

# *DESTINTADO DE PAPELES RECUPERADOS FOTOCOPIADOS E IMPRESOS LÁSER*

*Roberto Melo y Mario Valenzuela,  
Laboratorio de Productos Forestales  
Universidad de Concepción*

## **Sumario**

La recuperación de papeles impresos mediante técnicas láser y xerográficas impone limitaciones en el proceso de destintado por la extrema adherencia del toner a la hoja impresa. La experimentación que se presenta muestra que las variables más importantes son el tiempo de flotación y las cargas de silicato de sodio y de surfactante; el análisis de distribución de tamaño indica que la máxima eficiencia de remoción de tinta se logra para partículas de 25  $\mu$ m de tamaño promedio. El porcentaje de remoción alcanza a 35 % en el proceso de separación de tintas por flotación en este tipo de papeles impresos.

## **Introducción**

El fuerte impacto en el balance ecológico hace que la industria papelera oriente sus esfuerzos al desarrollo de especies madereras de rápido crecimiento, a las alternativas de uso de fibras no madera y al reuso de fibras secundarias.

En los últimos 20 años se produjo un incremento fuerte, particularmente, en el consumo de este último tipo de material, que pasa a ocupar un lugar importante como materia prima papelera, rebasando el criterio de abastecimiento local para la fabricación de papel y cartón para transformarse en una mercancía de manejo internacional.

El papel recuperado en nuestro país alcanza tasas de recuperación ubicadas entre las primeras seis del mundo, estimándose que bordea el 40 %, en comparación con la cifra mundial cercana al 30 %, con lo cual en Chile se manejan cifras de recuperación de papeles y cartones del 210.000 toneladas anuales (Rivadeneira, 1995). Aunque no se tiene una dependencia de la recuperación

de papeles y cartones ya que se dispone de celulosa de bajo costo generada en base a especies de rápido crecimiento, es mejor negocio ocupar éstos, internamente, y exportar celulosa.

Las impresiones láser y xerografías han tenido un rápido crecimiento por el incremento en la utilización de fotocopiadoras y ordenadores, lo que redundó en una buena disponibilidad de fibras de alta calidad para reuso (Othmer, 1992). Sin embargo, hay limitaciones derivadas de las dificultades para destintar efectivamente con técnicas convencionales como la flotación y el lavado.

En este tipo de impresiones, se usan tintas toner para mejorar la velocidad de copiado y la buena resolución de la impresión (Turrado, 1994). Las partículas toner se depositan sobre la hoja mediante un complejo proceso electrostático, se funden y forman una masa continua de toner que resulta muy estable y resistente a la abrasión; la extrema

adherencia del toner a la hoja sustrato le da calidad pero, a su vez, provoca serias dificultades al momento de la recuperación.

Casi todos los toner negros consisten en polímeros termoplásticos o uniones poliméricas con carbón, como pigmento, en razón de peso de 85% de polímero y 15% de carbón. Uno de los polímeros utilizados resulta de la unión de polibutímetacrilato con poliestireno. Para cargar el toner negativamente para uso de fotoreceptores de cargas positivas se usan estireno-acrílico, estireno-butadieno, poliésteres y copolímeros; para toner cargado positivamente para receptores basados en polímeros se usan poliamidas, polietileno y copolímeros de etileno-vinil acetato (Mojava, 1994)

La calidad y velocidad de impresión requiere, también, de una estricta especificación del papel que incluye propiedades físicas, performance en la máquina y otras (Kropholler, 1993).

Muy importante son las ausencias de sustancias nocivas y su estabilidad frente al calor.

