

ESTUDIO SIMULADO DEL CICLO DE AGUA EN LA INDUSTRIA PAPELERA

Agustín Benítez Hernández, Yamilé Martínez Ochoa, Lily Beth Martín Juvier
Facultad de Ingenierías Química y Mecánica, Universidad de Matanzas

El desarrollo sostenible de la industria del papel necesita procesos de fabricación con una buena eficacia en el uso del agua, un aprovechamiento casi total de la materia prima y un impacto ambiental menor.

El siguiente trabajo se realiza en una industria de producción de papel tissue, siendo el objetivo realizar el estudio simulado del ciclo de agua en la industria papelera para lo cual se utiliza el simulador de procesos SuperPro Designer.

Se realiza el análisis de un caso base para comparar los resultados experimentales contra los simulados y se obtiene que el error calculado para cada valor simulado es menor de 10 % por lo que el modelo simulado se adecua a la realidad.

El análisis de sensibilidad del modelo se realiza mediante el análisis de un diseño experimental de tamizado del tipo factorial a dos niveles donde se estudia la reacción del principal contaminante de la calidad del producto final, los sólidos disueltos totales en el agua de recirculación, ante la variación de diferentes factores en la corriente de materia prima (papel reciclado). El análisis del diseño de experimentos arroja que, para un nivel de significación de 10 %, las variables HWS (Hard White Sharing, principal componente de la corriente materia prima) y el contenido de carbonatos en la materia prima son las únicas variables significativas dentro del proceso.

Palabras clave: *industria del papel, ciclo de agua.*

Sustainable development needs of paper industry manufacturing processes with a good efficiency in the use of water, an almost total use of raw materials and less environmental impact.

The following work is performed in a production industry, tissue paper, the objective being the study of water cycle models in the paper industry for which you use the process simulator SuperPro Designer.

There is an analysis of a base case to compare against the simulated experimental results obtained and the error calculated for each simulated value is below 10 % in the simulated model conforms to reality.

The model sensitivity analysis is performed by analysis of a screening experimental design of two-level factorial type which studies the reaction of the major contaminant in the final product quality, total dissolved solids in water recirculation to the variation of different factors in the flow of raw material (recycled paper). Design analysis of experiments shows that, for a significance level of 10 %, variables HWS (Hard White Sharing the main component of the current raw material) and the carbonate content in the raw material are the only significant variables in the process.

Key words: *paper industry, water cycle.*

Introducción

La industria moderna, desde las últimas décadas, ha comenzado a prestar gran atención al uso del agua. Sus costos de adquisición y de desecho aumentan cada día. Estos temas han definido el diseño de nuevos procesos para que la reducción de los residuales líquidos y la conservación del

agua sean económicamente rentables, involucrando su recirculación y reutilización /1/.

El desarrollo sostenible de la industria del papel necesita procesos de fabricación con una buena eficacia en el uso del agua, un aprovechamiento casi total de la materia prima y un impacto ambiental menor. El cierre de circuitos constituye

una buena medida a aplicar a corto plazo /3/. Actualmente el consumo de agua en las fábricas de papel se sitúa alrededor de 80 m³ por tonelada de papel que se produce por lo que es imprescindible lograr una reducción de este índice de consumo /3/.

Disponer de una descripción de todas las corrientes que interviene en el procesos resulta imprescindible para la toma de decisiones durante el cierre de los circuitos de agua. Para obtener la caracterización cualitativa y cuantitativa de cada corriente resulta conveniente el uso de simuladores industriales. Un simulador de procesos cuantifica las características de las corrientes, los requerimientos energéticos y los parámetros de cada equipo para las condiciones de operación. Esta información se convierte en la base del consumo de utilidades y adquisición de equipos para cada módulo de equipamiento /2/

El proceso de producción de papel consiste en una secuencia de operaciones mecánicas de molienda, dilución, espesado y lavado de corrientes para la transformación de la materia prima en fibra que tenga la calidad y condiciones físico - químicas necesarias /5/.

El objetivo del presente trabajo es realizar el estudio simulado del ciclo de agua en la industria papelera.

Se utiliza el simulador de procesos SuperPro Designer que según reporta la literatura ha sido utilizado con éxito en disímiles industrias cuyos modelos no tienen un fuerte componente termodinámico, como es el caso de la industria del papel /4/.

