

## Introducción

La industria europea de la pasta y el papel produce anualmente alrededor de 11 t de residuos (Monte *et al.*, 2008). El tratamiento primario de los efluentes papeleros genera unos fangos con una composición característica y variable de fibras vegetales y arcillas. Las fibras vegetales forman el entramado del papel mientras que las arcillas (partículas de caolín, CaCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, etc., denominadas cargas papeleras) se añaden para mejorar las propiedades físico-químicas del papel. La composición de los fangos primarios depende del tipo de fábrica de la que provenga (de pasta, de papel o integrada Fig. 1) y del tipo de producto que fabrique (Pasta mecánica, reciclada, papel Kraft, etc.). En el caso de las fábricas integradas también depende de la proporción relativa de pasta y papel que producen. La variabilidad de las características de los fangos es tan elevada que se hace necesaria una gestión específica en cada caso (Ochoa de Alda, 2008).

En general, la producción de fango (en peso seco) es aproximadamente el 4% del producto final, pudiendo aumentar hasta el 20-40% en el caso de las fábricas de papel reciclado (World-Bank., 2007). En Europa, el 70% de los residuos papeleros provienen de las fábricas de pasta y papel que emplean papel reciclado como materia prima (Monte *et al.*, 2008). Generalmente, el destino de los fangos primarios es el vertedero si bien una regulación medioambiental cada vez más exigente y el constante incremento de los precios del vertido promueven la búsqueda de alternativas dirigidas a la reducción del volumen de vertido, a la reutilización de estos en la empresa y a la puesta en valor y el reciclado.

## Reducción, Reutilización, Puesta en Valor y Reciclado

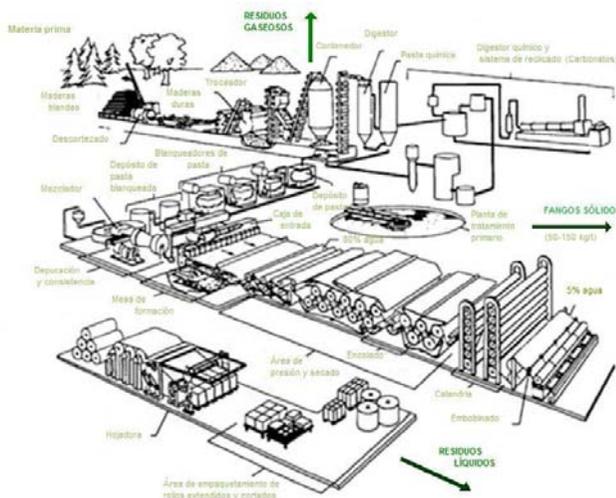
Tienen como objetivos principales el de disminuir la cantidad de residuos emitidos, recuperar materiales presentes en los mismos para su reutilización y obtener energía o materia prima utilizable en otra fábrica o proceso productivo. En definitiva, hacer más sostenible la industria pastero-papelera.

**Reducción:** Es la primera alternativa que se lleva a cabo. En ella se trata de reducir la pérdida de fibra y rellenos en la producción de pasta y papel. Esto se consigue recirculando el agua que se obtiene durante la deposición y secado de las fibras y cargas. Aún así siempre se producen pérdidas de estas valiosas materias primas (World-Bank., 2007).

**-Reutilización:** Los lodos primarios obtenidos en algunas papeleras son reintroducidos de nuevo en el proceso de fabricación para aprovechar las cargas papeleras y la fibra (Hardesty & Beer, 1993). La reutilización puede ser completa en las fábricas de cartón con circuito cerrado de efluentes (Ochoa de Alda, 2008).

**--Puesta en valor:** Los lodos primarios generados por la industria pastero papeleras se componen de una proporción variable de fibra vegetal (del 10 al 80 %) y de arcillas (del 0 al 50%) y, en menor cantidad, otros residuos generados durante la fabricación de pasta y papel (resinas, trozos de corcho, tintas, colas, etc.) (Ochoa de Alda, 2008; Scott & Smith, 1995). Numerosos métodos para recuperar fibras y cargas papeleras de los diferentes tipos de lodos han sido patentados (Leuthold & Leuthold, 1996; Maxham, 1992a; Maxham, 1992b; Maxham, 1994; Simpson & Lam, 1998; Wolfer *et al.*, 1997).

**-Reciclado:** Las alternativas de reciclado de los lodos primarios dependen principalmente del contenido relativo de fibras y cargas papeleras (arcillas).



