

## ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA Y SAL EN PROCESOS DE TINTURA TEXTIL

Víctor López-Grimau

Beatriz Amante

*Departamento de Proyectos de Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingenierías  
Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT). Universitat Politècnica de Catalunya*

María del Carmen Gutiérrez

*INTEXTER (Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial). Universitat Politècnica  
de Catalunya*

### Abstract

In this work a technical and economical feasibility study of the integration of a decolorisation treatment of exhausted dyebaths in a conventional dyeing textile process is done, with the aim to reuse the treated water and specially, to save part of the salt needed to carry out the dyeing.

The decolorisation treatment is conducted in an electrochemical cell assisted by UV light, then the discolored water is stored in a tank in order to be reused later in the dyeing process. This treatment and reuse system make possible to save a 70% of water and a 60% of salt necessary to prepare the dyebath. This fact implies a direct economical saving as well as meaning a saving of the wastewaters discharge taxes. Moreover, this system allows to avoid sanctions (Decree 3/2003 of the Catalan regional government) and it also means an improvement of the company image.

However, if the development of an uninterrupted process of successive reuses is wanted, in some cases and according to the required color, the amount of dye must be increased in comparison to the initial formula to prevent a quality decrease of the dyeing, and for this reason it is important to carry out an economical study to demonstrate its feasibility.

**Keywords:** *Dyeing, textile, water, salt, treatment, reuse, feasibility study.*

### Resumen

En este trabajo se hace un estudio de viabilidad técnica y económica de la integración de un tratamiento de decoloración de baños agotados de tintura a un proceso de tintura textil convencional con el objetivo de reutilizar el agua tratada y en especial, de aprovechar la sal necesaria para realizar la tintura.

El tratamiento de decoloración se lleva a cabo en una célula electroquímica asistida por luz Ultravioleta y el agua decolorada es almacenada en un depósito para su posterior reutilización en el proceso de tintura. La implementación de este sistema de tratamiento y reutilización permite ahorrar el 70% de agua y el 60% de la sal necesarios para preparar los baños de tintura. Lo que aparte de reportar un ahorro económico directo, también supone un ahorro en el canon de vertido de aguas residuales. Además, permite evitar sanciones (Decreto 3/2003 de la Generalitat de Catalunya) y supone una mejora de la imagen de la empresa.

Por el contrario, si se quiere hacer un proceso ininterrumpido de sucesivas reutilizaciones, en algunas ocasiones y en función del color requerido, debe aumentarse la cantidad de colorante respecto de la fórmula inicial para evitar una merma en la calidad de las tinturas y precisamente por ello es importante la realización del estudio económico para demostrar su viabilidad.

**Palabras clave:** *Tintura, textil, agua, sal, tratamiento, reutilización, estudio de viabilidad.*

## 1. Introducción

La industria textil consume elevados volúmenes de agua en sus procesos de ennoblecimiento textil (preparación, tintura y acabado). Los efluentes de esta industria presentan una importante biodegradabilidad, obteniéndose buenos resultados de depuración mediante tratamiento biológico. No obstante, la característica común de las aguas residuales textiles es su elevada coloración. La presencia de color en los efluentes, principalmente cuando estos contienen colorantes reactivos residuales, supone un grave problema para el sector (ICAEN, 1998).

Los colorantes reactivos son ampliamente utilizados principalmente en el sector algodonero ya que dan lugar a tinturas sobre fibras celulósicas de elevada solidez. Sin embargo, estos colorantes presentan un grado de agotamiento bajo, entre el 60% y el 90%. El colorante que no pasa a la fibra queda hidrolizado en el baño, de manera que no se puede reutilizar y su degradación por tratamientos de depuración biológica es escasa, ya que son muy poco biodegradables.

La gran mayoría de colorantes textiles no son tóxicos, pero su presencia en el medio acuático impide que parte de la luz solar llegue al fondo de este, poniendo en peligro la subsistencia de las especies vegetales y animales de la zona. Además, tienen el inconveniente de provocar un desagradable efecto visual en los ríos, ya que pequeños residuos (del orden de mg/L) son capaces de producir una importante coloración. Por este motivo las administraciones encargadas de controlar los vertidos imponen limitaciones a la descarga de efluentes con color. En España, la tabla 3 (la más restrictiva) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986) permite el vertido de efluentes coloreados si al diluirlos 20 veces no se aprecia visualmente el color.