El proceso de destintado incluye una serie de operaciones físicas y químicas. El desprendimiento y dispersión de la tinta se efectúa en un pulper con ayuda de acción térmica, mecánica y química. Tanto la temperatura como la agitación, en presencia de los aditivos cargados, son responsables de la ruptura del enlace fibra-tinta. La eliminación de esta última se logra de diversas maneras siendo las más importantes, el lavado y flotación (Pan, 1994; Ferguson, 1992). Los sistemas de lavado buscan reducir el tamaño de la partícula de tinta para favorecer su eliminación por filtración. A la inversa, los sistemas de flotación apuntan a mantener un mayor tamaño de la partícula de tinta, facilitando su colección por los reactivos utilizados.

El trabajo que se presenta experimenta el método de flotación para el destintado de papeles impresos mediante sistemas de impresión distintos del convencional.

Al efecto, se experimentó con una mezcla de papeles impresos láser y fotocopias en proporciones de 25 y 75%, respectivamente.

La desintegración se efectuó en un depósito provisto de un agitador mecánico de 1400 rpm, con indicadores de pH y temperatura, sumergidos en un baño termostático. La flotación se realizó en una celda Wedag con capacidad de 4 litros, aproximadamente, con salida por rebalse, velocidad variable y entrada de aire regulable (Canales, 1994).

La evaluación del producto se hizo en base a sus características físicas y mecánicas. El grado de destintado se determinó en base a la blancura y las pintas. El número de pintas se determinó mediante un equipo Dot-Counter que entrega el número de partículas en rangos de 1-50, 50-100, 100-150, 150-200 y >200  $\mu\text{m}$ . El rango de tamaño de las partículas eliminadas durante la flotación se determinó mediante un microscopio de epifluorescencia desde donde se obtuvieron diapositivas que, proyectadas y fotocopiadas, permitieron medir, con un planímetro, los rangos de tamaño.

## Procedimientos y resultados

### ESTUDIO EXPLORATORIO DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO.

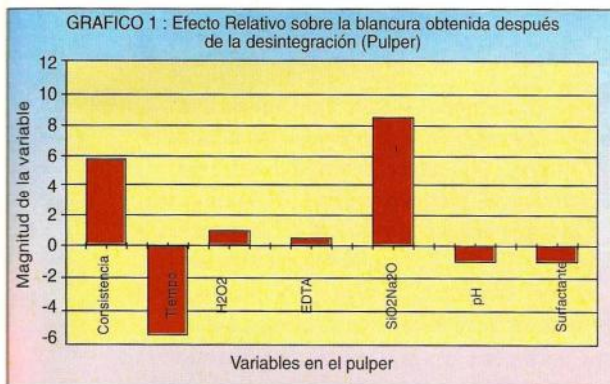
Una primera etapa del estudio estableció la jerarquización de las variables asociadas al proceso de destintado de los papeles con impresión electrostática aplicado a la muestra de papel definida anteriormente. Para ello, se experimentó con los márgenes de fluctuación de estas variables y se definió un valor para aquellas de menor incidencia en el proceso (Tabla 1); las variables de mayor efecto se incluyeron en la experimentación principal de acuerdo a un diseño central compuesto.

Tabla 1 Jerarquización de las variables

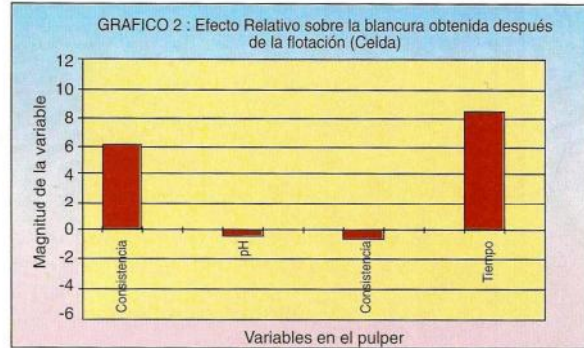
Variable jerarquizada definido	Margen	Valor
Consistencia, %	5-8	6
Tiempo en el "pulper", min	10-45	30
Peróxido de hidrógeno, %	0,5-1,0	0,5
EDTA, %	0,2-0,5	0,2
Silicato de sodio, %	0,5-1,5	

pH en el "pulper"	10-12	10
Surfactante en "pulper", %	0,001-0,05	0,01
Surfactante en flotación, %	0,001-0,05	
pH en celda de flotación	8-11	9
Consistencia en la celda	0,5-1,0	1
Tiempo de flotación, min	5-40	
Temperatura, °C	40 (Constante en "pulper" y celda)	
Flujo de aire en celda, 1/s	2,8 (Constante)	