**Figura 1. Fábrica integrada de pasta química blanqueada y papel:** El proceso comienza con el descortezado y astillado de la madera y continúa con el tratamiento de la madera para obtener la fibra y blanquearla. La suspensión de fibra y arcillas (denominadas cargas papeleras) se deposita sobre una cinta móvil en la que se seca. Finalmente el papel es cortado y empaquetado. Una planta de tratamiento primario recoge los sólidos en suspensión emitidos en las diferentes etapas. Los fangos obtenidos en este proceso son deshidratados mecánicamente hasta un 70 % de humedad y, en general, depositados en un vertedero. (Figura obtenida de <http://lumen.com.mx>)

### Referencias

- Andreola, F., Barbieri, L., Lancellotti, I. & Pozzi, P. (2005). Recycling industrial waste in brick manufacture. Part 1. *Mater Constr* 55, 5-16.
- Bogner, J., M., A., A., Diaz, C., Faaji, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Marekova, K., Pipatti, R. & Zhang, T. (2007). *Waste Management*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Chun, Y. M. & Naik, T. R. (2004). Repulping fibrous residuals from pulp and paper mills for recycling in concrete. *Tappi Journal* 3, 7-10.
- Chun, Y. M. & Naik, T. R. (2005). Concrete with paper industry fibrous residuals: Mixture proportioning. *Acı Materials Journal* 102, 237-243.
- Davis, E., Shaler, S. M. & Goodell, B. (2003). The incorporation of paper deinking sludge into fiberboard. *Forest Products Journal* 53, 46-54.
- Eroglu, V. & Saatci, A. M. (1993). Reuse Of Sludge From Pulp And Paper-Industry Pilot And Full-Scale Applications. *Water Science And Technology* 28, 17-26.
- Gellman, I. (1989). Experience with and laboratory studies of the use of pulp and paper mill solids wastes in landfill cover systems. *Technical Bulletin nº 559, NCASI, New York*.
- Gellman, I. (1990). Experience with and laboratory studies of the use of pulp and paper mill solids wastes in landfill cover systems. *Technical Bulletin nº 595, NCASI, New York*.
- Geng, X., Deng, J. & Zhang, S. Y. (2006). Effects of hot-pressing parameters and wax content on the properties of fiberboard made from paper mill sludge. *Wood And Fiber Science* 38, 736-741.
- Hardesty, K. L. & Beer, E. H. (1993). Drying And Recycling Of Primary Sludge At Champion International. *Tappi Journal* 76, 207-211.
- Lark, N., Xia, Y., Qin, C.-G., Gong, C. S. & Tsao, G. T. (1997). Production of ethanol from recycled paper sludge using cellulase and yeast. *Kluveromyces marxianus*. *Biomass and Bioenergy* 12, 135.
- Leuthold, D. A. & Leuthold, M. A. (1996). Method of dry separating fibers from paper making waste sludge and fiber product thereof. *US Patent 5527432*.
- Maxham, J. V. (1992a). Conversion of pulp and paper mill waste solids to papermaking pulp. *US Patent 5137599*.
- Maxham, J. V. (1992b). Conversion of pulp and paper mill waste solids into pulp substitute and papermaking clay. *NSF SBIR Phase II Final Report Grant #-ISI 8920723*.
- Maxham, J. V. (1994). Conversion of pulp and paper mill waste solids to a papermaking filler product. *US Patent 5332474*.
- Monte, M. C., Fuente, E., Blanco, A. & Negro, C. (2008). Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Manage Res*.
- Naik, T. R., Friberg, T. S. & Chun, Y.-m. (2004). Use of pulp and paper mill residual solids in production of cellulcrete. *Cement and Concrete Research* 34, 1229.
- Ochoa de Alda, J. A. G. & Torrea, J. A. (2006). Applications of recycled paper mills effluents to wood substitutive products (RESPRO): Executive summary. *Opidum* 2, 381-398.
- Ochoa de Alda, J. A. G. (2008). Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. *Resources, Conservation and Recycling* 52, 965-972.
- Scott, G. M. & Smith, A. (1995). Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. In: *Proceedings of the 1995 International environmental conference*, May 7-10; Atlanta, GA: TAPPI PRESS, 269-279.
- Simpson, C. W. & Lam, R. (1998). Method for forming pulp from processed recycled fibers. *US Patent 5772847*.
- Thomas, C. O., Thomas, R. C. & Hover, K. C. (1987). Wastepaper Fibers In Cementitious Composites. *J Environ Eng-ASCE* 113, 16-31.
- Wiegand, P. S. & Unwin, J. P. (1994). Alternative Management Of Pulp And Paper-Industry Solid-Wastes. *Tappi Journal* 77, 91-97.
- Wolfer, E. P., Willemssen, B., Venkat, B., Maruju, B. V. & Martiny, A. (1997). Method for recovering fiber from effluent streams. *US Patent 5593542*.
- World-Bank. (2007). Environmental, Health, and Safety Guidelines Pulp and Paper Mills. *Draft Technical Document Environment and Social Development Department International Finance Corporation Washington, DC*.
- Zani, A., Tenaglia, A. & Panigada, A. (1990). Re-use of papermaking sludge in brick production. *ZI International*, 43, 682-690.
- Zani, A., Tenaglia, A. & Panigada, A. (1991). Re-use of papermaking sludge in brick production II. *ZI International*, 44, 13-16.