Teniendo en cuenta la insuficiencia de la depuración biológica para eliminar el color y la necesidad de cumplir con una legislación cada vez más estricta, se debe recurrir a otros tipos de soluciones. Así, existen diferentes técnicas para decolorar los efluentes textiles, entre las que destacan: la adsorción sobre carbón activo (Sanghi and Bhattacharya, 2002; Martín et al., 2003), los procesos de coagulación-floculación (Golob et al., 2005), el tratamiento con ozono (Arslan-Alaton et al., 2002) y los procesos de membrana (nanofiltración y ósmosis inversa) (Koyuncu, 2002; Marcucci et al., 2002).

A parte de estos tratamientos ya aplicados en la industria, numerosos grupos de investigación están trabajando con nuevos métodos de eliminación del color, de entre los que destacan la selección de microorganismos capaces de degradar el colorante, la utilización de métodos de oxidación avanzada y la decoloración electroquímica.

De todas ellas, la fragmentación de la molécula de colorante por técnicas electroquímicas (decoloración electroquímica) presenta grandes ventajas en el tratamiento de las aguas residuales con mayor coloración procedentes de los baños agotados de tintura y que representan de 1/10 a 1/15 de los efluentes totales de una industria textil. Es un método fácilmente controlable (la dosificación del reactivo, el electrón, es simple) que tiene como único gasto el consumo eléctrico. No se añade ningún tipo de compuesto químico ya que en

el caso de efluentes con colorantes reactivos, el electrolito necesario para realizar la electrólisis viene dado por la sal usada en la tintura. Al no añadir compuesto químico alguno (orgánico o inorgánica) no se aumenta ni la carga orgánica, ni la conductividad del efluente tratado, además de no producir residuos.

La tintura con colorantes reactivos a parte de ser intensiva en el consumo de agua requiere de la adición de grandes cantidades de sal que actúa de electrolito, ya sea NaCl o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en concentraciones que van de los 20 g/L a los 80 g/L en función de la intensidad de las tinturas. Esta sal no tiene afinidad por la fibra y es descargada en el baño residual de tintura y en los sucesivos baños de lavado del tejido teñido. Esta problemática hace especialmente interesante la posibilidad de reutilizar el agua y la sal de los baños residuales de tintura, una vez decolorados, para nuevos procesos de tintura con colorantes reactivos.

En nuestros estudios anteriores, se utilizó un reactor electrolítico comercial (Célula ECO 75) constituido por electrodos de Titanio/óxidos de Platino (Ti/PtOx) para decolorar baños simulados de tintura con colorantes reactivos, con el objetivo de optimizar el proceso electroquímico para tener el menor consumo eléctrico posible. A tal efecto el tratamiento electroquímico era asistido con la irradiación de luz solar o luz ultravioleta para alcanzar la completa decoloración del efluente cuando se habían aplicado bajas densidades de corriente (López-Grimau and Gutiérrez, 2006; Gutiérrez et al., 2009).

Este trabajo se centra en la reutilización de baños de tintura decolorados para realizar nuevas tinturas con colorantes reactivos con el objetivo de aprovechar la máxima cantidad de agua y de sal, en un proceso de sucesivas reutilizaciones sin que se vea afectada la calidad de las nuevas tinturas.

## **2. Objetivos**

En primer lugar, se estudia la viabilidad técnica de este proceso de reutilización, evaluando la calidad de las tinturas con agua decolorada respecto a tinturas de referencia realizadas con agua de red descalcificada. Esta evaluación se realiza midiendo las diferencias de color de las reutilizaciones respecto de las tinturas de referencia.

Posteriormente, se estudia la viabilidad económica de aplicar este proceso de reutilización a escala industrial. Teniendo en cuenta los costes de inversión que esto implica para la industria y los ahorros o cobros que se pueden derivar de la implantación del sistema de reutilización de agua y sal.

## **3. Metodología**

En primer lugar, se plantea una solución técnica viable que garantice una reducción del consumo de agua y de sal. A continuación se hace un cálculo de periodo de retorno, en función de la inversión inicial necesaria para poner en práctica dicha solución. Para concluir se realizan una serie de recomendaciones para la mejor optimización en la aplicación de este sistema.

