol previamente incinerado y pesado que se utilizara para reducir a cenizas el papel.

### **Procedimiento**

- El crisol se limpia cuidadosamente y después se incinera en un horno eléctrico a  $925 \pm 25^\circ\text{C}$ .
- Se deja enfriar ligeramente y se coloca en una desecadora conteniendo preferentemente alumbre anhidro, grado indicador.
- Cuando adquiera la temperatura ambiente, se pesa el crisol incinerado en una balanza analítica aproximando la pesada hasta 0.1 mg.
- Si el ejemplar es de un tamaño considerable se coloca en el crisol y se quema el material directamente en la llama suave del mechero Bunsen o puede hacerse preferiblemente carbonizando bien en el hogar del horno.
- Si el crisol es demasiado pequeño para contener la muestra completa se quema suavemente la porción añadida y después se agrega mas, mientras la llama subsista.
- Se continúa calentando con mechero en tanto el residuo arda con llamas.
- Se evitará soplar sobre las porciones de cenizas del crisol.
- Cuando la llama desaparezca se coloca el crisol en el horno a  $925 \pm 25^\circ\text{C}$  por un periodo de 3 horas aproximadamente, hasta quemar todo el carbón.
- Si se usa tapa o un cubridor, se coloca este sobre el crisol durante la incineración inicial a  $925 \pm 25^\circ\text{C}$  y se retira cuando el contenido este al rojo vivo, para permitir que se complete la combustión.
- Cuando el papel está completamente incinerado como lo indica la ausencia de partículas negras, se retira el crisol del horno, volviéndose a colocar la tapa o el cubridor y se deja enfriar unos instantes.

- Se coloca en el desecador y se enfría a la temperatura ambiente.
- Se pesará el crisol con las cenizas aproximando la pesada hasta 0.01 mg.
- El peso de la ceniza se calcula basado sobre una muestra de papel libre de humedad.

### **Información adicional**

- La temperatura de incineración, por lo general, afecta considerablemente el peso de la ceniza, por lo tanto, han de reportarse solamente los valores obtenidos a  $925\pm 25$  °C como valores de conformidad con esta norma.
- Los papeles, cartones y cartulinas normalmente contienen materiales minerales que se convierten en el constituyente principal de su ceniza, las cuales se modifican a altas temperaturas y a diferentes grados dependiendo de su composición. Por su consiguiente es mas apropiado seleccionar la alta temperatura de  $925\pm 25$  °C como comparativa con los 575 °C para la madera, bagazo y la pulpa para obtener mejor productividad.

Capítulo 3 Análisis técnico-económico realizado en la Papelera " Pulpa Cuba" de Trinidad aplicando métodos de integración de procesos.

### **3.1- Aplicación de la metodología de integración de procesos al flujo de producción en la papelera " Pulpa Cuba" de Trinidad**

En el capítulo anterior expresamos la necesidad de reducción de residuales a partir de varias herramientas conocidas. Nos limitaremos al uso de una en específico, la cual es la herramienta de bajo costo y trataremos con ella de darle solución al problema planteado.

Nuestro principal objetivo que no es otro que la disminución del consumo de agua fresca a través de un cierre en el ciclo de aguas del proceso. Para ello se realizó primeramente un estudio detallado del flujo de producción para de esa manera realizar los balances correspondientes en cada equipo o etapa del proceso. El balance de agua y fibra se realizó tomando como base una tonelada de papel producido. Se hace el balance de esta manera con la finalidad de conocer los flujos de pulpa en las diferentes fases de la producción, así como los consumos de agua fresca, agua blanca y para la determinación de la cantidad de fibra que es vertida en las corrientes residuales del proceso en cuestión. Para ello se tuvieron en cuenta trabajos realizados con anterioridad en dicha fábrica (Herrera, P, 1982), así como la metodología para la realización de balances en la industria del papel aplicada por (Delgado, A, 1990). En dicha metodología se agrupan los casos típicos que se pueden presentar en la realización de los balances de materiales y las limitaciones que pueden presentarse.

La realización de los balances de materiales se llevo a cabo en condiciones estables de operación, en la cual dicha fabrica producía liner de  $150 \text{ g/m}^2$  con una producción de 70 T/d. Las materias primas utilizadas en dicho estudio están constituidas por recortes corrientes, OCC nacional y DKL importado; siendo sus proporciones en la formulación de 48, 32 y 20 % respectivamente.

#### **Datos necesarios por etapas**

##### **Bobinado**

- Sequedad papel a la salida de la bobinadora: 0.95
- Ancho de la bobina: 3.70 m
- Peso básico: 150 g/m<sup>2</sup>
- Velocidad Maquina Papel: 150m/min

### **Secado**

- Sequedad a la entrada de la sección: 0.41
- Sequedad a la salida de la sección: 0.95

### **Segunda Prensa**

- Consistencia del agua extraída: 0.00016 (fracción)
- Sequedad de entrada a la segunda prensa: 0.35

### **Primera Prensa**

- Consistencia del agua extraída: 0.00016 (fracción)
- Sequedad de entrada a la prensa: 0.23

### **Rolo couch**

- Consistencia del agua extraída: 0.00016 (fracción)
- Sequedad de la tirilla de papel: 0.23
- Ancho de la tirilla: 0.10 m
- Sequedad de la hoja de salida: 0.23

### **Cajas de Vacío**

- Sequedad de entrada a las cajas de vacío: 0.19
- Consistencia del agua extraída (foso patas barométricas): 0.00048

### **Mesa Formadora**

- Consistencia de salida de la caja cabecera: 0.007
- Consistencia en la zona de registro: 0.0008

### **Dinapulper**

- Consistencia agua blanca utilizada: 0.00086
- Consistencia de la pulpa de salida: 0.021

### **Foso couch**

- Consistencia pulpa entrada al recuperador de fibras: 0.00495
- Consistencia del foso de la fuente: 0.00101

### **Foso de la fuente**

- Consistencia del foso de la fuente: 0.00101
- Consistencia Zona de registro: 0.0008

### **Recuperador de Fibras**

- Consistencia del agua blanca de salida: 0.00086
- Consistencia de la pulpa de salida: 0.0698

### **Succión Bomba#1, Deculator y Caja Cabecera**

- Flujo de rechazos del clin terciario: 15.44 t/d
- Consistencia de los rechazos clin terciario: 0.0085
- Consistencia de salida de la caja cabecera: 0.007
- Consistencia a la salida del regulador de peso: 0.02231
- Consistencia en el foso de la fuente: 0.00101

### **Regulador de peso**

- Consistencia de la pulpa de entrada: 0.02827
- Consistencia de salida del regulador de peso: 0.02231

### **Cuba de la Maquina**

- Consistencia de salida del recuperador de fibras: 0.0698
- Consistencia de salida del proporcionador: 0.0252
- Consistencia del agua blanca: 0.0008

### **Torre de alta Densidad**

- Consistencia de la pulpa entrada: 0.0154

### **Espesador**

- Consistencia de entrada al espesador: 0.0253
- Consistencia de la pulpa de salida del espesador: 0.072

### **Colador**

- Flujo Rechazos del colador: 104.88 T/d
- Consistencia rechazos del colador: 0.0066
- Consistencia pulpa de salida del colador: 0.0253

### **Cuba de recortes**

- Consistencia de salida del dinapulper: 0.021

### **Desaguador**

- Consistencia del agua blanca del tanque de filtrados: 0.00062
- Consistencia de entrada al desaguador: 0.0173

### **Hidrociclones**

- Flujo de rechazo de los hidrociclones: 108.97 t/d
- Consistencia de los rechazos: 0.005
- Consistencia de salida del hidrapulper: 0.0234

### **Hidrapulper**

- Sequedad de la materia prima: 0.85
- Consistencia del agua blanca tanque de filtrados: 0.00062
- Consistencia del agua blanca tanque sello lavadora: 0.0008

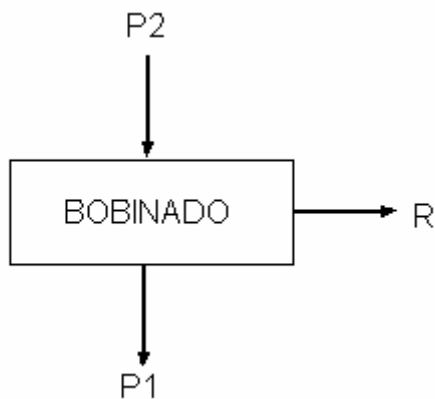
### **Nomenclatura Utilizada en la Realización de los Balances.**

F: Fibra a la entrada o salida de una etapa. (Kg)

- P: Pulpa a la entrada o salida de una etapa (Kg)
- SP: Sequedad inicial o final del papel a la entrada o salida de una etapa (fracción)
- SA: Consistencia del agua blanca extraída (fracción)
- AN: Agua fresca suministrada a la etapa (Kg)
- AP: Agua en la pulpa de entrada o salida de una etapa (Kg)
- FP: Fibra en la pulpa de entrada o salida de una etapa (Kg)
- R: Pulpa rechazada en una etapa (Kg)
- FR: Cantidad de fibra rechazada en una etapa (Kg)
- SR: Consistencia de la pulpa rechazada (fracción)

### 3.1.1 Planteamiento de los Balances de agua y fibra por etapa o equipo.

#### Bobinadora



P1= 1000 Kg

R : fracción rechazada

$$R = \frac{Rb}{PSM}$$

Rb : Rechazos de la bobinadora ( Kg/h)

PSM : papel que sale de la maquina (Kg/h)

$$Rb = AT \cdot Vm \cdot Pb$$

AT: Ancho de la tirilla(m)

Vb: Velocidad de la maquina de papel (m/min)

Pb : Peso básico (kg/m<sup>2</sup>)

$$PSM=A*VM*Pb$$

A : Ancho hoja de papel a la salida maquina(m)

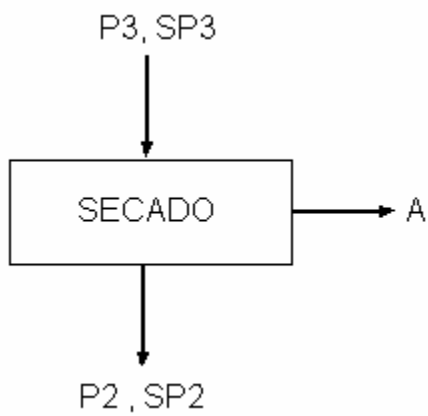
VM : velocidad maquina de papel

Pb : peso básico

$$FP2= P2*SP2$$

$$AP2= P2 - FP2$$

### **Secado**



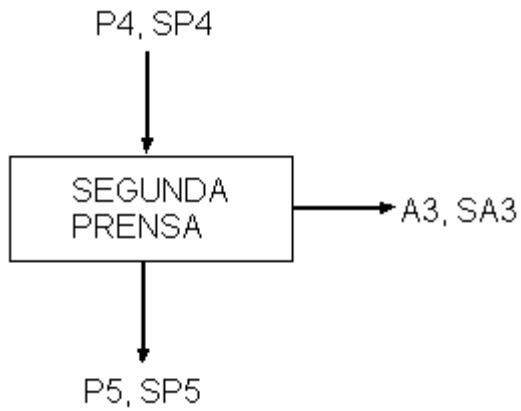
$$F3=F2$$

$$P3=F3/SP3$$

$$AP3=P3 - P2$$

$$A=AP3-AP2$$

### **Segunda Prensa**



$$F4 = \frac{F3 - SA3 * (1 - SP3 / SP3) * F3}{1 - SA3 * (1 - SP4 / SP4)}$$

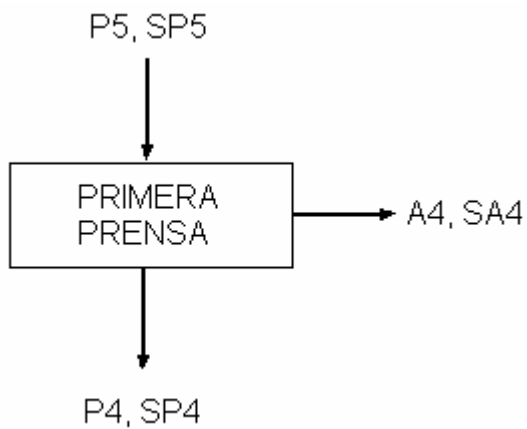
$$AP4 = \frac{F4 * (1 - SP4)}{SP4}$$

$$P4 = F4 + AP4$$

$$A3 = P4 - P3$$

$$FA3 = A3 * SP3$$

### **Primera Prensa**



$$F5 = \frac{F4 - F4 * SA4 * (1 - SP4 / SP4)}{1 - SA4 * (1 - SP5 / SP5)}$$

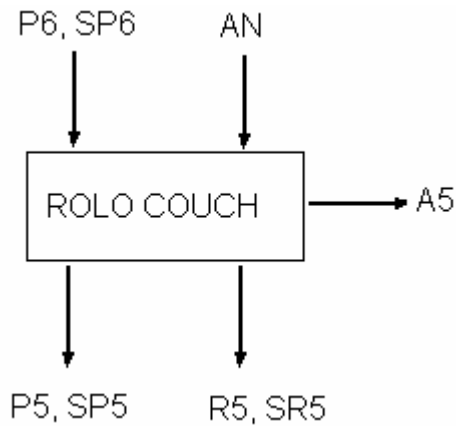
$$AP5 = \frac{F5 * (1 - SP5)}{SP5}$$

$$P5 = F5 + AP5$$

$$A4 = P5 - P4$$

$$FA4=A4*SA4$$

### Rolo Couch



R : tirilla papel

$$R=V_m * P_b * A_t * T$$

$V_m$  : velocidad maquina de papel (m/min)