Considerando la respuesta "blancura del producto" como principal, los gráficos a continuación (Gráficos N° 1 y 2) muestran el efecto relativo de las variables, de donde se deduce cuáles de ellas tienen incidencia más importante y justifican su inclusión en el estudio final.



Las tendencias positivas indican un efecto, también positivo, en la blancura. Aumentos de la consistencia o de la carga de silicato producen un aumento de la blancura. El tiempo influye negativamente, es decir, con mayores tiempos de residencia, se obtiene menor blancura; en este caso, las partículas de toner desprendidas tienen ocasión de redepositarse sobre la superficie de las fibras bloqueando la medición. El mismo efecto lo genera el surfactante al influir sobre la unión fibra tinta. También el pH en aumento influye en forma adversa produciendo amarillamiento de la pulpa. Por otra parte, el peróxido de hidrógeno y el quelante actúan positivamente, el primero como agente blanqueante y, el segundo, reduciendo la presencia de iones metálicos que descomponen el peróxido.



En este caso, las tendencias son aún más claras y evidentes. Aumentos en el tiempo y en la cantidad de surfactantes contribuyen a un aumento de la blancura. El aumento de pH es negativo por el efecto de amarillamiento y la mayor consistencia hacen mayor la dificultad de la burbuja de aire para colisionar con las partículas de tinta en ascensión, limitando la separación.

Para evaluar el efecto de cada una de las variables independientes sobre las propiedades del producto final se determinaron, adicionalmente, las propiedades de resistencia mecánica, concluyéndose que, en general, estas propiedades son de buen nivel.

## DISEÑO CENTRAL COMPUESTO

Las tres variables definidas en el diseño fueron: concentración de silicato, tiempo de flotación en la celda y concentración de surfactante. Sobre la base de los resultados obtenidos en la experimentación se ajustó un modelo empírico de segundo orden para cada respuesta (blancura, índice de rasgado, índice de explosión e índice de tensión). La forma del modelo es:

$$P = a + b*S + c*t + d*M + e*S^2 + f*t^2 + g*M^2 + h*S*t + i*S*M + j*t*M$$

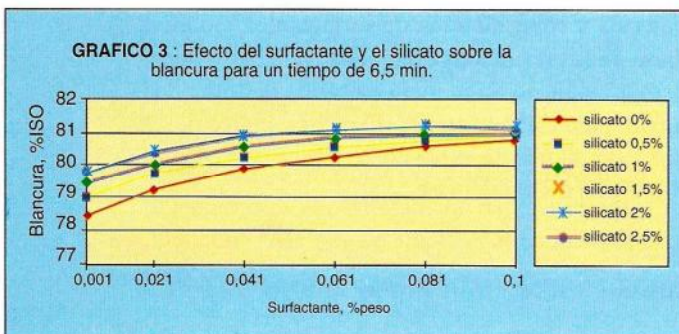
Los valores de los coeficientes reales del polinomio de ajuste se muestran a continuación, en la Tabla 2