### **3.1 Proceso de tintura**

De acuerdo al proceso convencional de tintura de fibras celulósicas se realizan tinturas por agotamiento sobre tejido de punto de algodón a una relación de baño de 1/10 (peso fibra/volumen agua). Se seleccionan tres colorantes reactivos (fabricados por DyStar) de acuerdo

con los tres colores básicos: azul, magenta y amarillo. Estos colorantes tienen como nombre comercial: Blue Navy Procion H-EXL, Crimson Procion H-EXL y Yellow Procion H-EXL.

Las tinturas individuales se realizan con cada colorante a una concentración de 3 g/L (3% p colorante/p fibra, relación de baño 1/10). También se realizan tricromías con los tres colorantes a una concentración de 1 g/L (1% p colorante/p fibra, relación de baño 1/10). Como electrolito de tintura se utiliza NaCl a una concentración de 80 g/L y el álcali requerido en las tinturas de celulosa se prepara con una disolución de 5 g/L de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y 0,5 g/L de NaOH.

### 3.2 Tratamiento de decoloración

Una vez finalizada la tintura el baño agotado de tintura es decolorado en el reactor electrolítico ECO 75 a una densidad de corriente de 6 mA/cm<sup>2</sup>, lo que supone un consumo eléctrico de 7 Wh/L. A esta densidad de corriente se obtienen decoloraciones superiores al 80%. La completa decoloración se alcanza después de irradiar el efluente durante una hora con luz ultravioleta.

### 3.3 Proceso de reutilización

Después del tratamiento electroquímico el efluente es almacenado en un tanque para su posterior reutilización. Seguidamente, se prepara el agua para ser reutilizada de acuerdo con los siguientes pasos:

- Reposición del agua perdida durante la tintura por adsorción en el tejido y evaporación (30% del total).
- Cuantificación del NaCl recuperado y adición de la cantidad de NaCl necesaria
- Ajuste del pH a 7
- Adición de los colorantes para la nueva tintura

Se llevan a cabo series de diez reutilizaciones con cada uno de los colorantes por separado y con la tricromía. Para evaluar la evolución de la calidad de las tinturas en las sucesivas reutilizaciones se calculan las diferencias de color respecto a tinturas de referencia con agua de red descalcificada, se utiliza la fórmula de diferencias de color DE<sub>CMC (2:1)</sub> (norma UNE-EN ISO 105-J03: 1997). Esta fórmula es ampliamente utilizada en la industria textil en control de calidad y fija unas diferencias de color aceptables de una unidad (DE<sub>CMC (2:1)</sub> ≤ 1).

En el estudio de viabilidad económica de la aplicación industrial de la reutilización se plantean diferentes casos de estudio: máquinas de tintura de diferentes capacidades (100 Kg o 300 Kg, que corresponden a un consumo de agua de 1 m<sup>3</sup> y 3 m<sup>3</sup>, respectivamente) y tinturas en tonos intensos (3 g/L de colorante y 80 g/L de sal) o tonos claros (1 g/L de colorante y 20 g/L de sal). La información de precios de agua, sal y colorantes ha sido proporcionada por la empresa Dyetint S.C.C.P de Terrassa. Los precios de las instalaciones necesarias para implementar la reutilización (depósito, bomba centrífuga i tuberías) se han obtenido del Banco de Precios BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). En el cálculo de costes de la nueva instalación para la reutilización del agua, no se tiene en cuenta el consumo eléctrico de la decoloración ya que esta se debe realizar tanto si el agua se reutiliza, como si es descargada con el resto de aguas residuales.

#### 4. Resultados

El proceso de reutilización comporta el ahorro medio de un 70% de agua y de un 60% de la sal necesaria para llevar a cabo las tinturas. En la Figura 1 se presenta la evolución de las diferencias de color de las diferentes series de tintura llevadas a cabo con cada colorante y con la tricromía.