$P_b$  : peso básico ( kg/m<sup>2</sup>)

$A_t$  : Ancho de la tirilla(m)

$T$  : tiempo necesario para hacer 1 tonelada de papel(min)

$$FR=R*SR$$

$$FS=FR+F5$$

$$F6 = \frac{FS - SA5 * (1 - SR / SR) * FS}{1 - SA5 * (1 - SP6 / SP6)}$$

$$AP6 = \frac{F6 * (1 - SP6)}{SP6}$$

$$P6 = F6 + AP6$$

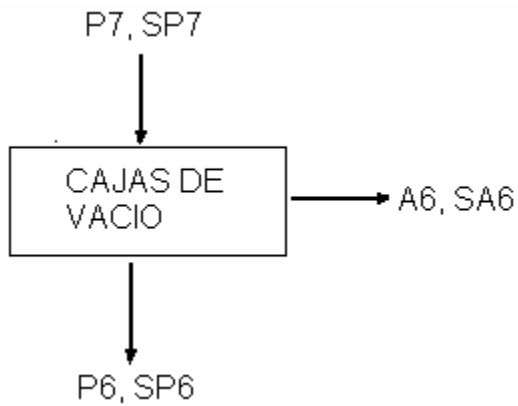
$$P6 + AN = P5 + R5 + A5$$

$$A5 = P6 + AN - P5 - R5$$

$$FA5 = A5 * SA5$$

$$AA5 = \frac{FA5 * (1 - SA5)}{SA5}$$

### Cajas de Vacío



$$F7 = \frac{F6 - SA6 * (1 - SP6 / SP6) * F6}{1 - SA6 * (1 - SP7 / SP7)}$$

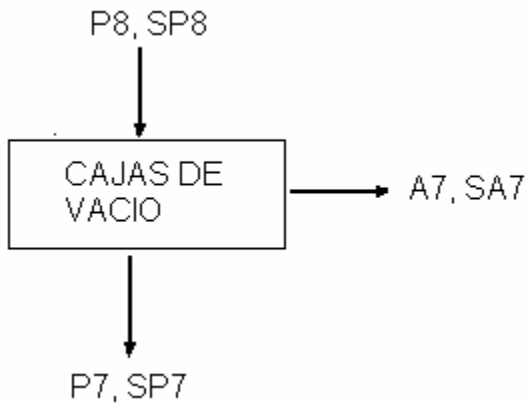
$$AP7 = \frac{F7 * (1 - SP7)}{SP7}$$

$$P7 = F7 + AP7$$

$$A6 = P7 - P6$$

$$FA6 = A6 * SA6$$

### Desgote de la mesa formadora



$$F8 = \frac{F7 - SA7 * (1 - SP7) * F7}{1 - SA7 * (1 - SP8 / SP8)}$$

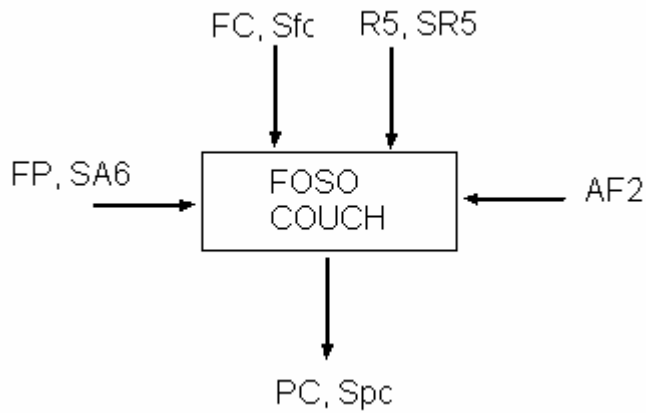
$$AP8 = \frac{F8 * (1 - SP8)}{SP8}$$

$$P8 = F8 + AP8$$

$$A7 = P8 - P7$$

$$FA7 = A7 * SA7$$

**Foso Couch**



**Balance Total**

$$FP + FC + R5 + AF2 = PC$$

$$I) R5 + AF2 + FP = PC - FC$$

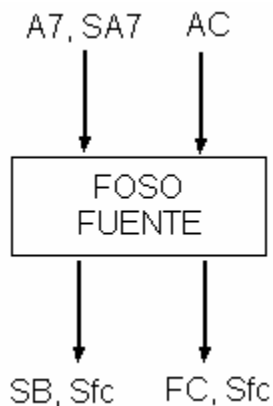
**Balance Parcial de Fibra Seca**

$$FC * Sfc + R5 * Srs + FP * Sfp = PC * Spc$$

$$II) R5 * SR5 + FP * Sfp = PC * Spc - FC * Sfc$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones para determinar PC y FC

**Foso Fuente**



**Balance Total**

$$A7 + AC = SB + FC$$

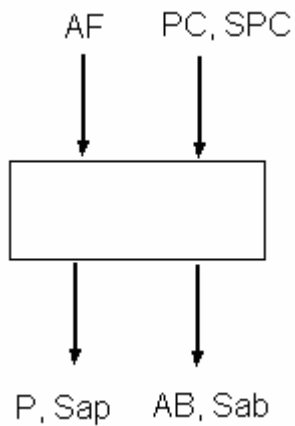
**Balance Parcial de Fibra Seca**

$$A7 * SA7 = SB * Sfc + FC * Sfc$$

$$SB = \frac{A7 * SA7 - FC * SFC}{SFC}$$

$$AC = SB + FC - A7$$

### **Recuperador de Fibras**



#### **Balance Total**

$$AF + PC = P + AB$$

#### **Balance Parcial de Fibra Seca**

$$PC * SPC = P * Sap + AB * Sab$$

Despejando P:

$$P = AF + PC - AB$$

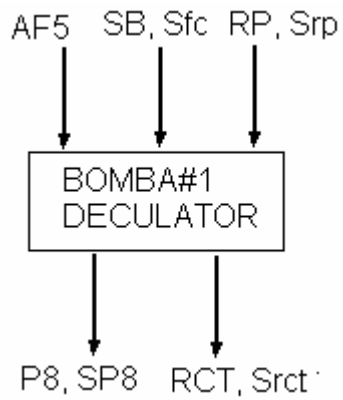
Simultaneando en el balance parcial de fibra seca se obtiene:

$$AB = \frac{PC * SPC - AF * Sap - PC * Sap}{Sab - Sap}$$

Despejando P:

$$P = AF + PC - AB$$

### **Succion de la Bomba#1 y Deculator**



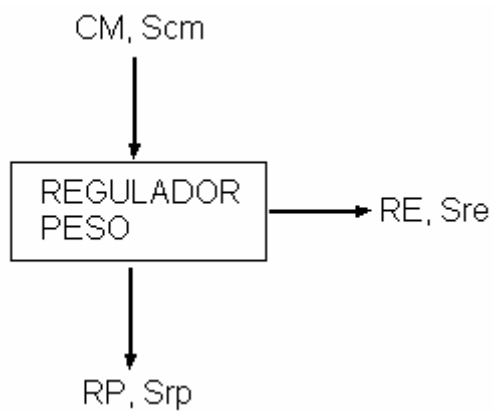
**Balance Total**

$$AF + SB + RP = P8 + RCT$$

Despejando RP:

$$RP = P8 + RCT - AF - SB$$

**Regulador de Peso**



**Balance Total**

$$CM = RP + RE$$

### Balance Parcial de Fibra Seca

$$CM * Scm = RP * Srp + RE * Ser$$

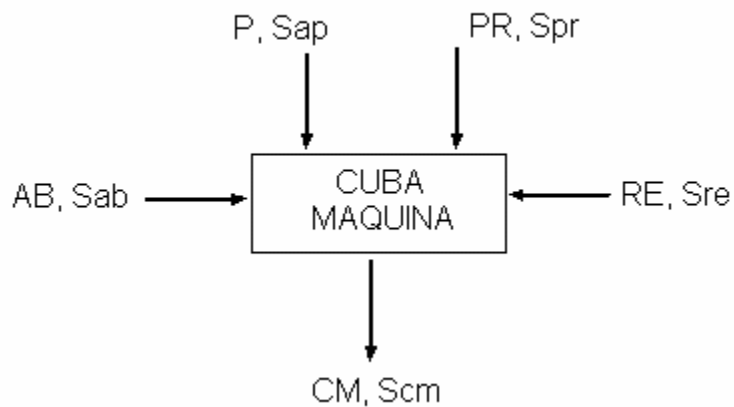
Simultaneando ambas ecuaciones:

$$RE = \frac{RP * (Scm - Srp)}{(Sre - Scm)}$$

Luego se calcula CM:

$$CM = RP + RE$$

### Cuba de la Maquina



### Balance Total

$$AB + P + PR + RE = CM$$

### Balance Parcial de Fibra Seca

$$AB * Sab + P * Sap + PR * Spr + RE * Ser = CM * Scm$$

Despejando PR:

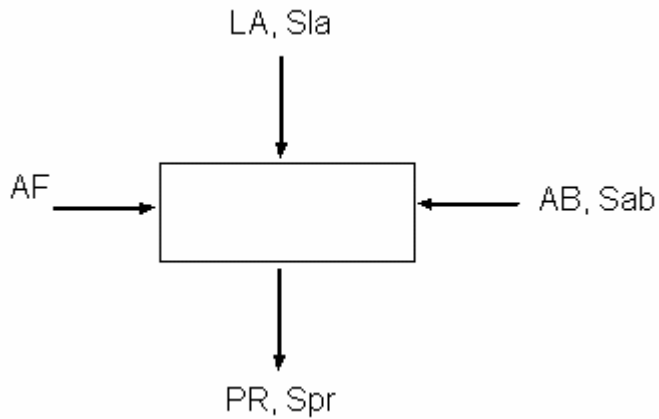
$$PR = CM - AB - P - RE$$

Simultaneando en el balance parcial de fibra:

$$AB = \frac{CM * (Scm - Srp) + P * (Srp - Sap) + RE * (Srp - Sre)}{(Sab - Srp)}$$