**Tabla 2: Coeficiente reales del polinomio de ajuste**

	blancura	rasgado	explosión	tensión
a	7,757E+01	7,597E+00	3,13E+00	4,185E+01
b	4,226E-01	-1,149E+00	-66,189E-01	-1,33440E+00
c	8,286E-02	1,862E-01	-3,118E-02	1,905E+00
d	7,682E+01	-1,274E+01	-4,068E+00	1,180E+02
e	-2,082E-01	5,358E-01	1,614E-01	-7,508E-01
f	6,397E-03	2,076E-03	4,383E-03	-1,406E-01
g	-2,163E+02	2,951E+02	1,674E+01	-1,208E+03
h	1,072E-01	-7,008E-02	-5,218E-03	2,092E-01
i	-4,733E+00	-2,856E+00	3,432E+00	2,927E+01
j	-4,859E+00	-8,713E-01	-3,196E-01	-4,401E+00
error%	2,618332	0,635051	7,098E-02	2,989179
coeficiente, $\rho$	0,9998831	0,9990684	0,9975906	0,9993022
varianza del error	0,5236663	0,1270102	1,4195E-02	0,5978358

Los coeficientes de correlación indican que las respuestas son aceptables y los errores experimentales se ubican en rangos admisibles. El error para la respuesta blancura indica una variación de dos puntos lo que se considera aceptable dada la naturaleza del producto.

El Gráfico 3 muestra la función de la respuesta de la blancura respecto de la carga de surfactante y la concentración de silicato para un tiempo fijo. La blancura aumenta a medida que aumenta la concentración de silicato, en forma independiente de la calidad de surfactante; el efecto es más notorio para concentraciones bajas de surfactante.



Recordaremos que el silicato proporciona una alcalinidad similar a la de una solución de soda al 11%, además de actuar como estabilizador del pH. Producto de ello, para igual pH, la carga de soda debería disminuir a medida del incremento de la carga de silicato, con el consiguiente aumento de blancura. Con concentraciones mayores de surfactante disminuye su efectividad.

#### DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS POR UNIDAD DE ÁREA

El análisis de blancura se acompañó por la medición de número de partículas por metro cuadrado que permanecieron en la hoja por el destintado. Los resultados se correlacionaron a través de un polinomio de ajuste que mostró un coeficiente de correlación de 0,989, con un error experimental de  $2,111E^{-4}$  y una varianza de  $4,227E^{-5}$ , considerados admisibles.

La comparación con los resultados obtenidos mediante la técnica no convencional a través del microscopio de epifluorescencia, mostró resultados cuyas diferencias oscilan entre 3,42 y 0,385 % de las áreas equivalentes, según se puede apreciar en la Tabla 3.

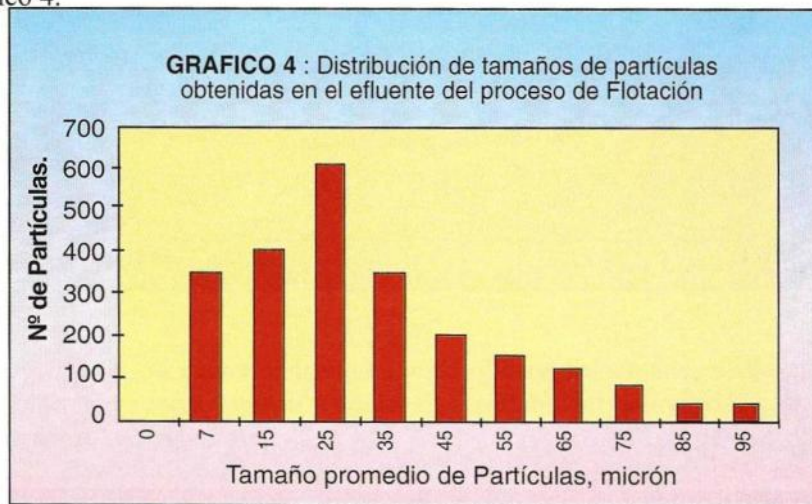
El porcentaje de remoción del proceso de flotación alcanza un valor de 35%.