Diagrama de flujo de información

La figura 1 muestra el diagrama de flujo de una línea típica de producción de papel tissue. La materia prima (papel reciclado y/o pulpa de papel) se alimenta a un hydropulper, con el objetivo de que se desintegre en agua y forme una suspensión acuosa. Esta pulpa se purifica en sucesivos hidrociclones y coladores, donde se le eliminan las

impurezas suspendidas. En los refinadores ocurre la fibrilación y se modifica la morfología de las fibras. Finalmente la pulpa se conforma en hoja en la caja cabecera de la máquina de papel. Durante todo el proceso la pulpa se disuelve con agua y se vuelve a espesar en varias ocasiones.

El primer paso para la simulación es la confección del diagrama de flujo de información (DFI) a partir del diagrama de flujo del proceso. Este último se modifica con el objetivo de lograr un diagrama simplificado sin afectar la funcionalidad de la planta desde el punto de vista de la simulación.

Las principales modificaciones que se introducen al diagrama de proceso son:

- ◆ Se incorpora un mezclador de corrientes para unir la materia prima y el agua de dilución en la alimentación del hydropulper.

- ◆ Se eliminan los tanques de almacenamiento, ya que se trata de un proceso continuo. Solo se conserva el tanque a la descarga del hydropulper para amortiguar la operación discontinua de este equipo.

- ◆ Se adicionan mezcladores y divisores de flujo propios de los softwares de simulación.

- ◆ Se sustituyen las bombas de dilución por mezcladores de corrientes.

- ◆ Se sustituye el espesador por un separador de componentes.

Se considera al tanque II/24 como la combinación de un mezclador de corrientes y un separador de componentes.

El diagrama de flujo de información resultante se muestra en la figura 2.

Análisis de un caso base

Para comprobar la validez del comportamiento del modelo que se obtiene en la simulación es necesario realizar simulaciones partiendo de los datos reales disponibles:

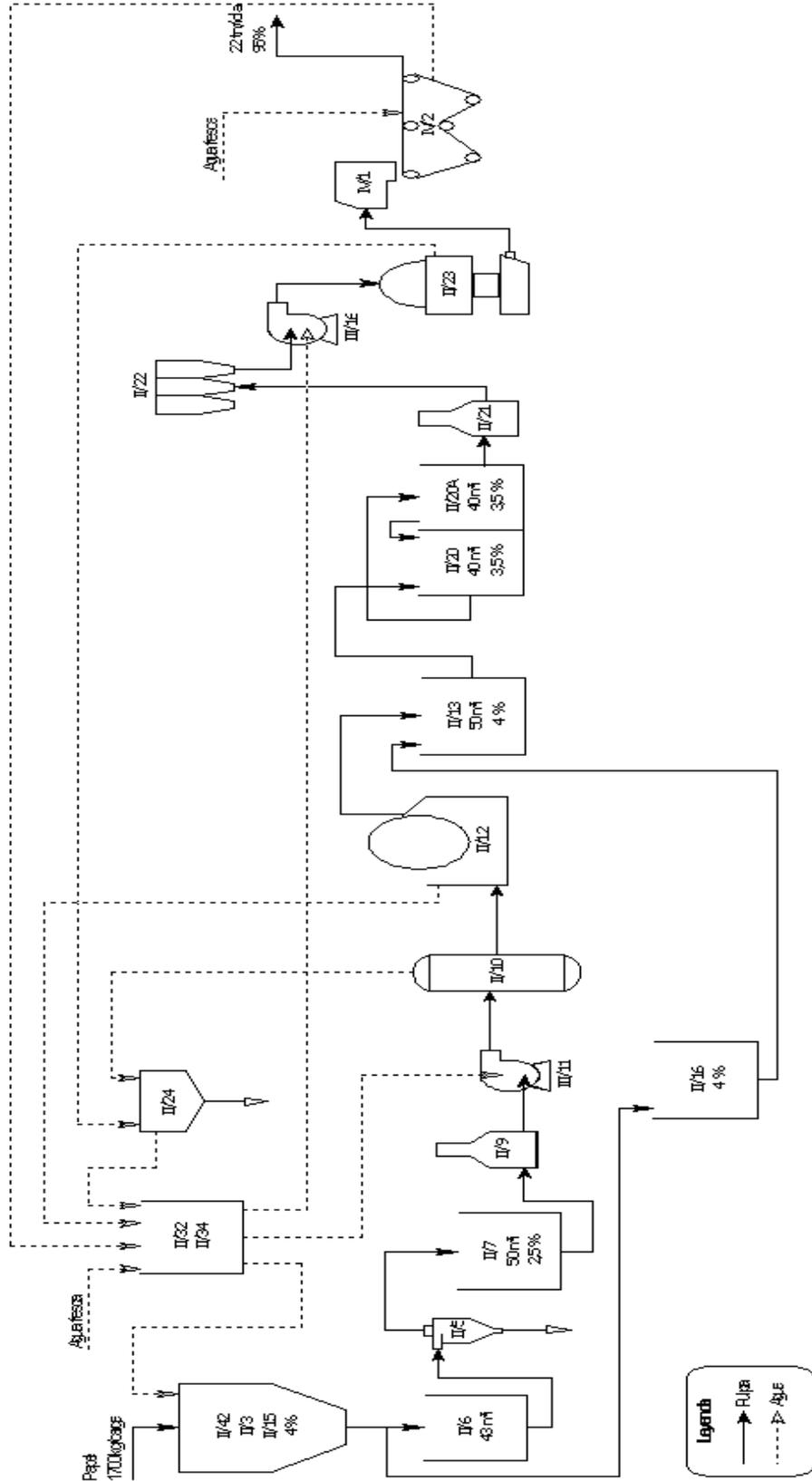


Fig. 1 Diagrama de flujo de una planta de papel tissue.