Luego se sustituye el valor de AB y se obtiene PR

### Torre de Alta Densidad y Proporcionadotes



**Balance Total**

$$LA + AF + AB = PR$$

**Balance Parcial de Fibra Seca**

$$LA * Sla + AB * Sab = PR * Spr$$

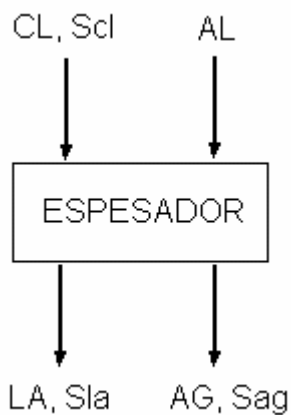
Despejando LA del Balance Total y simultaneando en el balance parcial de fibra seca obtenemos:

$$AB = \frac{PR * (Spr - Sla) + AF * Sla}{(Sab - Sla)}$$

$$LA = PR - AB - AF$$

$$FLA = LA * Sla$$

**Espesador**



$$Fcl = \frac{Fla - Sag * (1 - Scl / Scl) * Fla}{1 - Sag * (1 - Sc / Scl)}$$

$$ACL = \frac{Fcl * (1 - Scl)}{Scl}$$

$$CL = Fcl + ACL$$

### Balance Total

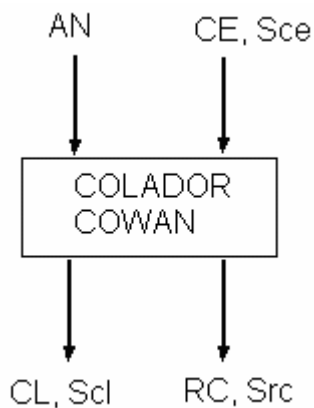
$$CL + AL = LA + AG$$

Despejando AG del balance total:

$$AG = CL + AL - LA$$

$$FAG = AG * Sag$$

### Colador



### Balance Total

$$AN + CE = CL + RC$$

### Balance Parcial de Fibra Seca

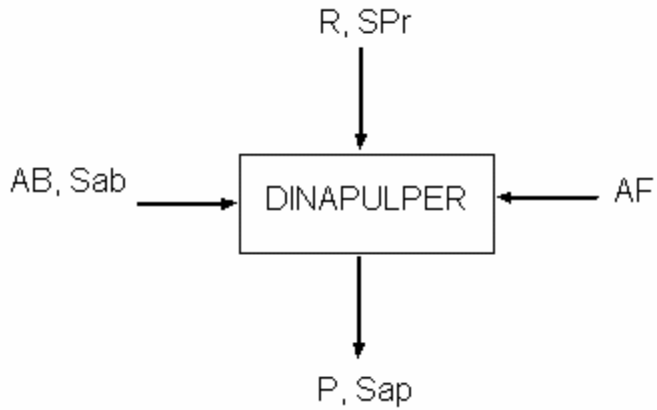
$$CE * Sce = CL * Scl + RC * Src$$

Despejando CE del balance total y simultaneando en el balance parcial obtenemos:

$$AN = \frac{CL * (Sce - Scl) + RC * (Sce - Src)}{Sce}$$

$$CE = CL + RC - AN$$

### Dinapulper



**Balance Total**

$$AB + R + AF = P$$

**Balance Parcial de Fibra Fresca**

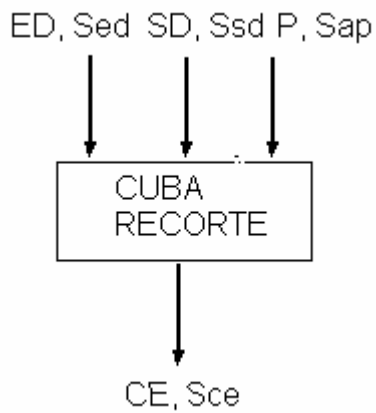
$$AB * Sab + R * SPr = P * Sap$$

Despejando AB y simultaneando en el balance parcial de fibra obtenemos a P :

$$P = \frac{R * Sab + AF * Sab - R * Spr}{(Sab + SAP)}$$

$$AB = P - R - AF$$

**Cuba de Recortes**



### Balance Total

$$ED + SD + P = CE$$

### Balance Parcial de Fibra Seca

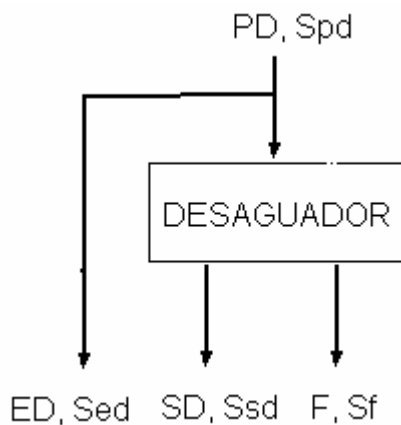
$$ED \cdot Sed + SD \cdot Ssd + P \cdot Sap = CE \cdot Sce$$

Despejando ED del balance total y simultaneando en el balance parcial de fibra seca obtenemos:

$$SD = \frac{CE \cdot (Sce - Sed) - P(Sap - Sed)}{(Ssd - Sed)}$$

$$ED = CR - SD - P$$

### Desaguador



### Balance Total

$$PD = ED + SD + F$$

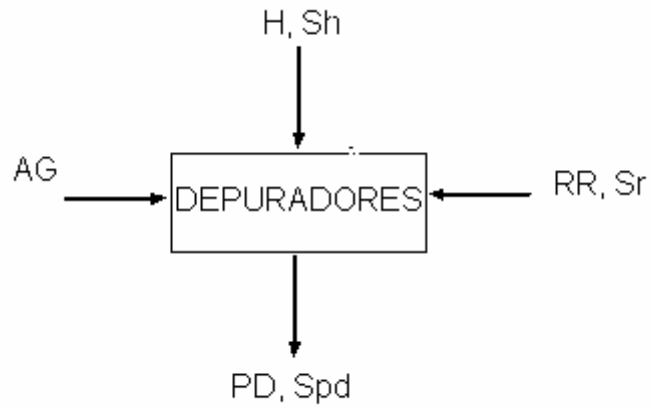
$$I) ED + SD = PD - F$$

### Balance Parcial de Fibra

$$II) ED \cdot Sed + SD \cdot Ssd = PD \cdot Sed - F \cdot Sf$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones formado por las ecuaciones I Y II se obtiene el valor de las corrientes PD y F.

### Depuradores



Balance Total

$$H + AG = RR + PD$$

Balance Parcial de Fibra Seca

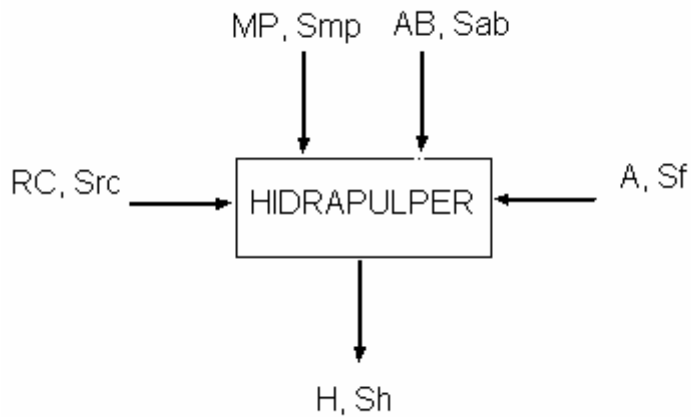
$$H * Sh = RR * Srr + PD * Spd$$

Despejando H del balance total y simultaneando en balance parcial de fibra obtenemos:

$$AG = \frac{RR * (Sh - Srr) + PD * (Sh - Spd)}{Sh}$$

$$H = RR + PD - AG$$

**Hidrapulper**



### Balance Total

$$RC + MP + AB + A = H$$

### Balance Parcial de Fibra Seca

$$RC \cdot Src + MP \cdot Smp + AB \cdot Sab + A \cdot Sf = H \cdot Sh$$

Despejando MP del balance total y simultaneando en el balance parcial de fibra seca obtenemos:

$$AB \cdot (Src - Smp) + A \cdot (Sab - Smp) = H \cdot (Sh - Smp) + RC \cdot (Smp - Src)$$

### **Determinación de la producción neta**

$$Pn = Ab \cdot Pb \cdot VM$$

Ab: ancho de la hoja en la bobinadora (m)

Pb: peso básico (kg/m<sup>2</sup>)

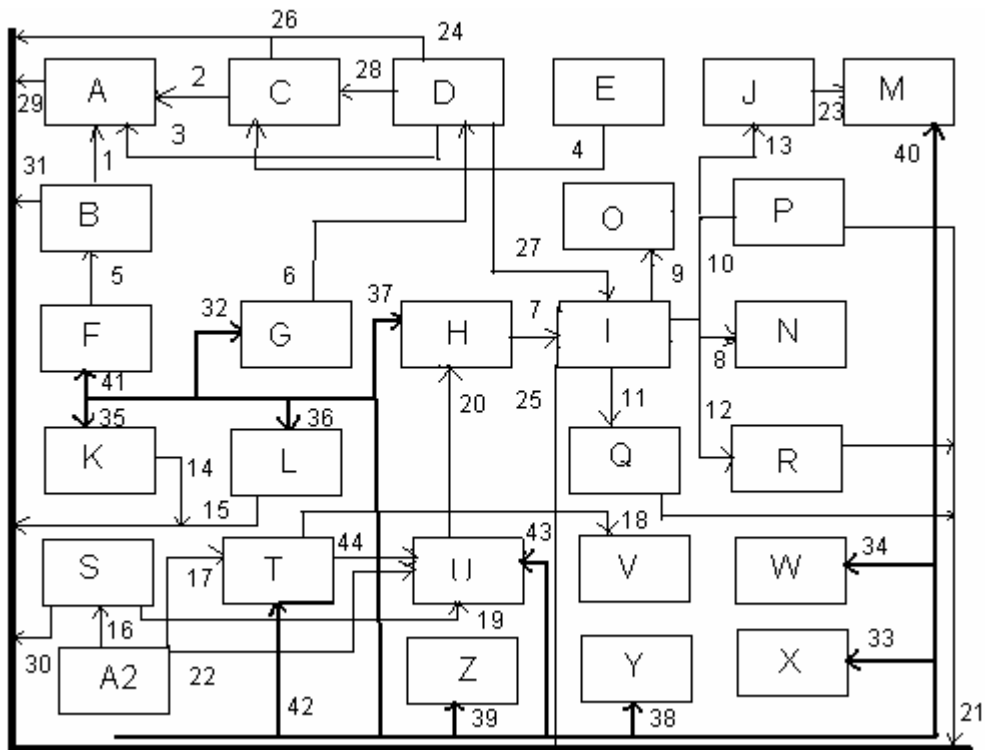
VM: Velocidad Maquina Papel (min)

Determinación del Tiempo Necesario para hacer 1 tonelada (t)(min)

$$t = \frac{1Ton}{Pn}$$

### **3.1.2 Estructura del sistema de aguas papelera” Pulpa Cuba”**

Figura 3.1 Esquema del Sistema de Aguas Papelera” Pulpa Cuba”



### Equipos que intervienen en el diagrama de aguas

- A : Hidrapulper
- B : Tanque de rechazos del colador
- C : Tanque de filtrados
- D : Tanque sello lavadora
- E : Desaguador
- F : Colador
- G : Espesador
- H : Recuperador de fibras
- I : Tanque sello recuperador de fibras
- J : Tanque de agua blanca
- K : Depuradores ciclónicos
- L : Clin terciario
- M : Dinapulper
- N : Regulador de consistencia Cuba Pulmón
- O : Regulador de consistencia Cuba de la Maquina

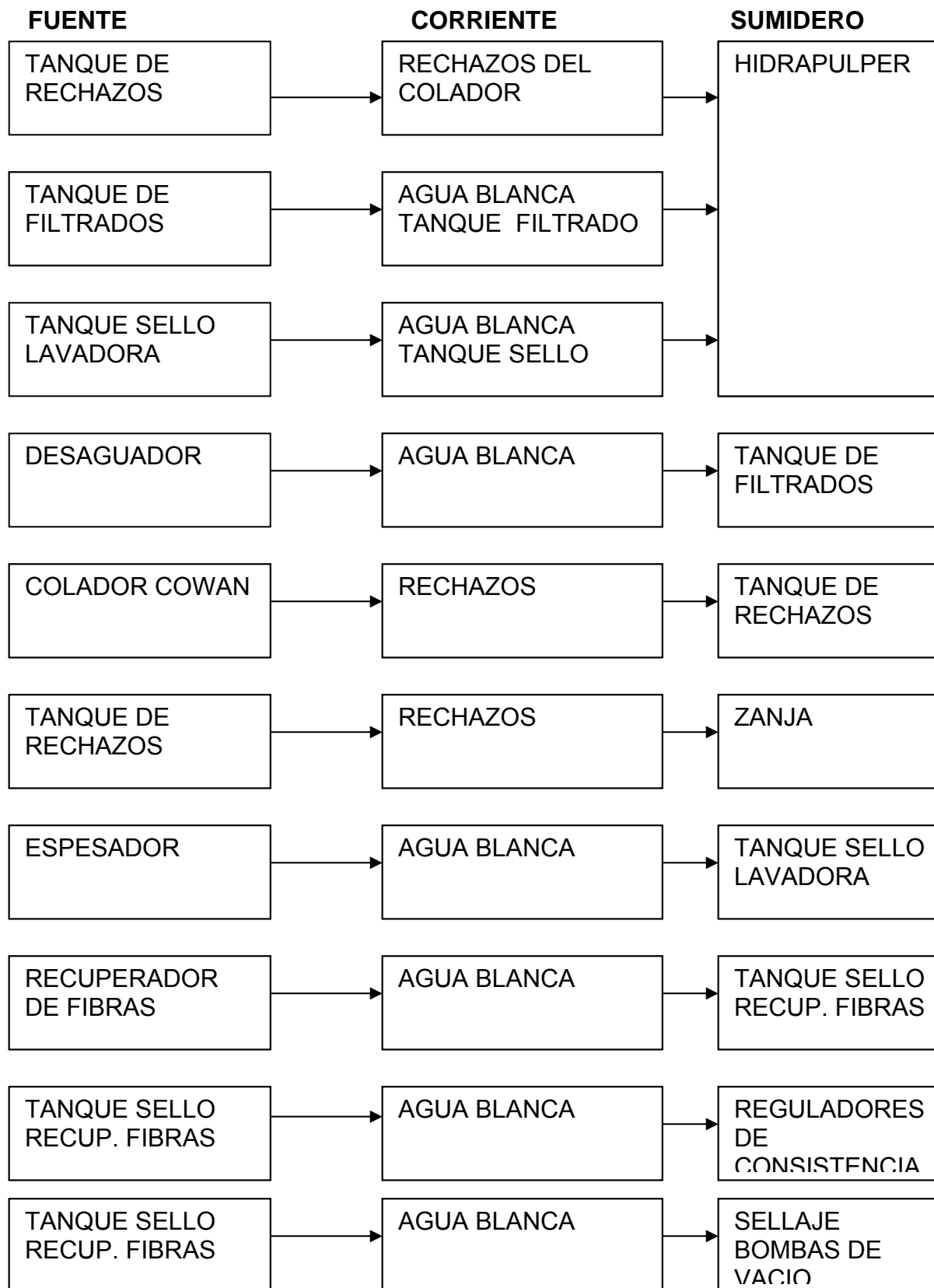
P : Bomba vacío primera prensa  
Q : Bomba vacío segunda prensa  
R : Bomba vacío couch  
S : Foso patas barométricas  
T : Foso fuente  
U : Foso couch  
V : Succión bomba # 1  
W : Torre de alta densidad  
X : Refinadores MD  
Y : Tanque de almidón  
Z : Turbo de 1200 HP  
A2 : Fourdrinier