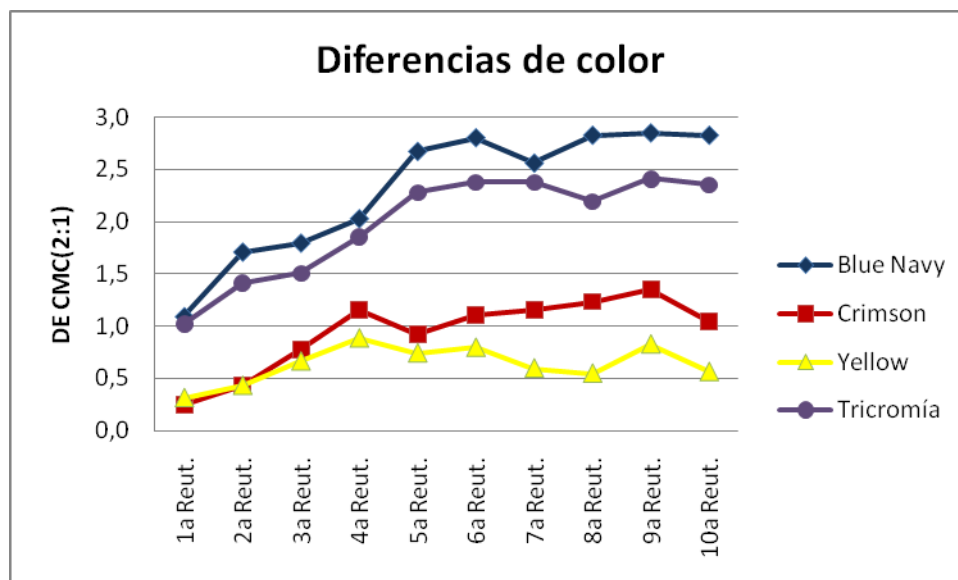


Figura 1. Evolución de las diferencias de color de las series de reutilización

En la Figura 1 se observa como todas las reutilizaciones para tintura en amarillo presentan unas diferencias de color inferiores a la unidad. Para la tintura en magenta los valores de DE cmc (2:1) son ligeramente superiores a la unidad a partir de la tercera reutilización. En cambio las tinturas en azul y las tricromías presentan diferencias de color muy significativas respecto tinturas de referencia, en estos casos la reutilización comporta básicamente una caída de la intensidad de las tinturas. En cambio, se observa como los valores de DE se estabilizan a partir de la quinta reutilización, de manera que se vuelven independientes del numero de reutilizaciones.

En este punto se estudia cual es el incremento mínimo de colorante sobre la fórmula inicial de tintura que se debe añadir al agua procedente de la última reutilización para obtener tinturas de calidad aceptable ( $DE_{CMC(2:1)} \leq 1$ ) y convertir la reutilización en un proceso cíclico. Este incremento es de un 30% para tinturas en azul y de un 10% para tinturas en magenta. Cuando se realizan tricromías con agua reutilizada se debe aumentar la concentración de colorante en un 20%.

Una vez solucionada la viabilidad de la reutilización para obtener tinturas de calidad aceptable para la industria textil se pasa a realizar el estudio económico para verificar si la implantación de la reutilización del agua y sal en el proceso de tintura convencional es viable también a nivel económico. Para ello, de entrada el balance entre el ahorro de agua y de sal y el incremento de coste del colorante debe ser positivo.

En la Tabla 1 se calculan los balances entre el ahorro económico derivado de la reutilización de agua y sal y los incrementos de costes producidos por el aumento de colorante añadido. Se toman cuatro casos de estudio: tinturas en tonos intensos o en tonos claros y utilización de máquinas de 100 Kg o 300 Kg de capacidad.

	<b>Máquina tintura de 300 Kg (3 m<sup>3</sup> de agua)</b>		<b>Máquina tintura de 100 Kg (1 m<sup>3</sup> de agua)</b>	
	<b>Tintura tono intenso (colorante 3%, sal 80 g/L)</b>	<b>Tintura tono claro (colorante 1%, sal 20 g/L)</b>	<b>Tintura tono intenso (colorante 3%, sal 80 g/L)</b>	<b>Tintura tono claro (colorante 1%, sal 20 g/L)</b>
	<b>Precios</b>			
<b>Colorante (€/Kg)</b>	11			
<b>Sal (€/Kg)</b>	0,2			
<b>Agua (€/m<sup>3</sup>)</b>	2			
	<b>Reutilización</b>			
<b>Incremento colorante</b>				
Azul 30% (Kg)	2,7	0,9	0,9	0,3
Magenta 10% (Kg)	0,9	0,3	0,3	0,1
Tricromía 20% (Kg)	1,8	0,6	0,6	0,2
Ahorro agua 70% (m <sup>3</sup> )	2,1	2,1	0,7	0,7
Ahorro sal 60% (Kg)	144	36	48	12
<b>Incremento colorante</b>				
Azul 30% (€)	29,7	9,9	9,9	3,3
Magenta 10% (€)	9,9	3,3	3,3	1,1
Tricromía 20% (€)	19,8	6,6	6,6	2,2
Ahorro agua 70% (€)	4,2	4,2	1,4	1,4
Ahorro sal 60% (€)	28,8	7,2	9,6	2,4
	<b>Balance tintura 300 Kg</b>		<b>Balance tintura 100 Kg</b>	
Tintura Azul (€)	3,3	1,5	1,1	0,5
Tintura magenta (€)	23,1	8,1	7,7	2,7
Tricromía (€)	13,2	4,8	4,4	1,6

