

RECICLADO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES DECOLORADAS CON TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS

M.C. Gutiérrez* y M. Crespi**

0.1. Resumen

En este trabajo se aborda la posibilidad de reciclar las aguas residuales textiles para su empleo en el proceso de tintura, previa eliminación del color causado por la presencia de colorantes reactivos mediante un tratamiento electroquímico con la celda ECO 75 (ELCHEM). También se describe detalladamente el funcionamiento y la estructura de esta celda.

Se aplica el tratamiento electroquímico a la decoloración de diversas aguas residuales sintéticas. Se estudia el rendimiento de decoloración y el consumo eléctrico resultante. Posteriormente, se someten las aguas ya tratadas a un proceso de aereación para eliminar el cloro residual y se valoran los resultados obtenidos empleando dichas aguas en la tintura de algodón.

Palabras clave: Reciclado de aguas residuales, reutilización de aguas residuales, decoloración, eliminación de color, oxidación electroquímica, técnicas electroquímicas.

0.2. Summary: RECYCLING OF ELECTROCHEMICALLY DECOLOURED TEXTILE WASTEWATER

This work deals with the possibility of recycling textile wastewater for use in the dyeing process. Until now, colour produced by the presence of reactive dyes was removed by means of an electrochemical treatment with cell ECO 75 (ELCHEM). The structure of the cell is described in detail.

The electrochemical treatment is applied to the decolorisation of diverse synthetic wastewaters. Decolorisation yield and electrical consumption are studied. Later, treated waters are submitted to a stripping process in order to remove residual chlorine, and they are then employed for cotton dyeing. The dyed samples are compared.

Key words: Wastewater, recycling, reuse, decolorisation, colour removal, electrochemical oxidation, electrochemical techniques.

0.3. Résumé: RECYCLAGE DES EAUX RÉSIDUALES TEXTILES DÉCOLORÉES AVEC DES TECHNIQUES ÉLECTROCHIMIQUES

Ce travail étudie la possibilité de recycler les eaux résiduelles textiles pour les employer dans la teinture, après avoir éliminé la couleur due à la présence des colorants réactifs à l'aide d'un traitement électrochimique employant la cellule ECO 75 (ELCHEM). Le fonctionnement et la structure de cette cellule sont également décrits.

Le traitement électrochimique est appliqué à la décoloration de diverses eaux résiduelles synthétiques. Le rendement de la décoloration et la consommation électrique sont étudiés. Postérieurement, les eaux traitées sont soumises à une aération pour enlever le chlore résiduaire et les résultats obtenus en employant ces eaux pour la teinture du coton sont discutés.

Mots clé Recyclage, réutilisation, eaux résiduelles, decoloration, élimination de la couleur, oxidation électrochimique, techniques électrochimiques.

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos de aguas naturales, cada vez más contaminados, están empezando a resultar escasos para satisfacer las actuales demandas industriales. Por ello, durante los últimos años se ha observado un incremento en la necesidad de reducir y controlar el consumo de agua. La industria textil no resulta ajena a estos problemas, ya que emplea una gran cantidad de agua, principalmente en las operaciones de lavado y enjuague. En consecuencia, muchas empresas se están planteando actualmente la posibilidad de reciclar el agua evacuada en estos procesos para su reutilización en la tintura^{1,2}. Sin embargo, algunas de dichas aguas residuales suelen ser coloreadas, por lo que generalmente deben someterse a un proceso de decoloración antes de utilizarse de nuevo en el proceso productivo^{3,4}.

Existen diversos métodos para decolorar las aguas residuales: floculación-coagulación, adsorción con carbón activo, ozonización, tecnología de membrana, adsorbentes biológicos, técnicas electroquímicas, etc^{5,6}.

Entre estas técnicas, cabe destacar las electroquímicas, ya sea por su versatilidad así como por los buenos rendimientos obtenidos en nuestros estudios previos de decoloración de aguas residuales textiles^{7,8}. El tratamiento se lleva a cabo en celdas electroquímicas y se basa en

* M. Carmen Gutiérrez, Dra. en Ciencias Químicas, Colaboradora de Investigación de la Universidad Politécnica de Catalunya, en el Laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental, INTEXTER (U.P.C.)

** Dr. Ing. M. Crespi Rosell, Catedrático de Escuela Universitaria en el Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.). Jefe del Laboratorio de Control de Contaminación Ambiental, INTEXTER (U.P.C.)

provocar reacciones químicas de oxidación y de reducción en la disolución a tratar hasta obtener su decoloración. Resulta económicamente mucho más ventajoso cuando los efluentes contienen cloruros, ya que las especies químicas obtenidas por oxidación del cloruro producen después una oxidación indirecta del colorante.

2. LA CELDA ELECTROQUÍMICA

Una celda electroquímica consta de dos conductores denominados electrodos (generalmente metálicos) conectados entre sí e inmersos en una disolución de electrolito.

Las celdas electroquímicas se dividen en dos tipos:

- Galvánicas: cuando las reacciones electroquímicas tienen lugar espontáneamente al conectar los electrodos mediante un conductor (pilas).
- Electrolíticas: si las reacciones son causadas por una imposición de corriente externa mayor que el voltaje reversible de la celda.

Este último tipo es el que se emplea para producir reacciones químicas a expensas de la energía eléctrica. Tradicionalmente, han tenido un uso comercial importante en procesos de síntesis. Su empleo en el tratamiento de aguas residuales es mucho más reciente.