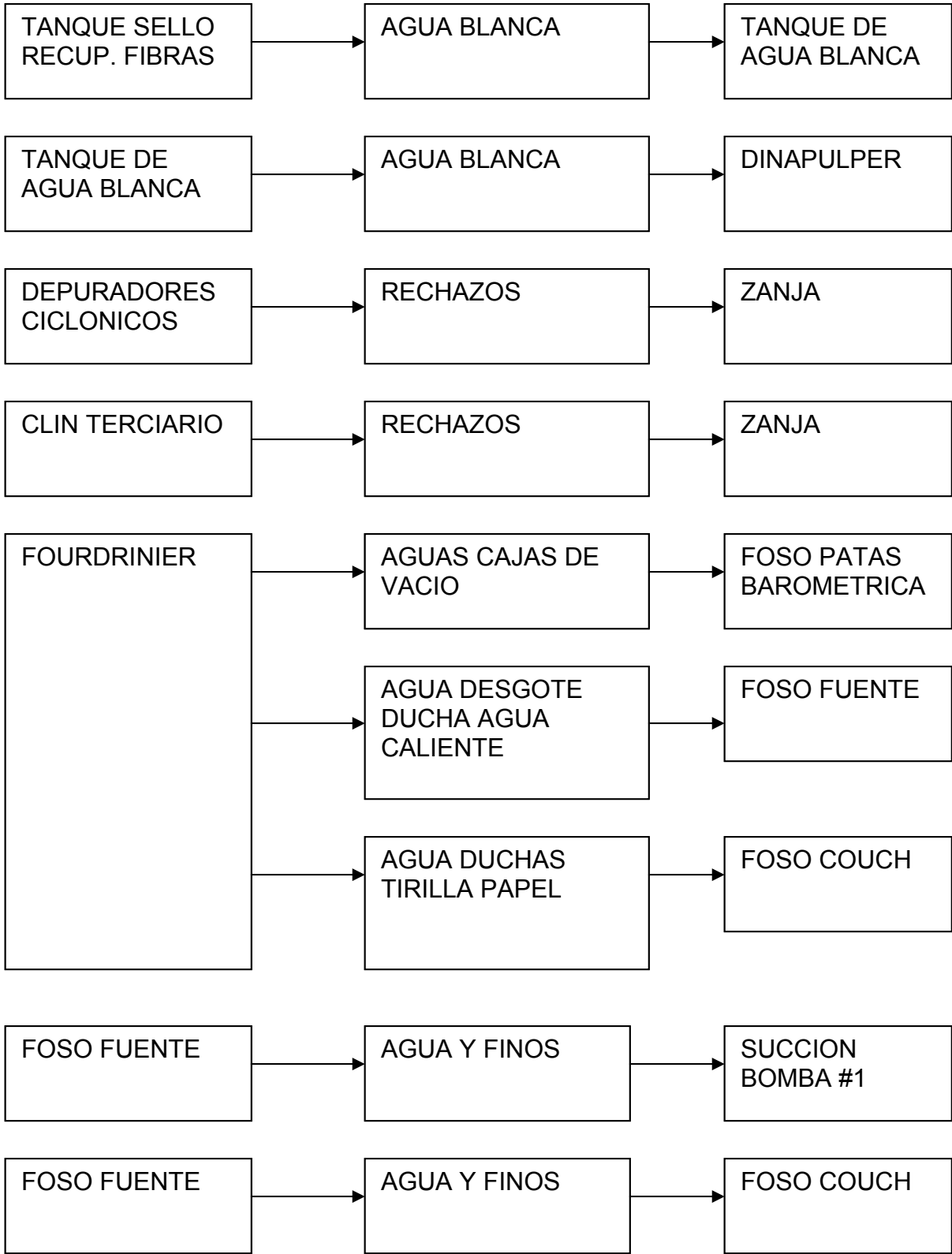
### **Corrientes de aguas**

- 1- Rechazos del colador
- 2- Agua blanca del tanque de filtrados
- 3- Agua blanca tanque sello lavadora
- 4- Agua blanca del desaguador
- 5- Rechazos
- 6- Agua blanca del espesador
- 7- Agua blanca del recuperador de fibras
- 8- Agua para regulador de consistencia cuba pulmón
- 9- Agua para regulador de consistencia cuba maquina
- 10- Agua para sellaje bomba vacío primera prensa
- 11- Agua para sellaje bomba vacío segunda prensa
- 12- Agua para sellaje bomba vacío rolo couch
- 13- Agua blanca para dilución del tanque de agua blanca
- 14- Rechazos de los depuradores ciclónicos
- 15- Rechazos clin terciario
- 16- Agua blanca de las cajas de vacío
- 17- Agua extraída en el desgote de la mesa formadora

- 18- Agua y finos para dilución bomba # 1
- 19- Agua y finos del foso de la fuente
- 20- Mezcla de agua y fibra para el recuperador de fibras
- 21- Agua extraída por la primera prensa, segunda prensa y rolo couch
- 22- Tirilla de papel y agua de la ducha
- 23- Agua blanca para dilución en el dinapulper
- 24- Agua blanca expulsada a la zanja
- 25- Agua blanca expulsada a la zanja
- 26- Agua blanca expulsada a la zanja
- 27- Agua blanca de reposición
- 28- Agua blanca de reposición
- 29- Rechazos del hidrapulper
- 30- Agua blanca foso patas barométricas
- 31- Rebozo del tanque de rechazos
- 32- Agua fresca para lavado de la torta en el espesador
- 33- Agua fresca para el enfriamiento de los refinadores MD
- 34- Agua fresca para dilución de la pulpa de la torre de alta densidad
- 35- Agua fresca para lavado de los rechazos de los depuradores
- 36- Agua fresca para lavado de los rechazos del clin terciario
- 37- Agua fresca para dilución de la pulpa del recuperador de fibras
- 38- Agua fresca para dilución del almidón
- 39- Agua fresca para el enfriamiento del turbo de 1200HP
- 40- Agua fresca para dilución de la pulpa en el dinapulper
- 41- Agua fresca para el enfriamiento del turbo de 1200HP
- 42- Agua caliente para limpieza de la malla del fourdrinier
- 43- Agua para duchas de limpieza de la malla del fourdrinier
- 44- Rebozo del foso de la fuente

La distribución de las corrientes en los diferentes equipos que intervienen en el proceso es la siguiente:







**FUENTE**

**SUMIDERO**



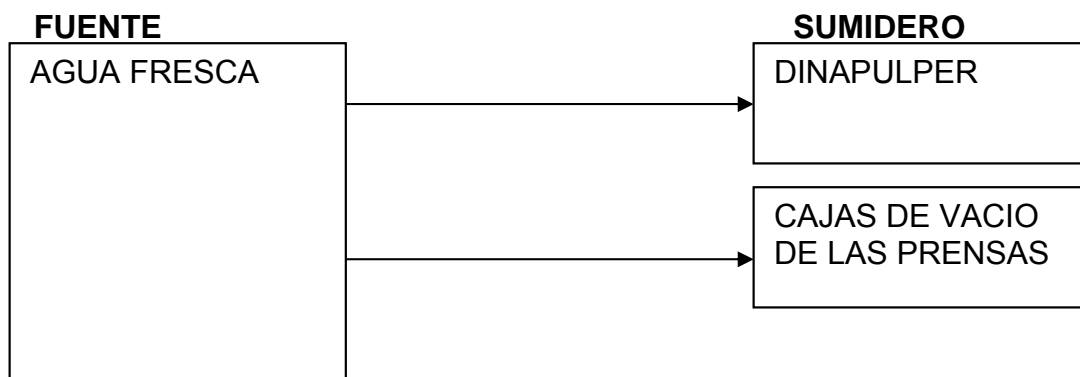


Tabla 3.1 Principales equipos que generan aguas

<b>Equipo</b>	<b>No de la Corriente</b>	<b>Flujo Generado (T/d)</b>	<b>Consistencia (fracción)</b>
Hidrociclones	14	108.97	0.00598
Desaguador	4	1324.46	0.0008
Colador Cowan	5	104.85	0.0066
Espesador	6	3402.67	0.0008
Recuperador de Fibras	7	3817.74	0.00086
Cleaner Terciario	15	15.44	0.00805
Bombas de vacío	21	137.90	0.00016
Fourdrinier	16	2192.51	0.00048
	17	6587.57	0.0010

**Equipos que consumen Aguas (Sumideros)**

<b>Equipo</b>	<b>No de la Corriente</b>	<b>Flujo Consumido (T/d)</b>	<b>Rango de Flujo (T/d)</b>	<b>Consistencia (fracción)</b>	<b>Rango de Consistencia (fracción)</b>
<b>Hidrapulper</b>	1	104.85	94.36 115.33	0.0066	0.00594 0.00756
	2	1423.36	1281.02 1565.69	0.0008	0.00072 0.00088
	3	1423.36	1281.02 1565.69	0.0008	0.00072 0.00088
<b>Regulador de consistencia Cuba Pulmón</b>	8	3448.27	3103.41 3793.12	0.00086	0.000774 0.000946
<b>Dinapulper</b>	23	8.64	7.776 9.504	0.00086	0.000774 0.000946
<b>Succión Bomba#1</b>	18	4956.7	4461.03 5452.37	0.0010	0.000909 0.00111
<b>Regulador de Consistencia Cuba de la Maquina</b>	9	512.11	460.89 563.32	0.00086	0.00078 0.00094
<b>Foso couch</b>	19	2192.51	1973.25 2411.76	0.00048	0.000432 0.000528
	44	1630.87	1467.78	0.00101	0.000909 0.00111

Tabla 3.3 Equipos que consumen agua fresca

<b>Equipo</b>	<b>Flujo (T/d)</b>
Hidrociclones	28.8
Colador Cowan	1593.37
Espesador	172.8
Torre de Alta Densidad	850
Enfriamiento de Refinadores	14.4
Recuperador de Fibras	86.4
Dinapulper	103.68
Clin Terciario	28.8
Limpieza malla del Foso Fuente	241.92
Duchas de Limpieza Foso Couch	320.5
Cajas de vacío prensas	132.19
Cajas de Vacío Rolo Couch	62.24
Turbo de 1200HP	86.4
<b>Total</b>	<b>4844.8</b>

Como se puede ver en la tabla 3.3, el consumo de agua fresca de la entidad es elevado, siendo el mismo de 69.21 T agua/ Papel, ya que tomando como referencia el consumo actualizado de este tipo de fabrica, el cual es de 4.9 T agua/ T papel.

Además, las pérdidas de fibra en la instalación se deben básicamente a la fibra que es expulsada en los hidrociclones de la línea de preparación de pasta, por las bombas de vacío y por el cleaner terciario. Aunque existen otros equipos que por descontroles operacionales también vierten a la zanja, tal es el caso del tanque de rechazos del colador y de los tanques de agua blanca.