**Tabla 3: Comparación de Técnica de microscopio y Equipo Dot Counter para área equivalente de remoción de partículas Toner en el proceso de flotación**

Area sucia(mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	1-50µm	50-100 µm	100-150 µm	150-200 µm	>200 µm
después del pulper	223	649	732	929	3566
después de la flotación	85	282	334	593	2332
remoción	138	367	398	336	1234
% de área removida	5,61	14,92	16,185	13,66	50,18
(Técnicas Microscopio)	8,53	11,5	15,8	11,44	52,74

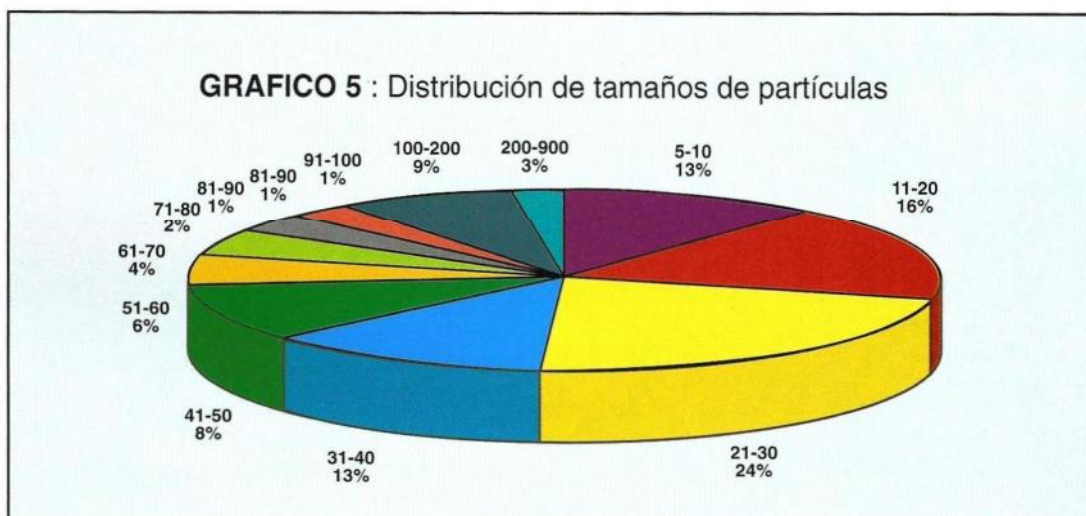
**-DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE LAS TINTAS TONER REMOVIDAS EN LA FLOTACIÓN**

El análisis de las partículas de tinta toner removida en la flotación arrojó los resultados que se representan en el Gráfico 4.

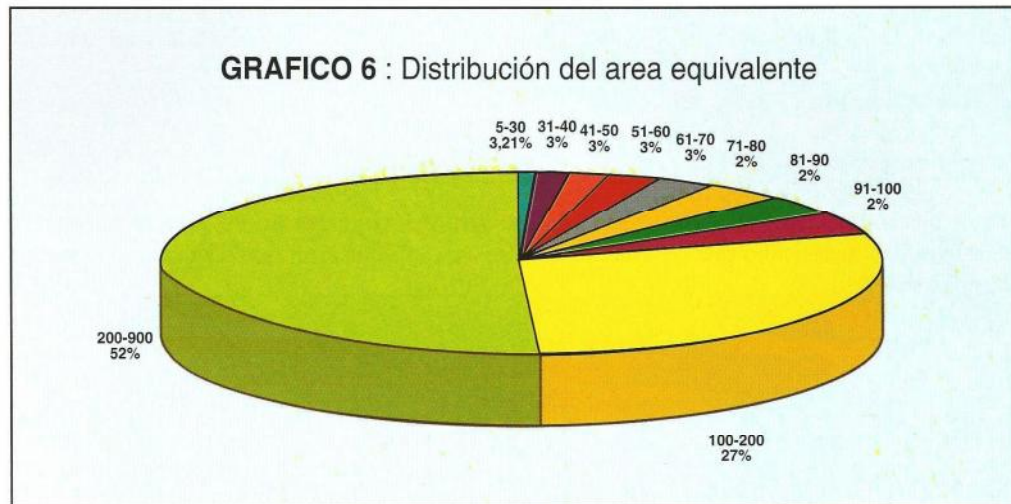


Se observa que la máxima eficiencia de remoción corresponde a las partículas de tamaño promedio 25 µm, lo que resulta razonable si se toma en cuenta que los tamaños de las partículas de tinta, en un proceso de impresión láser o fotocopiado, fluctúan entre 0,1-1 µm y 5-25µm a diferencia de