Tabla 1. Balances entre el ahorro de agua y de sal y el incremento de coste de colorante para maquinas de tintura de diferentes capacidades y dos tonos de tintura.

En la Tabla 1 se comprueba como el proceso de reutilización arroja un balance positivo en todos los casos, si bien este es más favorable en máquinas de tintura de mayor capacidad y cuando la tintura se realiza en tonos intensos, ya que estas tinturas requieren de una mayor concentración de sal que las tinturas en tonos claros, y la reutilización de gran cantidad de sal compensa el incremento de coste derivado de añadir más colorante para poder reutilizar. Con respecto al colorante de las tinturas el balance depende del porcentaje de incremento

de colorante requerido para tener una calidad tintórea aceptable industrialmente y que es mayor para la tintura en azul que para el resto de colorantes.

En la Tabla 2 se presentan los costes derivados de la instalación requerida para implementar el proceso de reutilización del baño decolorado y adaptarlo al proceso de tintura textil convencional. Estos costes no son elevados y podrían ser posiblemente cubiertos con capital efectivo, sin necesidad de solicitar financiación.

	<b>Máquina tintura de 300 Kg</b>	<b>Máquina tintura de 100 Kg</b>
<b>Depósito</b>	1.740 € (12 m <sup>3</sup> )	980 € (3 m <sup>3</sup> )
<b>Bomba centrífuga</b>	720 € (10 m <sup>3</sup> /h)	360 € (3 m <sup>3</sup> /h)
<b>Tuberías PVC (5 m)</b>	25 €	25 €
<b>Mano de obra (4 h)</b>	120 €	120 €
<b>TOTAL</b>	2.605 €	1.485 €

Tabla 2. Costes de la instalación para la reutilización.

En la Tabla 3 se presentan los ahorros económicos derivados de implementar el proceso de reutilización de agua y sal en el proceso de tintura y se comprueban los periodos de retorno de la inversión necesaria para que esta reutilización pueda llevarse a cabo. Se ha tomado como caso de estudio más común la realización de tricromías, que además supone un ahorro intermedio respecto a las tinturas con colorantes individuales. Los cálculos se han centrado en tinturas en tonos intensos realizadas en máquinas de tintura de 100 Kg y de 300 Kg de capacidad. Se calculan ahorros económicos y periodos de retorno en función del número de tinturas que se realicen por día, entre 1 y 3 como máximo, fijando el número de días laborables por año en 220.

	<b>300 Kg 1 tintura/día</b>	<b>300 Kg 2 tinturas/día</b>	<b>300 Kg 3 tinturas/día</b>
<b>Ahorro económico (€/año)</b>	2.904	5.808	8.712
<b>Periodo retorno</b>	0,90 años	0,45 años	0,30 años
	11 meses	5 meses y medio	3 meses y medio
	<b>100 Kg 1 tintura/día</b>	<b>100 Kg 2 tinturas/día</b>	<b>100 Kg 3 tinturas/día</b>
<b>Ahorro económico (€/año)</b>	968	1.936	2.904
<b>Periodo retorno</b>	1,53 años	0,77 años	0,51 años
	18 meses	9 meses	6 meses

Tabla 3. Ahorro económico y periodo de retorno de la inversión realizada para adaptar el proceso de tintura con el objetivo de reutilizar el agua y la sal.

De la tabla anterior se desprende que la inversión requerida para implantar el proceso de reutilización esta justificada en todos los casos, si bien esta arroja un periodo de retorno más corto si se aplica a una máquina de tintura de alta capacidad (300 Kg) y que trabaje a pleno rendimiento (3 tinturas por día). Así se observa que el periodo de retorno de la inversión es corto en todos los casos, situándose el periodo de retorno más desfavorable en 18 meses para una máquina de 100 Kg y en 11 meses para una máquina de 300 Kg que realicen una única tintura por día, siendo los costes de inversión de 1.485 € y de 2.605 €, respectivamente.