Para determinar la cantidad de fibra que es expulsada en la zanja se tuvo en cuenta los resultados en los balances, la clasificación de fibra, así como en la incineración, ya que estos equipos no eliminan solamente sustancias no celulósicas en sus emisiones (ver anexo No 1). En el caso del cleaner terciario se

vierte un 67.22% de fibra del flujo total de sólidos, siendo el mismo elevado. En cuanto a los hidrociclones no se realizó la clasificación de fibras por el método de Clark debido al alto contenido de sólidos inorgánicos que se encuentran en la corriente generada por dicho equipo. En este caso se realizó una operación similar pero usándose para ello un tamiz vibratorio con el objetivo de poder separar los sólidos inorgánicos del resto de las fibras, obteniéndose que el 33% del total de sólidos emitidos por dicho equipo esta constituido por fibras (ver anexo No 2).

El agua blanca vertida por las bombas de vacío no contiene impurezas considerables, por lo que no se le realizó una clasificación se fibras. Además, esta corriente tiene la limitante de estar muy diluida para ser clasificada por el método de Clark. En la tabla 3.4 se muestran todos los equipos que vierten fibra a la zanja.

Tabla 3.4 Principales equipos que vierten fibra en los residuales

<b>Equipo</b>	<b>Flujo (t/d)</b>	<b>Consistencia(fracción)</b>	<b>Ton. Fibras/d</b>
<b>Hidrociclones</b>	108.97	0.00598	0.6516
<b>Cleaner Terciario</b>	15.44	0.00805	0.0416
<b>Bombas de Vacío</b>	137.90	0.00016	0.0220
<b>Total</b>	262.31	-	0.7152

### 3.1.3 Aplicación de la técnica de integración de masa diagrama fuente-sumidero

Después de ver la distribución de todas las corrientes a lo largo del proceso, los equipos que las generan y los que las consumen, es que se pudo aplicar de forma inmediata el diagrama fuente-sumidero.

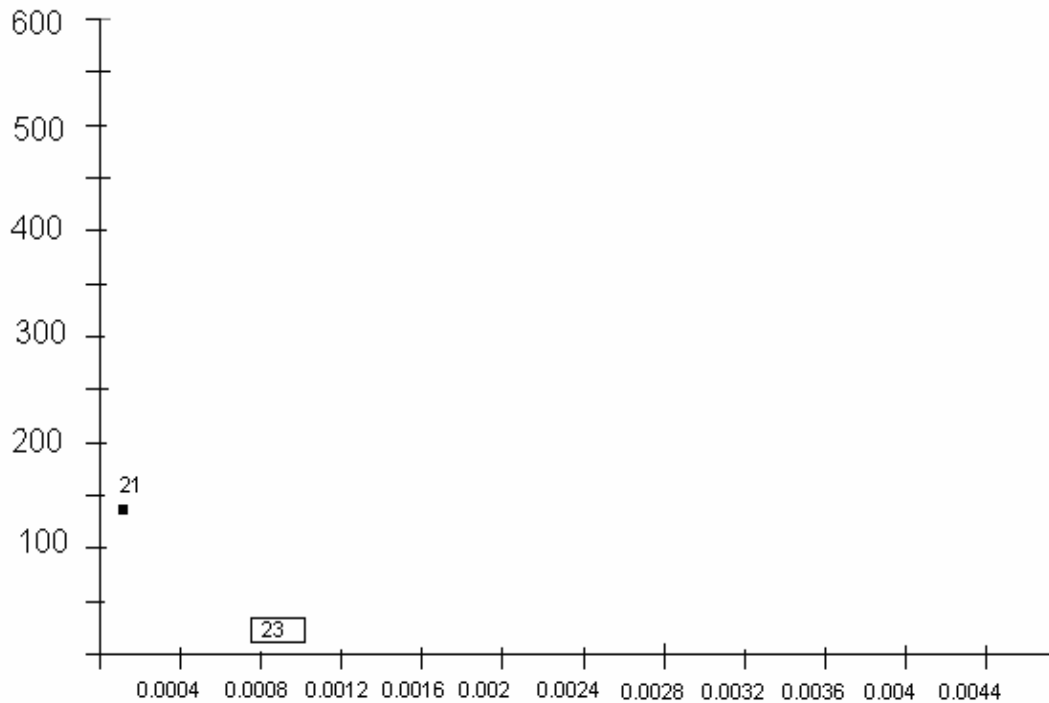


Figura 3.2 Diagrama fuente-sumidero

Como se puede observar en la figura 3.2 no hay coincidencia de ninguna fuente con ningún sumidero debido a que solo hay una sola fuente y un solo sumidero. Además, no se puede segregar la fuente porque difiere en gran proporción con el sumidero en cuestión.

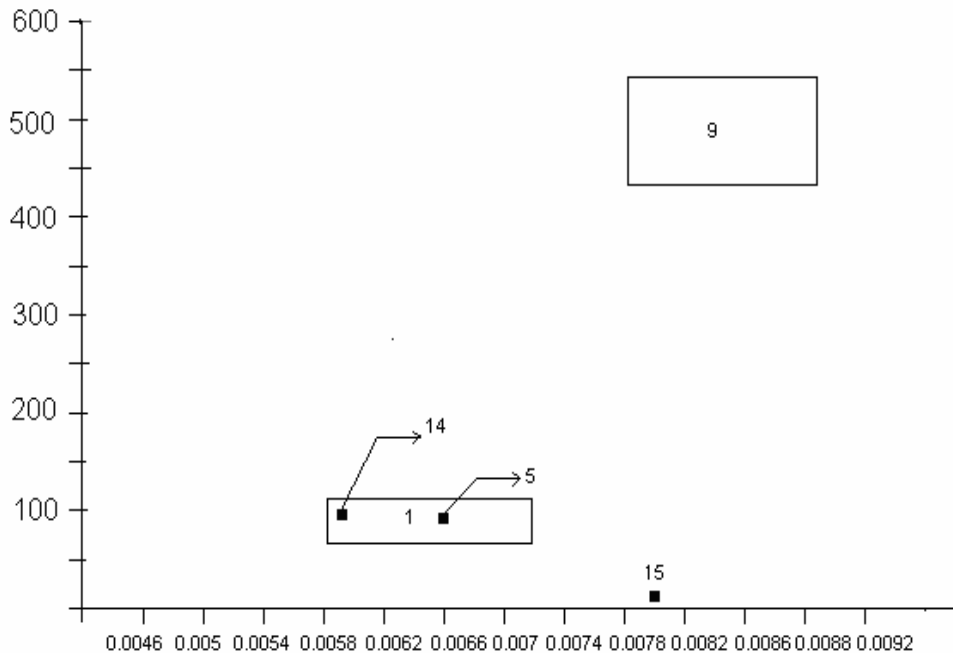


Figura 3.3 Diagrama fuente-sumidero

De este gráfico podemos inferir que la corriente #5, la cual esta constituida por los rechazos del colador cowan con un flujo de 104.85 t/d, se pueden recircular directamente en el hidrapulper. Esta alternativa ya se lleva a cabo en la fábrica desde hace poco tiempo, debido a que los tecnólogos de la fábrica vieron la posibilidad de recuperar las fibras rechazadas en el colador, las cuales eran vertidas hacia la zanja.

Además, dentro de este grafico se puede ver como podemos llevar a cabo otras modificaciones, como lo es la corriente #14(desecho de los hidrociclones) con un valor de 108.97 t/d, puede sustituir el flujo de los rechazos del colador. Es importante destacar que para llevar a cabo dicha modificación es necesario tratar dicha corriente para eliminarle el alto % de sólidos no celulósicos que contiene, porque de lo contrario contribuiría a incrementar la carga de sustancias contaminantes en el circuito, trayendo consigo consecuencias no deseadas.

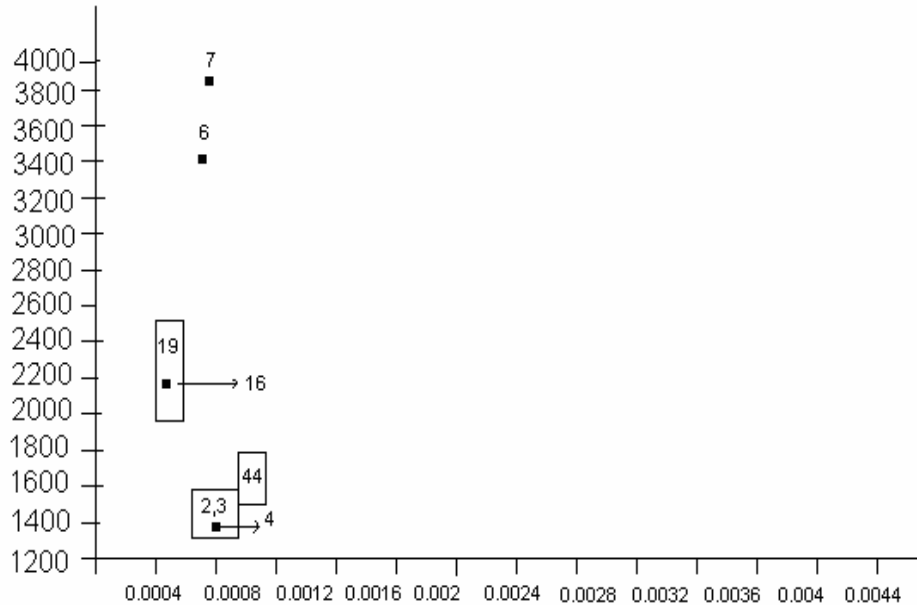


Figura 3.4 Diagrama fuente-sumidero

En la figura 3.4 existen dos posibilidades de reciclaje directo, tal es el caso de la corriente #4 (agua blanca proveniente del desagüador) con un flujo de 1324.46 t/d en el hidrapulper y de la corriente #16 (agua blanca extraída por las cajas de vacío), con un valor de 2192.51 t/d en el foso couch. Ambas variantes existen y se utilizan en la fábrica, existiendo correspondencia entre los resultados de la aplicación del método y la tecnología instalada.

También podemos ver en el diagrama como podemos segregar la corriente #7 (agua blanca del recuperador de fibras) de 3817.74 t/d a 1423.36 t/d y utilizarse en el hidrapulper sustituyendo una de las aguas blancas que se utilizan en el hidrapulper, puede ser la que proviene del tanque de filtrados (sumidero#2) o del tanque sello lavadora (sumidero#3).

Algo similar ocurre con el agua blanca que sale del espesador (corriente #6), la cual se puede segregar de 3402.67 a 1423.36 t/d y utilizar en el hidrapulper (sumidero#2). Dicha alternativa ya se lleva a cabo en la instalación. Es decir, el

agua que se utiliza del tanque de filtrados puede ser sustituida por el agua que genera el espesador.

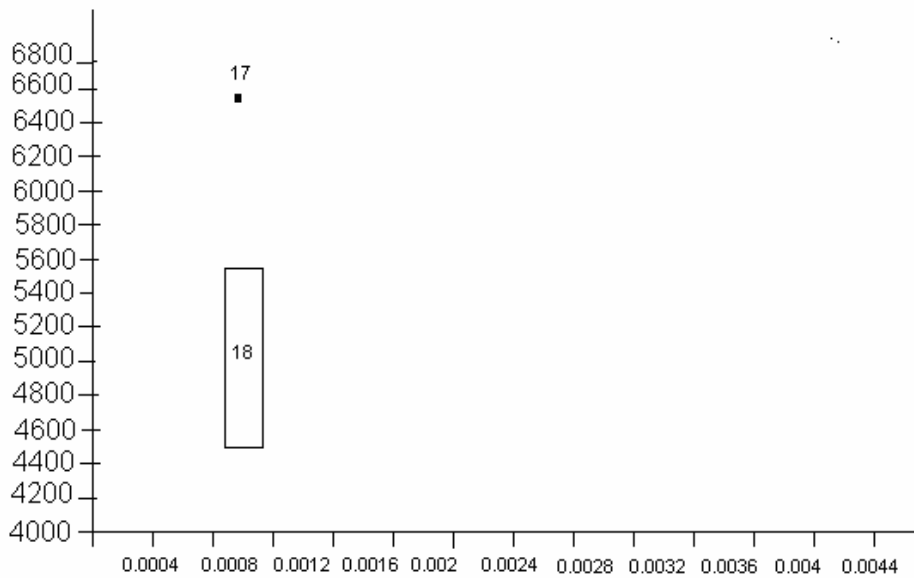


Figura 3.5 Diagrama fuente-sumidero

En el figura 3.5 podemos ver como la segregación de parte del flujo de la corriente #17 (agua blanca del foso de la fuente) de 6587.57 t/d a 4956.7 t/d puede ser utilizada en la succión de la bomba #1 para la dilución de pulpa que va a la maquina de papel. Esta variante forma parte del circuito primario de la maquina de papel. Por lo que este procedimiento justifica su implementación.