los procesos de flotación de papeles convencionales, donde se estima que las partículas varían de 3-1200µm, con una separación máxima de partículas de 60µm. Los rangos obtenidos en la determinación fluctuaron entre 5 y 900µm. La frecuencia de los distintos rangos se muestra en el Gráfico 5.



Como una forma de hacer más representativos los resultados se muestran, en el Gráfico 6, los porcentajes de la superficie equivalente de la hoja cubierta en los distintos rangos.



## Insumos para Industrias de Celulosa, Papel y Convertidores

**SANTIAGO**  
Providencia 2019 Of. B-32  
Casilla 519-V Correo 21  
Fonos: 231 7843 - 234 3444  
334 7097 Fax: 231 5144  
e-mail: convert@entelchile.net

**CONCEPCION**  
Casilla 2045  
Concepción  
Fonofax:  
(041) 483905

Especialidades Químicas para Industrias de Celulosa y papel, **QUAKER CHEMICAL, B.V.**, Holanda.

Discos enteros y segmentados, Guarniciones Cónicas para Refinadores, **BRUNO**, Brasil.

Intercambiadores de Calor tipo Placas, Tubos y Carcaza. Calentadores de aire **GEA**, Alemania.

Telas plásticas Kynar para Filtros de Blanqueo y polipropileno para Filtro Discos **NATIONAL FILTRATION**, U.S.A.

Telas Sintéticas de formación para Máquinas de Celulosa y Papel, **APPLETON - LINDSAY**, U.S.A.

Elementos Cerámicos de desgote para mesa plana, **CERASIV Feldmuehle**, Alemania.

Encolantes Sintéticos para Size Press y Dispersiones Encolantes para masa, **VAN BAERLE & CIE**, Suiza.

Fieltros húmedos y telas secadoras, **APPLETON - BINET**, Francia.

Ceras Compuestas y Adhesivos Termofusibles para Industrias Convertidoras, **PARAMELT**, Holanda.

Elementos de desgote para mesa plana en polietilenos cerámicos **WEFAPRESS**, Alemania.

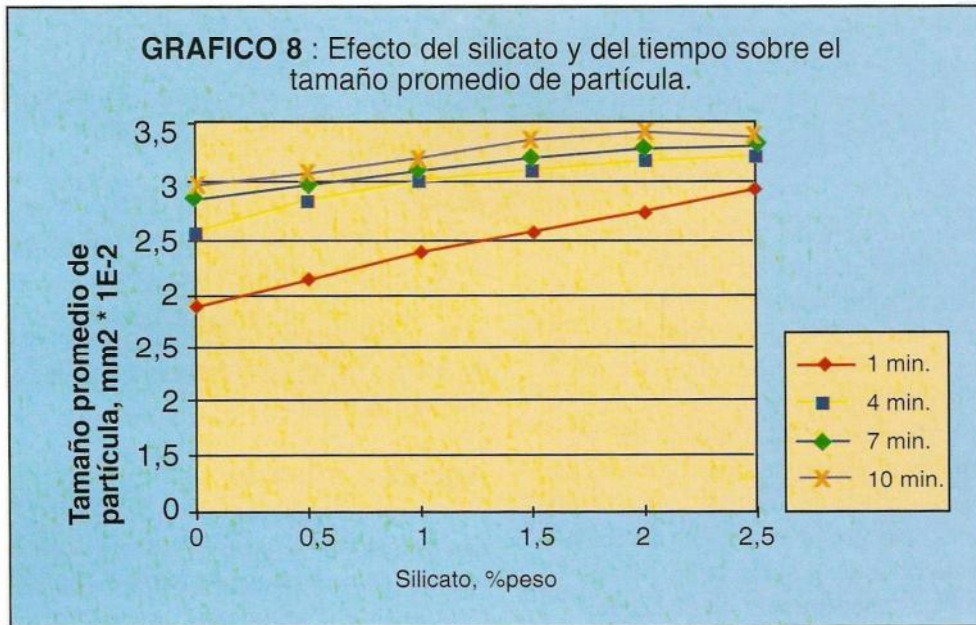
Equipos Clasificadores Fibra, Centricleaners y Filtros Presurizados, **FIEDLER**, Alemania.