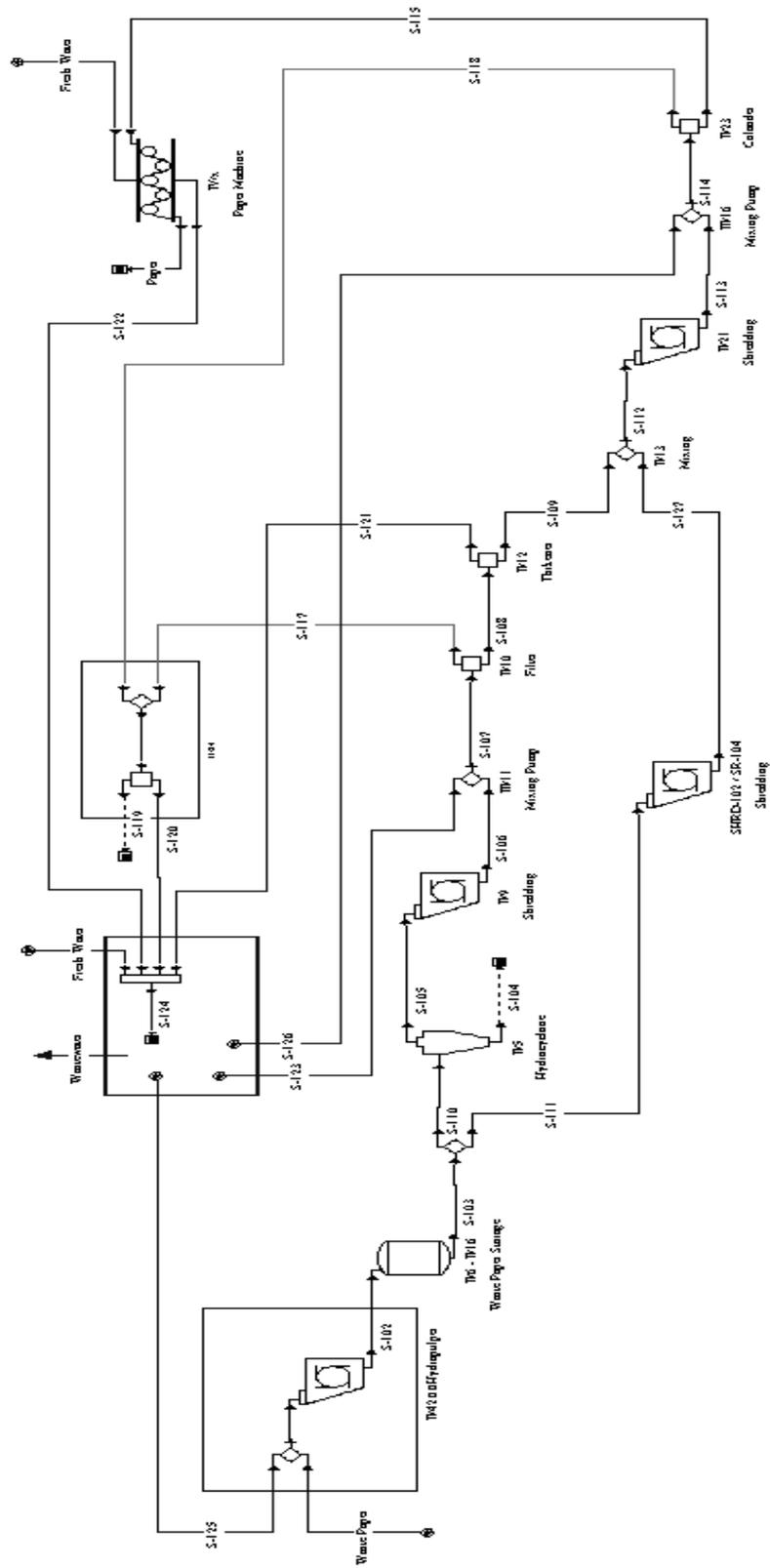


Fig. 2 Diagrama de flujo de una planta de papel tissue.

A continuación se muestra la información de la materia prima que se utiliza, los datos de operación del hydropulper, los datos del papel que se produce y la consistencia de las principales corrientes que intervienen.

Datos de la materia prima que se utiliza:

Papel reciclado	Valor medio
Masa	1700 kg / carga
Humedad	7 - 10 % de la carga
HWS	20 - 40 % de la carga
Carbonatos	10 - 20 % del HWS
Tinta	0,7 - 2 % de la carga

Datos de operación del hydropulper:

Hydropulper	Valor medio
Tiempo de operación	0,75 hora / carga
Consistencia	4 % de fibra

Datos del papel que se produce:

Papel	Valor medio
Masa	22 t / día
Humedad	5 %

Consistencia de las principales corrientes:

Corriente*	Consistencia
S-102	4,00 % de fibra
S-107	1,00 % de fibra
S-109	4,00 % de fibra
S-114	0,40 % de fibra

* *Se refieren a las corrientes en el DFI (fig. 2)*

El análisis comparativo de los resultados experimentales contra los simulados para la determinación de la adecuación de los valores simulados a la realidad se muestran a continuación:

Parámetro	Real	Simul.	Error
Consist. S-102 (%)	4,00	3,76	6 %
Consist. S-107 (%)	1,00	0,94	6 %
Consist. S-109 (%)	4,00	3,86	4 %
Consist. S-114 (%)	0,40	0,38	5 %
Papel (kg/h)	916,67	940,58	3 %
Humedad papel (%)	5,00	4,99	0 %

El error calculado para cada valor simulado es, en todos los casos, menor de 10% por lo que el modelo simulado puede ser utilizado para obtener los datos de las corrientes del proceso que no se podrían obtener de forma experimental.

Análisis de sensibilidad

Este análisis es fundamental en la validación del modelo que se obtiene, ya que permite conocer la sensibilidad con que éste responde a variaciones en los parámetros que lo conforman. Para determinar la reacción del modelo se selecciona un rango en el cual pueden fluctuar las variables.

En este caso se estudiará como reacciona el principal contaminante de la calidad del producto

final, los sólidos disueltos totales en el agua de recirculación, ante la variación de los factores que en la corriente de materia prima (papel reciclado). Estos factores son:

- ◆ Por ciento de humedad.
- ◆ Concentración de carbonato.
- ◆ Formulación del papel reciclado (HWS - Hard White Shaving, principal componente de la corriente materia prima).

Se propone un diseño experimental de tamizado del tipo factorial a dos niveles con este fin. Los niveles seleccionados para estas variables se toman de los valores que se reportan por la planta:

Parámetro	Nivel inferior	Nivel superior
Humedad	7 %	10 %
HWS	20 %	40 %
Carbonato	10 %	20 %

A partir de estos niveles se planifican los ocho experimentos, y una vez que se realizan las corri-

das con el simulador, se obtienen los resultados siguientes:

Exp.	Humedad	HWS	Carbonato	Sólidos disueltos
1	7	20	10	167,74
2	10	20	10	166,74
3	7	40	10	168,92
4	10	40	10	168,92
5	7	20	20	168,92
6	10	20	20	168,92
7	7	40	20	173,27
8	10	40	20	173,26

Estos resultados fueron estudiados mediante un análisis de varianza y el correspondiente diagrama de Pareto (figura 3). A partir de estos se llega a la conclusión de que, para un nivel de significación de 10 %, las variables HWS y el contenido de carbonatos en la materia prima son las únicas variables significativas dentro del proceso. Esto

se fundamenta en que el HWS es una materia prima formada por papel reciclado de libros y revistas que aportan tinta y carbonatos. La variación de estos parámetros puede influenciar en el contenido de sólidos disueltos en el producto final. La humedad y la interacción de ésta con las otras variables, no son significativas en el modelo.