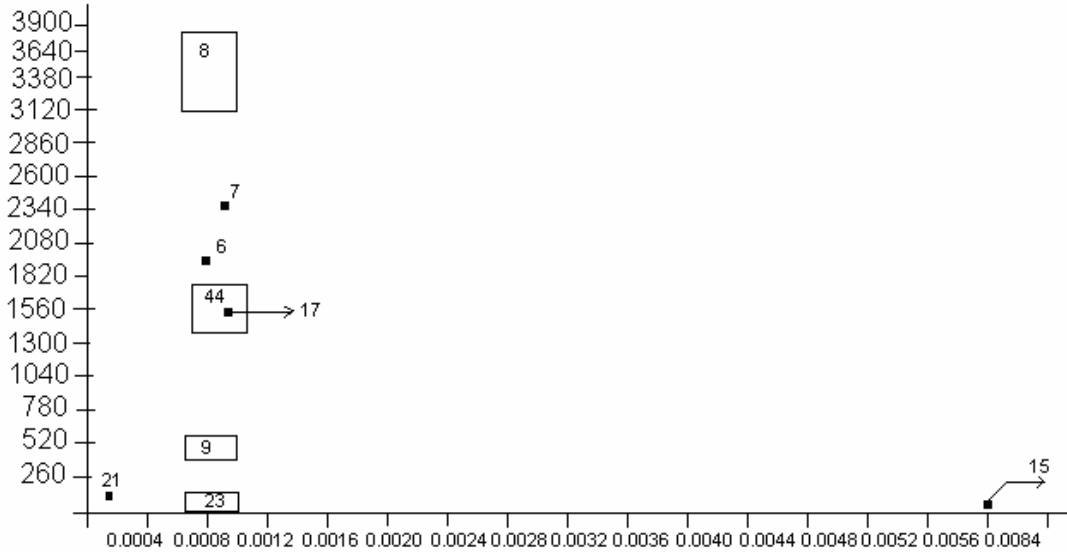


Figura 3.6 Diagrama fuente-sumidero

En el diagrama de la figura 3.6 se sintetizan todos los gráficos anteriormente estudiados, lo que nos permite reducir la escala y así ver todas las fuentes y sumideros que quedaron pendientes de los diagramas anteriores.

En el mismo se puede ver como como el resto de la corriente #17 (agua blanca del foso de la fuente) con un valor de 1630.87 t/d puede ser utilizada completamente en el foso couch. El destino de esta agua es el de pasar por el recuperador de fibras y obtener agua blanca de buena calidad para varias aplicaciones. Esta alternativa forma parte del circuito secundario de agua de la fábrica.

En este grafico podemos ver también como la segregación de la corriente #7 formada por el agua blanca del recuperador de fibras, la cual tiene un flujo de 2394.38 t/d, en el regulador de consistencia de la cuba de la máquina, siendo necesario para ello 512.11 t/d (sumidero #9). La alternativa anterior forma parte del sistema de circuitos de aguas blancas de la fábrica.

Además, de los 1882.27 t/d resultantes de la corriente # 7 se pueden tomar 8.64 t/d para ser utilizados en la dilución del dinapulper, lo cual actualmente tiene lugar

en el proceso tecnológico. Por lo que, al igual que en el análisis de la variante anteriormente mencionada, este método justifica la tecnología instalada.

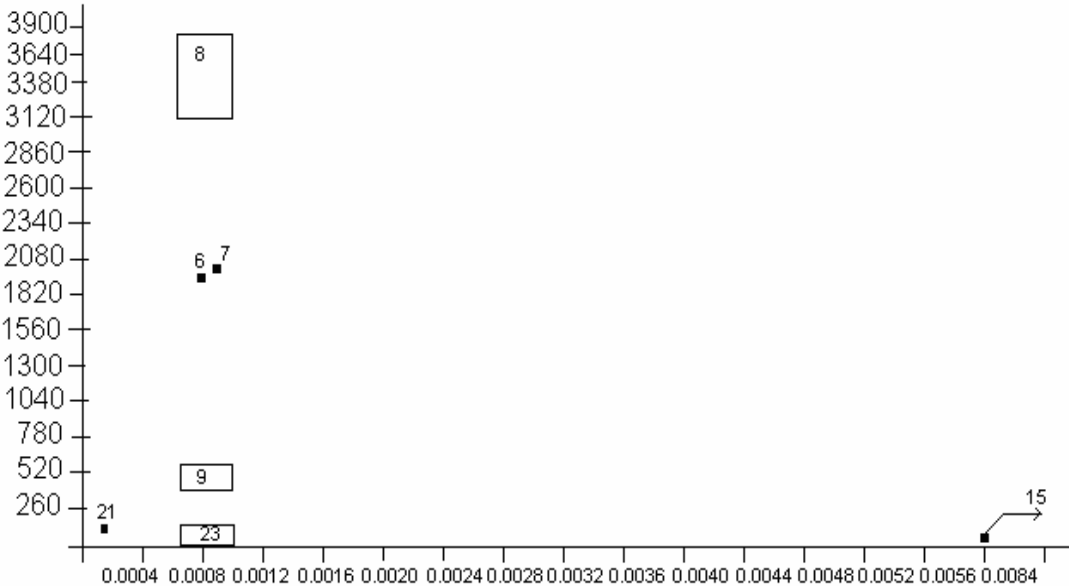


Figura 3.7 Diagrama fuente-sumidero

En este diagrama se puede observar las corrientes que no se pudieron insertar dentro de los sumideros, como lo son la #21 (agua blanca para sellaje de las bombas de vacío) y la #15 constituida por los rechazos del cleaner terciario, dichas fuentes será nuestra primicia el devolverlas al proceso en pos de cerrar el ciclo y llevar el desperdicio de efluente a cero. Para la mencionada operación será necesario realizar en las fuentes un tratamiento posterior con el objetivo de mejorarlas, reduciendo sus % de impurezas a la concentración mínima posible, ya que es nuestro deseo y el de la entidad reutilizar estas aguas(que hoy se desperdician) como agua fresca y también eliminar el desperdicio de efluente al

entorno; ya que esto aparte de dañar el ambiente que rodea a la papelera, conlleva un gasto adicional por tratamiento de residuales, por lo que si se eliminan estos eliminamos también un gasto a la empresa por este concepto. Tenemos que decir acerca de los diagramas confeccionados que en los mismos se incluyeron todas las fuentes y sumideros implicados en el proceso, cuando en realidad deben incluirse solo las fuentes que descargan como efluentes al medio e incluir solo los sumideros que consumen agua fresca; no obstante lo hicimos de la forma en que aparecen en este capítulo ya que nuestro objetivo (aparte de encontrar soluciones iniciales) fue ver si desde el punto de vista operacional el sistema estaba funcionando correctamente.

### 3.2 Estructura del circuito de aguas

La estructura básica que presenta el circuito de aguas es bastante sencillo, lo cual se demuestra en la figura 3.7.

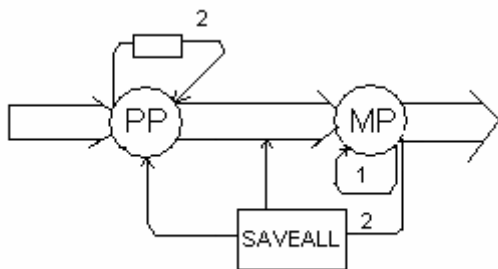


Figura 3.7 Estructura del circuito de agua papelera "Pulpa Cuba"

En el esquema se representa de forma simplificada el circuito primario de aguas blancas, donde se recircula directamente el agua y la fibra al proceso. En nuestro caso de estudio coincide con el agua del foso de la fuente, que es tomado por la bomba #1, siendo enviada a la caja cabecera y luego a la máquina de papel. Dicho foso almacena el agua blanca proveniente del desgote de la hoja en la mesa formadora y de la limpieza del fieltro de la máquina de papel. Como se muestra en la figura, la instalación cuenta con dos circuitos secundarios de aguas blancas, uno en la sección de preparación de pastas y otro en la sección de la



equipo de flotación puede tener además la adición de agentes coagulantes para ayudar a la remoción de residuales. El agua clarificada obtenida se usaría en la preparación de pasta y la fibra recuperada retornaría al proceso.

### 3.4 Selección del Equipamiento

#### 3.4.1 Tamiz de Tambor Rotatorio Sumergido

Para la selección del mismo se tuvieron en cuenta dos parámetros fundamentales: el flujo de residuales a tratar y el diámetro de orificios del tamiz. Teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante (ver anexo No 3), se tomó como diámetro de orificio 1 mm debido a que es el menor diámetro de orificio que se fabrica y, se supone, que sea el óptimo para la filtración de residuales que contengan materiales fibrosos. El flujo de residuales a tratar es de 0.0194 m<sup>3</sup>/s. El resultado de dicha selección es el modelo 90/90 SS, el cual está construido de acero inoxidable.

Las dimensiones del mismo se muestran en la tabla 3.5

Tabla 3.5 Dimensiones tamiz de tambor

Parámetro	U/M	Valor
Ancho	m	1.180
Altura	m	1.090
Longitud	m	1.575
Peso	Kg	8600

#### 3.4.2 Selección del equipo de flotación

La selección del equipo de flotación por aire disuelto se realizó de manera similar al caso anterior, ya que se tuvo en cuenta los datos ofrecidos por los fabricantes de este tipo de equipo (ver anexo No 4). Como criterio de selección se tomó el flujo a tratar en galones por minuto, siendo el mismo de 308.38 gal/min. El modelo propuesto por el fabricante para estas condiciones es el DAF-180, cuyas dimensiones se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Dimensiones equipo de flotación por aire disuelto

<b>Parámetro</b>	<b>U/M</b>	<b>Valor</b>
Largo	pie	28.25
Ancho	pie	8.16
Altura	pie	8
Área	pie <sup>2</sup>	180
Flujo a Tratar	gal/min	90 – 360
Peso del equipo vacío	Lb	14000
Peso del equipo en operación	Lb	91750

### **3.5 Análisis económico**

Después de haber determinado la cantidad de agua y fibra que descarga la fabrica en sus efluentes y el tipo de tratamiento propuesto para atenuar el vertimiento de residuales y el consumo de agua fresca, solamente queda analizar si económicamente es factible la solución propuesta. Para ello es necesario el análisis de los costos en el proceso que nos podrá dar una magnitud exacta de la magnitud de los recursos financieros que se pueden ahorrar. Es decir, primeramente se determinará el costo de operación inicial de la fábrica con la ausencia del circuito terciario y luego el costo operacional con las modificaciones anteriormente propuestas. Para el primer costo de operación se tendrá en cuenta el costo de adquisición del agua fresca, de los efluentes vertidos, de la fibra vertida equivalente a materia prima y costo de tratamiento de agua fresca. Luego se determinará el costo operacional de la instalación de tratamiento primario que corresponde al circuito terciario, donde se va a tener en cuenta el costo de tratamiento de efluentes y los demás costos señalados anteriormente, excepto los de fibra vertida debido a que se supone que se va a recuperar toda la fibra y los gastos asociados al vertimiento del residual.

#### **3.5.1 Determinación del costo de operación sin tratamiento de efluentes.**

- Costo de adquisición del agua fresca

El agua fresca que es utilizada por la entidad proviene de un río aledaño a la misma. Por tal concepto la fabrica debe pagar 0.10\$/m<sup>3</sup> de agua fresca sustraída a dicha fuente. El consumo de agua fresca de la entidad obtenido en la realización de los balances de materiales es de 4844.8 m<sup>3</sup>/d.

$$4844.8 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.10 \text{ \$/ m}^3 = 484.48 \text{ \$/d}$$

- Costo de los efluentes

Dicha entidad debe pagar 0.01\$/ m<sup>3</sup> de residual líquido vertido. El flujo de residuales generado es de 425.35 m<sup>3</sup>/d.

$$425.35 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.01 \text{ \$/ m}^3 = 4.25 \text{ \$/d}$$

- Costo de la fibra vertida equivalente a materia prima

La cantidad de fibra vertida por la entidad se obtuvo de la realización de los balances de materiales, siendo la misma de 0.7152 t/d. Además, se tuvo en cuenta la formulación utilizada como materia prima para determinar dicho costo. En tabla 3.7 se resume dicho aspecto.