Piedras Defibradoras Cerámicas para pulpa Mecánica, **HERCULES STEINE**, Alemania.

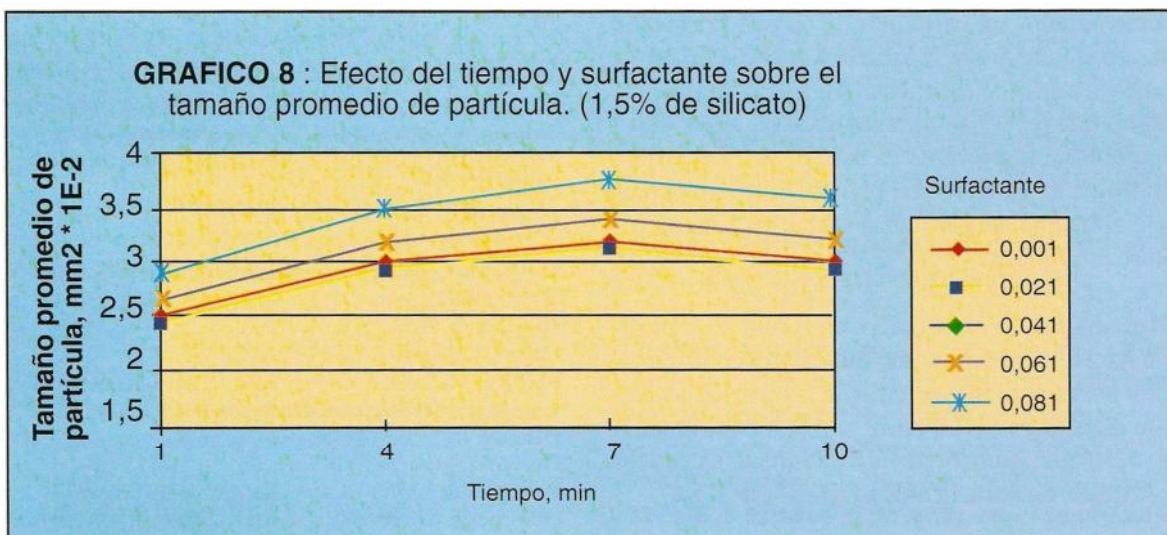
Mallas metálicas inoxidables para lavado celulosa y Avesta para Filtros de blanqueo **WIRETEC GMBH**, Alemania.

Canastillos perforados y ranurados para Screens Clasificadores de Fibra, **FIEDLER**, Alemania.

El efecto de las variables consideradas sobre el tamaño de las partículas se aprecia en los Gráficos 7 y 8.



Del gráfico se desprende que a mayor concentración de silicato, los tamaños de las partículas residuales en la hoja son mayores, pero con tendencias a estabilizarse alrededor de 1,5% de concentración cuando los tiempos son mayores.



Una mayor concentración de surfactante obtiene un tamaño de partícula mayor, salvo en la zona de concentración muy baja, inferior a 0,041%. Para una concentración dada de surfactante, el tamaño mayor se alcanza en un tiempo de 7 minutos, aproximadamente.

## Discusión

El tiempo de flotación tiene un efecto positivo en el destintado de papeles electrostáticos provocado, seguramente, por las burbujas inyectadas por el fondo que, en su ascensión colisionan con las partículas y las arrastran hacia la superficie de la celda.