## Reciclado de lodos con alto contenido en arcillas

Estos lodos se generan principalmente en fábricas de papel reciclado y papel de escritura y ha sido descrita su utilización en:

**-Cubiertas de vertederos.** La fibra sujeta a la arcilla, y ésta impide el lixiviado de los residuos gracias a su capacidad impermeabilizante. Además, dificulta el contacto entre los residuos y los animales que frecuentan el vertedero (Gellman, 1989; Gellman, 1990)

**-Absorbente de aceites y grasas.** El contenido de arcilla proporciona al lodo una gran capacidad de absorción (Wiegand & Unwin, 1994)

**-Cemento.** aprovecha el contenido de arcilla y el poder energético de la fibra durante la combustión (Monte *et al.*, 2008)

**-Composites de cemento y fibra:** paneles de fibra y cemento (Naik *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 1987)

**-Ladrillo.** La combustión de la fibra durante la preparación del ladrillo de lugar a ladrillos porosos con una alta resistencia (Andreola *et al.*, 2005; Zani *et al.*, 1990; Zani *et al.*, 1991)

**-Hormigón.** La adición de lodos en una proporción adecuada mejora las propiedades mecánicas del hormigón (Chun & Naik, 2004; Chun & Naik, 2005; Naik *et al.*, 2004)

**-Paneles de aglomerado.** (Davis *et al.*, 2003; Eroglu & Saatci, 1993; Geng *et al.*, 2006; Ochoa de Alda & Torrea, 2006)

## Reciclado de lodos con alto contenido en fibra

Estos lodos se generan principalmente en fábricas de pasta mecánica y pasta química y en algunas fábricas integradas de pasta y papel kraft, y ha sido descrita su utilización en:

**-Papel y cartón.** Los fangos de una fábrica son transportados a otra para preparar papel y cartón de diferentes calidades dependiendo de lo crítico que sea el aspecto exterior del producto (Ochoa de Alda, 2008)

**-MDF.** El alto contenido en fibra de algunos lodos permite la preparación de tableros de MDF (Medium Density Fiberboards) añadiendo resinas termopolimerizantes (Eroglu & Saatci, 1993). La homogeneización de la resina en el lodo es un problema por resolver (Ochoa de Alda & Torrea, 2006)

**-Etanol.** A partir de la fermentación de los polisacáridos celulósicos del fango (Lark *et al.*, 1997)

**-Lecho para animales.** (Wiegand & Unwin, 1994)

## Gestión

La gestión sostenible de los fangos primarios depende de la localización de los centros emisores, de la distancia a los centros de gestión y del grado de valorización (el precio al que se pueda vender) del producto. Por ello es deseable disponer del mayor número de alternativas de gestión posibles. Asimismo, también está influida por la concentración y calidad de las fibras y las arcillas en dichos lodos.

A modo de ejemplo se puede exponer la aplicación de los fangos primarios en la fabricación de papel y cartón. En este caso los fangos se podrían gestionar como homólogos del papel reciclado (Ochoa de Alda, 2008). Habría que considerar el precio medio de vertido del fango en un vertedero, 56 €/t, (aunque se encuentran precios entre 10 y 160 €/t) (Bogner *et al.*, 2007), el coste de transporte, 0.048 €/t km, el precio del producto con el que compete (el papel reciclado, cuyo precio oscila de 75 a 155 €/t), la humedad del fango, 67 % de media, y el contenido en fibra. De esta manera se comprueba que el transporte de los fangos es rentable siempre y cuando las empresas a las cuales se destina el reciclaje se encuentren en un radio cercano a la empresa, aproximadamente unos 500 km.