Tabla 3.7 Costo de la fibra vertida

<b>Tipo de Materia Prima</b>	<b>Costo Unitario (\$/t)</b>	<b>% de materia prima</b>	<b>Flujo Vertido (T/d)</b>	<b>Costo (\$/d)</b>
<b>OCC Nacional</b>	158.00	32	0.2288	36.16
<b>DKL Importado</b>	190.00	20	0.1304	27.17
<b>Recorte Corriente</b>	147.12	48	0.3432	50.50
<b>Total</b>	-	-	-	<b>113.83</b>

- Costo del tratamiento de agua fresca

Para la determinación del mismo se tomo el reportado por el sitio web matche, siendo de 0.33 \$/m<sup>3</sup>.

$$4844.8 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.33 \text{ \$/m}^3 = 1598.78 \text{ \$/d}$$

$$\text{Costo Inicial} = 2201.34 \text{ \$/d}$$

### 3.5.2 Determinación del costo de operación con tratamiento de agua

- Costo del tratamiento de agua fresca

En este caso se supone que se va a reutilizar toda el agua residual, constituyendo un ahorro de agua fresca, es decir, se dejan de tratar 425.35 m<sup>3</sup>/d de los 4844.8 m<sup>3</sup>/d que se trataban inicialmente.

$$4419.45 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.33 \text{ \$/m}^3 = 1458.41 \text{ \$/d}$$

- Costo del agua fresca

Lo mismo ocurre con el caso anterior, ya que se supone que se va a reincorporar toda el agua residual se ahorra esa misma cantidad de agua fresca.

$$4419.45 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.10 \text{ \$/d} = 441.94 \text{ \$/d}$$

-Costo del tratamiento de efluentes

Para la determinación del costo del tratamiento de un m<sup>3</sup> de efluente para que pueda ser reciclado de forma directa se utilizó la metodología descrita por Ulrich (1992), la cual se apoya en una formulación matemática que depende de varios factores, dicha formula es la siguiente:

$$C_u = (a \times \text{CE Plant Cost Index}) + (b \times C_f)$$

Donde:

a y b: Coeficientes que dependen del tratamiento que se le va a dar al residual y del valor del flujo de residual vertido dado en m<sup>3</sup>/s.

CE Plant Cost Index: Índice de costo actual

C<sub>f</sub>: Costo de la electricidad en el tratamiento de efluente

$C_u$ : Costo total de tratamiento de un  $m^3$  de efluente para reciclarlo de forma directa

En la tabla que aparece en el propio artículo el autor da una serie de tratamientos que pueden ser usados en correspondencia con las características del efluente y el valor del flujo vertido dado en  $m^3/s$ .

El flujo de residuales a tratar es de  $0.0194 m^3/s$

$$a: 5 \times 10^{-5} + (2 \times 10^{-7}/q) = 6.03 \times 10^{-5}$$

$$b: 0.002$$

$$C_t = 5.8$$

El índice de costo actual es de 394.1

$$C_u = 0.035 \$/m^3$$

$$C_f = 1915.23 \$/d$$

$$\text{Ahorro} = C_i - C_f$$

$$\text{Ahorro} = 2201.34 - 1915.3 = 286.11 \$/d$$

$$\frac{286.11\$}{d} \times \frac{21d}{mes} \times \frac{6meses}{año} = 36049.86 \$/año$$

### 3.5.3 Estimación del Tiempo de recuperación de la inversión

Para la estimación del tiempo de recuperación de la inversión es necesario conocer el costo del equipamiento seleccionado anteriormente

- Costo del equipo de flotación por aire disuelto

$$V = 1844.16 \text{ pie}^3$$

$$\text{Costo de la celda de flotación} = 15.00 \$/\text{pie}^3$$

$$\text{Costo del Equipo (1970)} : C_e = 15.00 \$/\text{pie}^3 \times 1844.16 \text{ pie}^3 = 27662.40\$$$

$$\text{Costo Actual del equipo: } C_{ae} = C_e \times I_{Ca} / I_{C_{1970}}$$

$$I_{C_{1970}} = 109.1$$

$$I_{C \text{ actual}} = 394.1$$

$$C_{ae} = 99\,924.39 \$$$

- Costo de la criba de tambor rotatorio

$$\text{Costo Criba} = 24100\$ \text{ (tomado del sitio web Matche)}$$

$$\text{Costo Total del Equipamiento} = 124024.39\$$$

Tabla 3.8 Aspectos para la determinación de la inversión fija

Parámetro	% (Peters, 2003)	Costo (\$)
Costo de adquisición	-	124029.39
Costo de instalación	39	48371.46
Costo instrumentación y control	26	32247.64
Costo de electricidad	10	12402.93
Requerimientos	55	68216.16
Total Inversión Fija	-	285267.58

Tiempo de recuperación de la inversión:  $T_{RI} = \frac{I}{G}$        $I$  Inversión fija

$G = \text{Ahorro} - \text{Amortización}$

Amortización = Inversión fija / 20 años

Amortización = 20551.86 \$/año

$G = 36049.86 - 20551.86 = 15497.99$  \$/año

$T_{RI} = 285267.58$  \$ /  $15497.99$  \$/año

$T_{RI} = 18$  años

Como se observa, el tiempo de recuperación de la inversión es elevado, es decir, no se satisfacen los requerimientos relacionados con la economía del proceso, aspecto que puede estar asociado a los valores de los gastos asumidos para la estimación de la inversión, los que se tomaron considerando un proceso en el que intervienen sólidos y fluidos, donde realmente estamos en presencia de un proceso de tratamiento de líquidos debido al bajo por ciento de sólidos en las corrientes. Considerando este aspecto, el tiempo de recuperación de la inversión se reduce significativamente.

## **Análisis de los resultados**

- Basado en el procedimiento de evaluación tecnológica que incluyó el análisis del estado técnico del equipamiento se puede afirmar que las condiciones actuales del equipamiento de proceso y sistemas auxiliares no es satisfactorio.
- A partir del análisis de los estudios de caracterización de las aguas residuales se puede definir que los valores de los parámetros medidos en el canal general se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para la descarga de estos residuales a la fuente fluvial receptora.
- Se realizaron los balances de materiales y se determinaron las principales corrientes del proceso con el propósito de determinar la magnitud de los consumos de agua fresca y de las corrientes residuales del proceso. Además, se determinó que el consumo de agua fresca es de aproximadamente de 4844.8 t/d, el índice de consumo oscila entre 69.21 t agua/t papel y el flujo de residuales es de 425.35 t/d, de los cuales 0.715 t/d son de fibra.
- Mediante el método de integración de masa denominado diagrama fuente-sumidero se verifico la disposición actual de las corrientes y equipamiento, así como las modificaciones requeridas para reducir los consumos de agua y fibra. Se evaluó el sistema de aguas de proceso y se definieron las oportunidades de reciclo de agua para la reducción del consumo de agua y la reducción de la emisión de residuales líquidos del proceso. Este análisis contribuyó a la definición de un nuevo esquema tecnológico que incluye la modificación del esquema de aguas a través del circuito terciario de agua blanca, con la introducción de equipos para el tratamiento primario de aguas residuales. En el circuito terciario se incorporaron un equipo de filtración continua para la extracción parcial de sólidos y un equipo de flotación, mediante el cual se logra la clarificación de las aguas mediante flotación y sedimentación. Mediante las modificaciones se logra obtener una disminución de 425.35 t/d de aguas de proceso y la recuperación de 0.715 t/d de fibra.
- El análisis económico comprendió la determinación de los costos de tratamientos u operacionales del sistema propuesto, el ahorro por concepto de la recirculación de agua, fibra y vertimiento de residuales, así como la estimación del costo de

inversión de la nueva instalación que se propone para el tratamiento primario de los residuales y su posterior reincorporación al proceso. Se determinó el periodo de recuperación, siendo el mismo de 18 años, lo cual está condicionado a algunas incertidumbres en los aspectos asumidos y magnitudes de estos aspectos de los costos asumidos para el cálculo de la inversión.

## **Conclusiones**

- 1- Mediante la aplicación del procedimiento de evaluación tecnológica en el contexto de la planta de papel se midió íntegramente el impacto técnico y económico de las modificaciones del sistema de aguas de proceso en la tecnología de producción de papel.
- 2- La aplicación del diagrama fuente-sumidero hizo posible la determinación de las oportunidades de ahorro de agua y fibra en la planta de papel.
- 3- La incorporación de un circuito terciario de aguas de proceso conduce a la reducción del consumo específico de agua fresca de 69.21 t agua / t papel a 63.13 t agua/ t papel.

## **Recomendaciones**

- 1- Completar la información en cuanto a datos de proceso requeridos para realizar la simulación estática o dinámica del proceso.
- 2- Definir y evaluar otras alternativas para el sistema de tratamiento primario a partir del refinamiento de la investigación bibliográfica y del completamiento de la información en cuanto a datos del proceso.

## Referencias Bibliográficas

- 1- Anónimo FAO (1996): "Technology assessment and transfer for sustainable agriculture and rural development in the Asia-Pacific Region", tomado de: Technology assessment and transfer for sustainable agriculture and rural development the Asia-Pacific Region: a research management perspective (FAO 1994). <http://www.fao.org/sd/RTdirect/RTre0019.htm>
- 2- Argonne National Laboratory (2000): "Technology Evaluation" The University of Chicago, U.S. Department of Energy. <http://www.anl.gov>
- 3- Bosch, H. E., C. A. Debarbieri (2000): "Gestión de Tecnología", Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Edición electrónica, 176 p. <http://www.campus-oei.org/salactsi/gestec.htm>
- 4- Bresh, W. Dalpke, H, L. Closed Water Circuits in a Paper Mill Using Waste Papel. WFP 100. 1972. Pag 579.
- 5- Bresh, W. Dalpke, H, L. The Closed Water Circuit in a Fundamental Consideration. WFP 101. 1973. Pag 235.
- 6- Colectivo de autores." Declaración de la agencia de protección al entorno de los Estados Unidos"(EPA), 1998.
- 7- Cripps, H." Process integration in the pulp and paper industry". Tappi journal. Vol. 81, N<sub>o</sub>. 10. February, 2000
- 8- Crumpler, P."Pollution prevention by design". Chemical Engineer. Vol. 96, N<sub>o</sub> 12, pp. 102. December 1989
- 9- Delgado, A. Estrategia para el calculo de balances de materiales en la industria del papel. Trabajo de Diploma. UCLV. 1990. Pags 5 – 7, 22 – 80.
- 10-Diccionario Conceptual Tesauros (2000): "Evaluación tecnológica". [http://pci204.cindoc.csic.es/tesauros/SpinTes/html/SPI\\_T21.HTM](http://pci204.cindoc.csic.es/tesauros/SpinTes/html/SPI_T21.HTM)
- 11-Documentos Técnicos Papelera "Pulpa Cuba" . 2003.
- 12-Eastwood, A. R.; Tanish, R. A." Minimizing wastewater emissions using WATER PINCH™ ANALYSIS". Technical withe paper. August, 1998. Copyright 1998. Linnhoff march, 2001
- 13-EI-Halwagi, M. M., Srinivas B. K."Synthesis and optimization for

- environmental process design-a review of the state of the art". American chemical society. Spring meeting session, 1997.
- 14-EI-Halwagi, M. M.; Sheley, M. "Mass integration for the optimal design of optimal recovery and allocation of infinite pollutants". 2000.
- 15-EI-Halwagi, M. M.; Spriggs, H. D."Solve design puzzles with mass integration". Chemical engineer progress, pp. 25-42. August, 1998.
- 16-EI-Halwagi, M. M.; Srinivas B. K."Synthesis of reactive mass-exchange networks with general nonlinear equilibrium function".AICHE JOURNAL. VOL. 40, N<sub>o</sub> 3, pp. 463-472, 1994.
- 17-EI-Halwagi, M. M."Synthesis of reverse-osmosis networks for waste reduction". AIChE journal. Vol. 38, N<sub>o</sub>. 8, pp. 1185-1198, 1992
- 18-Expediente de Norma de Empresa. Papelera "Pulpa Cuba". 1983.
- 19-Frank, C. W., Claire Sink(2000): EM's Fundamentals of Technology Transfer. <http://www.nttc.edu/maps/navbar.map>
- 20-Gottsching, L. Dalpke, H, L. Chances and Risks of Closing the Water Circuit in Paper Mill. Papier 30. 1976.
- 21-Hamad, A.; Varma V."Mass integration analysis, a technique for reducing methanol and effluent discharge in pulps mills". Tappi journal. Vol. 81, N<sub>o</sub>10. October 1998.
- 22-Hernandez Carmentate, Y. Procedimiento para la evaluación de la tecnología en las etapas de transferencia tecnológica del Combinado de Papeles Blanco de Jatibonico. Trabajo de Diploma. UCLV. 2003.
- 23-Hernández T., J. P., García, A. (2004): "Procedimiento para el mejoramiento de la evaluación tecnológica y de la transferencia tecnológica de procesos químicos." Memorias en CD del V Congreso Internacional de Química e Ingeniería Química, 18-22 octubre, Ciudad de La Habana
- 24-Herrera, P. Balance de Agua y Fibra en Máquina de Papel. Trabajo de Diploma. UCLV. 1982. Pags 13 – 48.
- 25-Hurme, M."Conceptual design of clean process: Tools and Methods", 1997.
- 26-International Association for Technology Assessment and Forecasting Institutions (IATAFI) (2001). <http://www.iatafi.org>