El silicato de sodio, también, presenta efecto positivo, probablemente, por su influencia también positiva, sobre la acción del surfactante y a su efecto sobre tamaño de las partículas, que tiende a aumentar. Simultáneamente, mejora la blancura de la pulpa por la reducción de la carga de soda, para alcanzar un determinado pH, lo que la protege de la acción de amarillamiento cuando hay exceso de este reactivo. Este mismo efecto sobre la blancura lo produce la combinación de silicato de sodio y surfactante, más efectiva con bajas concentraciones de agente tensoactivo. Por otra parte, el surfactante tiene efecto positivo sobre el destintado por su acción como agente tensoactivo que contribuye al aflojamiento de las partículas de tinta.

La máxima eficiencia de destintado se logra en partículas de tamaño promedio de 25  $\mu\text{m}$  en comparación con partículas de 60  $\mu\text{m}$ , correspondiente al tamaño de separación máxima en un proceso convencional; esta diferencia se debe, seguramente, al menor tamaño de las partículas de tintas de impresión electrostática. Recordaremos que, en flotación de papeles convencionales, se estima que las partículas varían en tamaño entre 3-1200  $\mu\text{m}$ .

El análisis de la repartición, en forma de superficie equivalente removida, indica una contribución porcentual mayoritaria de las partículas de tamaño superior a 200  $\mu\text{m}$ , con una contribución de 52% que, probablemente, facilita la separación por flotación para alcanzar un valor de 35%.

## Conclusiones

-Las variables de mayor incidencia en el proceso de destintado son el tiempo de flotación, la concentración de silicato de sodio y concentración de surfactante.

-La máxima eficiencia de separación se logra en partículas de 25  $\mu\text{m}$  de tamaño promedio.

-El porcentaje mayor de la superficie equivalente removida es de 35% de la tinta.

- Una mayor concentración de silicato de sodio aumenta el tamaño de las partículas.

- El silicato de sodio mejora la acción del surfactante con una acción más efectiva a concentraciones bajas del agente tensoactivo.

- Un mayor tiempo de flotación produce aumento de tamaño de las partículas con resultado favorable para su separación.

## Agradecimientos

*Los autores agradecen la colaboración prestada por los laboratorios del Centro de la Madera, la Celulosa y el Papel de la Universidad de Guadalajara, en México, donde se efectuaron las mediciones con el Dot Counter; del Depto. de Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas y el Departamento de Meteorología del Centro Eula de la Universidad de Concepción que facilitaron instrumentos de medición especializados.*

## Bibliografía

- Canales, V.** "Blanqueo de papeles de desecho con ozono y peróxido". XI Congreso de Ingeniería Química, Concepción (1994).
- Ferguson, L. D.** "Deinking chemistry: Part I" Tappi J. 75 (7), 75 (1992).
- Ferguson, L. D.** "Deinking chemistry: Part I" Tappi J. 75 (8), 49 (1992).
- Kropholler, H. W.** "A new use for deinked newsprint - Coper" Appita 46 (1), 31 (1993).
- Majova, M.** "Electrophotography - Characterization of dry toner to predict print quality" Paper 7, 298 (1994).
- Othmer, K.** "Encyclopedia of Chemical Technology", IV De. 9,245. McGraw Hill Book Co., N. Y. (1992).
- Pan, R.** et al. "Global model for predicting flotation efficiencies. (2). Particle size and flotation rate predictions and experimental studies and comparisons". Recycling Symposium Proceedings, Tappi: 291-302 (May 15-18, 1994).
- Rivadeneira, R.** "Recuperación de papeles y cartones". Chile Forestal XX (226), 8-12 (1995).
- Turrado, J.** et al. "Destintado de papeles de oficina". VII Congreso Latinoamericano de la Celulosa y el Papel, Sección 1 pág. 2 (1994).