A partir de los costes de inversión a desembolsar (Tabla 2) y del ahorro en costes de producción derivados de la reutilización (Tabla 3) se han calculado también el VAN y el TIR para un periodo de 5 años (con una inflación del 2%) y una tasa de descuento del 5%, obteniendo resultados que como era de esperar aconsejan llevar a cabo la inversión. De hecho la implantación de la reutilización en una máquina de tintura de 100 Kg de capacidad que únicamente realice una tintura por día de trabajo ya supone un VAN positivo superior a los 2.800 € y un TIR del 60%.

## 5. Conclusiones

El proceso de reutilización propuesto permite ahorrar un 70% de agua y un 60% de sal en la tintura de tejidos de algodón con colorantes reactivos. Para convertir la reutilización en un proceso cíclico donde se puedan llevar a cabo tinturas sucesivas sin que se vea perjudicada la calidad de estas es necesario el incremento del colorante añadido en un 30% para el azul, un 10% para el magenta y un 20% para hacer tricromías; mientras que no es necesario realizar ningún incremento de colorante amarillo para reutilizar con éxito el agua decolorada.

Los costes derivados de la instalación de reutilización son bajos y perfectamente asumibles por una industria textil pequeña y la reducción de costes anuales de producción es muy importante, de manera que la inversión está justificada en todos los casos planteados. Así, se recomienda realizar la instalación independientemente de la capacidad de la máquina de tintura o de la tonalidad de la tintura, pero el caso más interesante se plantea cuando esta reutilización de agua decolorada se lleve a cabo en máquinas de tintura de alta capacidad (300 Kg) que trabajen a pleno rendimiento (3 tinturas/día) y reservar la máquina de tintura para realizar tinturas en tonos intensos, ya que la reutilización es más ventajosa para este tipo de tinturas ya que requieren de una gran concentración de sal, produciéndose una reducción de consumo importante de la misma.

## Referencias

Arslan-Alaton I., Kornmueller A., Jekel M.R., "Contribution of free radicals to ozonation of spent reactive dye baths bearing aminofluorotriazine dyes". *Coloration Technology*, Vol. 118, 2002, pp. 185-190.

Golob V., Vinder A., Simonic, M., "Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents". *Dyes and Pigments*, Vol. 67 (2), 2005, pp. 93-97.

Gutiérrez M.C., López-Grimau V., Riera-Torres M., Vilaseca M., Crespi M., "Tratamiento electroquímico y reutilización de efluentes de tintura". *Revista de Química Textil*, Vol. 191, 2009, pp. 40-46.

ICAEN. "Ús racional de l'aigua al sector d'ennobliment del textil", Generalitat de Catalunya, Institut Català d'Energia, Barcelona, 1998.



Koyuncu I, "Reactive dye removal in dye/salt mixtures by nanofiltration membranes containing vinylsulphone dyes: Effects of feed concentration and cross flow velocity". *Desalination*, Vol. 143, 2002, pp. 243-253.

López-Grimau V., Gutiérrez M.C., "Decolourisation of simulated reactive dyebath effluents by electrochemical oxidation assisted by UV light". *Chemosphere*, Vol. 62, 2006, pp. 106-112.

Marcucci M., Ciardelli G., Matteucci A., Ranieri L., Russo M., (2002) "Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes". *Desalination*, Vol.149, 2002, pp. 137-143.

Martín M.J., Artola A., Balaguer M.D., Rigola M., "Activated carbons developed from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 94 (3), 2003, pp. 231-239.

Sanghi, R. and Bhattacharya, B., "Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents". *Coloration Technology*, Vol. 118, 2002, pp. 256-269.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha recibido el soporte económico del Ministerio Español de Educación y Ciencia (proyectos: CTM2004-05774-C02-01/TECNO y CTM2007-66570-C02-01).

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Víctor López Grimau  
Departamento de Proyectos de Ingeniería  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL Y AERONÁUTICA DE TERRASSA (ETSEIAT).  
C/ Colom, 11  
08222 TERRASSA (Barcelona)  
Teléfono +34 937 39 73 16  
FAX +34 937 39 81 01  
E-mail: [victor.lopez-grimau@upc.edu](mailto:victor.lopez-grimau@upc.edu)