- 27-Johnson, T."The water map to guide a managing yours system of mill". Tappi journal. Vol. 44, N<sub>o</sub> 1, pp. 37-38, 2000
- 28-Krishnagopalan, G."Implementing lesson of nature in the industrial recycling networks enhancing regional development". Journal cleaner production. Vol. 5, N<sub>o</sub> 1-2, pp. 47-56, 1998.
- 29-Labidi, J., G. Noël, M. Perrier et J. Paris (1999):"Process Analysis & Energy Optimisation", Chap. III in Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry, Monograph, PAPRICAN ed., Pointe-Claire,Qc
- 30-Labidi, J., P. Mutjé, M. À. Pèlach, X. Turon, J. Paris (2001): "Integración de procesos en fabricas de papel: de la teoría a la práctica", El Papel; Junio/Julio, p. 80-87
- 31-Magnusson, P."Water recovery in an integrated pulp and paper mill with membrane filtration", Chemical Engineering I.,Lund Institute of Technology, 2001, <http://www.kat.lth.se/publ/2002-5010.pdf>
- 32-Majonin, A.G. Principio de la tecnología papelera. UCLV.1976.
- 33-Michalek, R.; Lombardo, G.; de la Chesnaye, F."Manual de capacitación de minimización de residuos".World Environment Center. Nueva York. Noviembre, 1996.
- 34-Mulholland, K. L.; Dyer, J. A."Follow this path to pollution prevention". Chemical engineering progress. January, 1998.
- 35-Norma de Empresa. Papelera "Pulpa Cuba". 2002.
- 36-Oropesa, F y col. Sistema de gestión Ambiental Papelera " Pulpa Cuba". Geocuba. 2003.
- 37-Pan American Enviromrntal (2001): Dissolve Air Flotation.  
<http://www.panamenv.com/dissolve-air-flotation, htm>.
- 38-Parthasarathy, G.; El-Halwagi, M. M."Mass integration for multicomponent nonideal systems". American chemical society. Annual meeting session,1997.
- 39-Parthasarathy, G.; Krishnagopalan, G."Systematic relocation of aqueous resources using mass integration in a typical pulp mill". Advances in environment research. August, 2000.

- 40-Peters, M.S., "Plant desing and economics for chemical engineers",  
Segunda edición, 1968.
- 41-Perry Robert H, Chilton Cecil H. Chemical Engineers Handbook. Robert  
H. Perry, Cecil H.Chilton. Editorial Pueblo y Educación.1984.
- 42-Revista "El Papel". Número 82. Febrero/Marzo 2000. Pag 69.
- 43-Salome, J. A, Goikoetxea.(2004):  
<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-3.PDF>
- 44-Srinivas, B. K."An overview of mass integration and its application to process  
development". Advances in environmental research. January, 1996
- 45-Spriggs, H. D.; Garrison G. W."Optimal separation and allocation of hydrogen  
using species interception networks". Spring meeting session 126. AICHE,  
1997
- 46-Spriggs, H.; Mahmoud, M."Solve Design Puzzles with mass integration".  
Internet. Chemical engineer progress. August, 1998
- 47-Thriparti, P."Pinch technology reduces wastewater". Chemical Engineering.  
Vol. 103, N<sub>o</sub> 11, pp. 87-90. November, 1996.
- 48-Torres, A. Astal, F. Curso para Técnicos Papeleros. Jatibonico. Cuba. 1990.  
Tema IV.
- 49-Tulbure, I. (2002): "Considerations Regarding Evaluation Methods in  
Technology Assessment", Technische Universität Clausthal, RFA, 9 p.  
<http://www.tu-clausthal.de/>
- 50-Turon, X., X. Zafra (2004): "Simulación de procesos de fabricación de pastas  
y papel".
- 51-Ulrich, Gael D. How to calculate utility cost. Chemical Engineering. February  
1992. Pag 110.
- 52-Wilson, S. D.; Manousiousthakis, V. I." Heat/Mass exchange networks  
synthesis with stream mixing: a linear program formulation". Annual meeting  
session 199. AICHE, 1997.
- 53-Zippel, F. Water Management in Paper Mill. Second Edition. 2001. Pags 1-  
23, 127 – 134, 235 – 245, 280 – 294.

## Anexo 1

Tabla 1.1 Resultados de la clasificación de fibras realizada en el Cleaner Terciario

<b>Compartimiento</b>	<b>Masa Total Acumulada (g)</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>1</b>	1.6250	27.48
<b>2</b>	1.1617	32.31
<b>3</b>	1.3823	23.10
<b>4</b>	0.7391	14.64
<b>Blanco</b>	5.0285	-

Tabla 1.2 Resultados de las Incineración

<b>Compartimiento</b>	<b>Masa Acumulada (g)</b>	<b>Masa Inorgánicos (g)</b>	<b>% Inorgánicos</b>
<b>1</b>	1.2544	0.6757	53.86
<b>2</b>	1.0042	0.1931	19.22
<b>3</b>	1.1326	0.2846	25.12
<b>4</b>	0.7305	0.1980	27.10
<b>Blanco</b>	1.1124	0.2458	22.09

## Anexo 2

Tabla 2.1 Resultados de la clasificación realizada en los hidrociclones.

<b>Parámetro</b>	<b>UM</b>	<b>Resultado</b>
Masa de impurezas	g	139
Masa de fibra fina	g	50.25
Masa de fibra gruesa	g	27.5
Total	g	216.75
% de fibras	-	33
% de inorgánicos	-	77

### Anexo #3

Tabla 3.1 Parámetros de diseño de los tamices de tambor sumergidos

DIMENSIONS															
						DRAINER SCREW AT RIGHT					DRAINER SCREW IN-LINE				
MODEL	SUBOSCREEN				ANGLES TO CHANNEL FLOW						WITH CHANNEL FLOW				
	WEIGHT	WIDTH	HEIGHT	LENGTH	D'	a°	A	B	C	NOMINAL	φ°	X	Y	Z	NOMINAL
										LENGTH					LENGTH
							± 25	± 25	± 25			± 25	± 25	± 25	
WS90/90	760 kg*	1180	1090	1575	138	33	2379	1876	450	3000	33	515	2197	3335	3000
	8600 kg**														
WS150/150	1700 kg*	1856	1765	2260	164	33	3043	2781	450	3600	33	675	2837	3423	3600
	1800 kg**														
WS200/200	2800 kg*	2730	2291	2870	222	33	3153	3063	450	3600	33	920	3105	3432	3600

#### BUDGET SIZING PRIOR TO SELECTION OF SUBOSCREEN

**NOMENCLATURE** 90/90 = 900/900  
 (Screen in millimeters) 150/150 = 1500/1500

Tabla 3.2 Tabla para la selección del tamiz de tambor sumergido

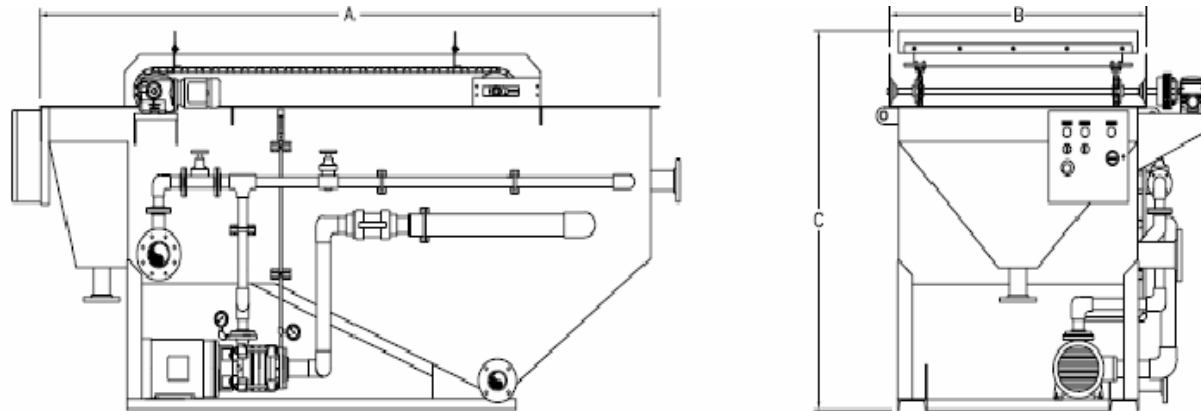
Slot size in mm

6.0	90/90 SS/Alloy										150/150 SS/Alloy										200/200 SS/Alloy															
5.0	90/90 SS/Alloy										150/150 SS/Alloy										200/200 SS/Alloy															
4.5	90/90 SS/Alloy										150/150 SS/Alloy										200/200 SS/Alloy															
3.0	90/90 SS/Alloy										150/150 SS/Alloy										200/200 SS/Alloy															
2.5	90/90 SS/Alloy										150/150 SS/Alloy										200/200 SS/Alloy															
1.5	90/90 SS										150/150 SS										200/200 SS															
1.0	90/90 SS										150/150 SS										200/200 SS															
= x1000L/M	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
= M <sup>3</sup> /Sec	.16	.33	.50	.66	.83	1.0	1.16	1.3	1.5	1.66	1.8	2.0	.16	.33	.50	.66	.83	1.0	1.16	1.3	1.5	1.66	1.8	2.0	.16	.33	.50	.66	.83	1.0	1.16	1.3	1.5	1.66	1.8	2.0

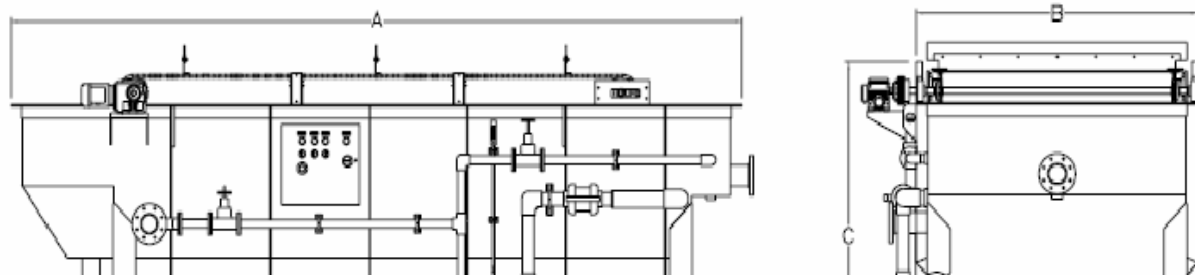
Volume

## Anexo 4

Tabla 4.1 Parámetros de diseño para equipos de flotación por aire disuelto



Model	Dimensions			Area Ft.2	Weights(lbs)		Flow GPM
	A	B	C		Empty	Operating	
DAF-8	10'-6"	2'-4"	5'-6"	8	890	2720	4-16
DAF-12	10'-6"	2'-10"	5'-6"	12	985	3422	6-24
DAF-18	10'-6"	3'-4"	5'-6"	18	1250	4925	9-36
DAF-24	10'-6"	4'-4"	5'-6"	24	1560	6605	12-48
DAF-36	10'-6"	6'-4"	5'-6"	36	2165	9481	18-72



Model	Dimensions			Area	Weights(lbs)		Flow
	A	B	C	Ft.2	Empty	Operating	GPM
DAF-60	15'-9"	6'-0"	6'-1"	60	5800	25,200	30 - 120
DAF-85	20'-0"	6'-0"	6'-1"	85	7900	36,700	42 - 170
DAF-100	20'-0"	6'-8"	6'-7"	100	9250	50,000	50 - 200
DAF-120	24'-3"	6'-8"	6'-7"	120	10,600	60,200	60 - 240
DAF-150	27'-3"	7'-2"	7'-0"	150	12,175	73,900	75 - 300
DAF-180	28'-3"	8'-2"	8'-0"	180	14,000	91,750	90 - 360
DAF-200	31'-1"	8'-0"	8'-0"	200	15,100	100,600	100 - 400
DAF-250	33'-10"	9'-0"	8'-5"	250	18,200	129,870	125 - 500
DAF-300	36'-0"	9'-0"	8'-5"	300	20,800	166,000	150 - 600
DAF-350	42'-0"	10'-4"	9'-0"	350	22,300	174,300	175 - 700
DAF-400	48'-0"	10'-4"	9'-0"	400	25,350	225,000	200 - 800
DAF-450	55'-0"	10'-4"	9'-0"	450	29,000	240,500	237 - 950
DAF-550	59'-0"	11'-0"	9'-0"	550	39,700	268,000	275 - 1100
DAF-600	62'-0"	11'-4"	9'-8"	600	45,950	295,000	350 - 1200