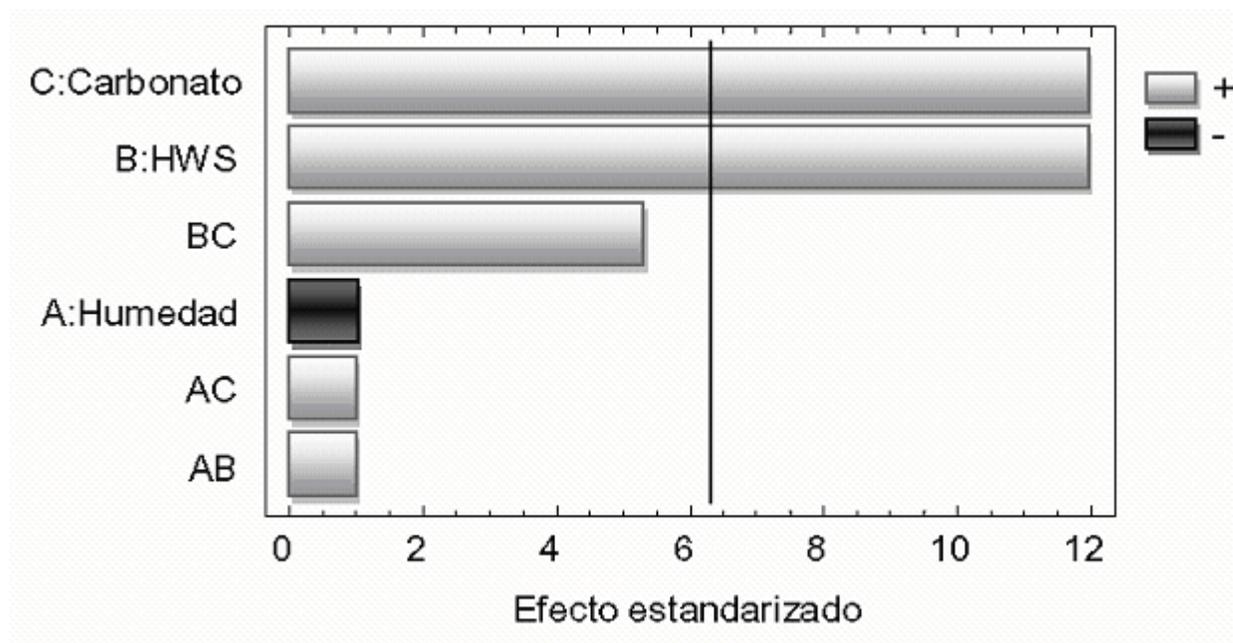


Fig. 3 Gráfico de Pareto para sólidos disueltos totales.

Este comportamiento es el esperad, ya que los sólidos disueltos están mayormente constituidos por carbonatos, y en menor medida por tinta y otros sólidos que no resultan de interés.

Conclusiones

- ◆ Es posible simplificar el diagrama de flujo de procesos para obtener el DFI eliminando operaciones que son prescindibles en el balance de agua sin afectar la funcionalidad de la planta simulada.

- ◆ Se logra un buen ajuste al caso base con errores menores del 10 % por lo que el modelo simulado puede ser utilizado para obtener los datos de las corrientes del proceso que no se podrían obtener de forma experimental.

- ◆ Los sólidos disueltos totales en el agua de recirculación responden de forma significativa a

los cambios en la composición de la materia prima (carbonatos, HWS).

Bibliografía

1. DUNN, RF.; EL-HALWAGI, MM. "Process integration technology review: background and applications in the chemical process industry." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 78, 2003, p. 1011-1021.
2. KWIATKOWSKI, JR. et al. Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process. U.S. Department of Agriculture. 2006
3. MUTJÉ, P. et al. Análisis y optimización de redes de agua en fabricas de papel. 2002.
4. PETRIDES, D. Analysis, evaluation, scheduling, and optimization of Integrated Batch and Continuous Processes using the Intelligen Suite (SuperPro and SchedulePro). 2004.
5. SMOOK, GA. Handbook for Pulp & Paper Technologists. Canadian Pulp and Paper Assosciation. 1982.