En el caso de aguas residuales textiles, la disolución a tratar no suele requerir la adición de un electrolito, puesto que los efluentes tienen generalmente una salinidad suficiente.

En el presente estudio, el tratamiento electroquímico se lleva a cabo con una celda ECO 75 (ELCHEM), que opera en continuo. Su esquema se representa en la figura 1.

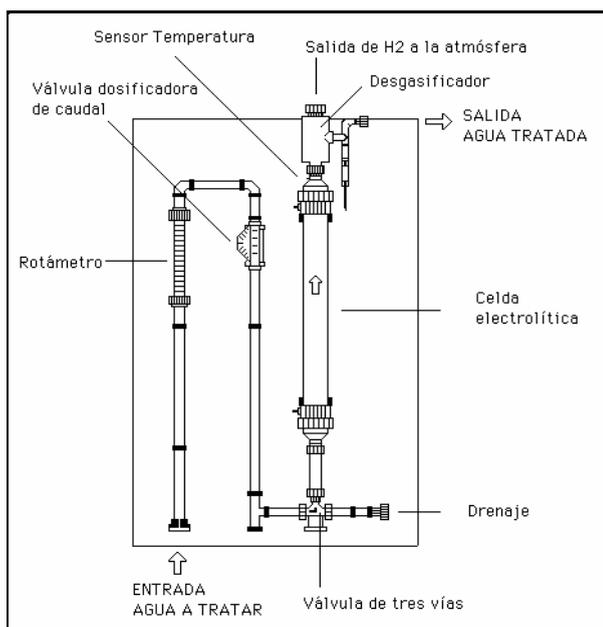


FIGURA 1: Esquema de la celda ECO 75 (ELCHEM)

El agua coloreada a tratar se suministra mediante una bomba centrífuga. Su caudal es regulable entre 2,5 y 25 L/h. Dispone de una sonda de temperatura y el equipo se desconecta al alcanzar los 50°C. La fuente de alimentación permite fijar la diferencia de potencial entre 0 y 40V. La intensidad es variable entre 0 y 25 A, según la diferencia de potencial aplicada. La fuente de alimentación se conecta a un equipo para el análisis de redes eléctricas (Circuitor Multi-Vartest C-79M) para medir el consumo eléctrico en continuo durante los ensayos.

En la figura 2, se representa el esquema correspondiente al sistema electrolítico completo.

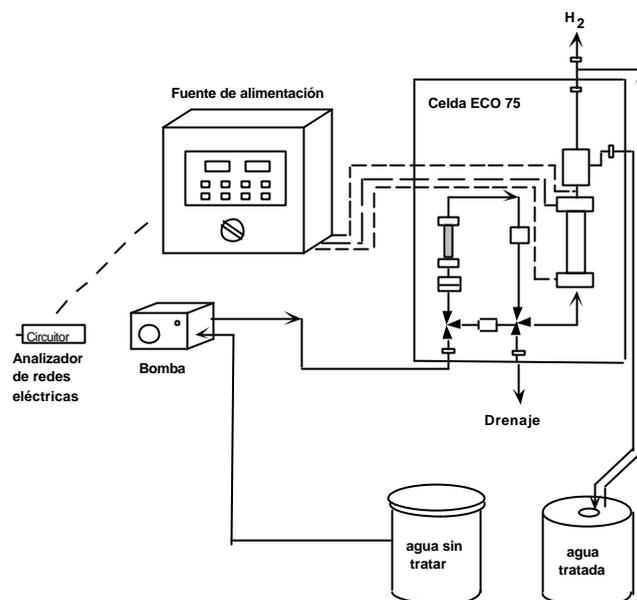


FIGURA 2: Sistema electrolítico completo asociado a la celda ECO 75.

El diseño de la celda electrolítica es complejo: se puede dividir en 5 celdas electroquímicas unitarias monopolares, conectadas entre sí de forma bipolar (figura 3). El sistema funciona como mixto monopolar-bipolar.

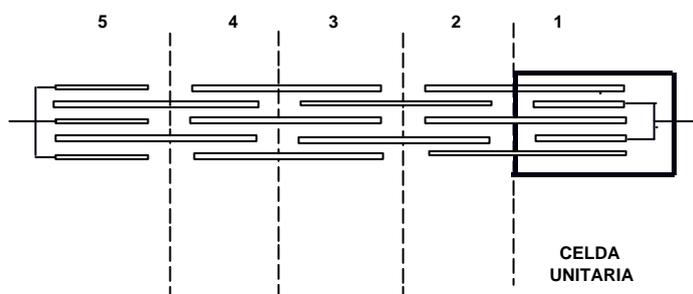


FIGURA 3: Esquema de las celdas unitarias que constituyen la celda ECO 75.

Los electrodos están constituidos por titanio activado con un catalizador (se hallan recubiertos de una mezcla de óxidos de metales nobles, entre ellos, el platino). Geométricamente, consisten en placas de dimensiones 70mm x 32mm x 1,2mm o bien 155mm x 32mm x 1,2mm. La distancia entre ellas es de 2mm. Las placas de doble longitud están repartidas entre dos celdas unitarias. Así, cada una de las celdas unitarias consta únicamente de placas de 77,5mm de longitud (ó 70mm en los extremos). La placa central actúa por las 2 caras y tiene la misma polaridad que las dos placas extremas, que sólo actúan por la cara interna. Las otras dos placas restantes (medias) son de polaridad opuesta a las primeras y actúan por las dos caras (figura 4).

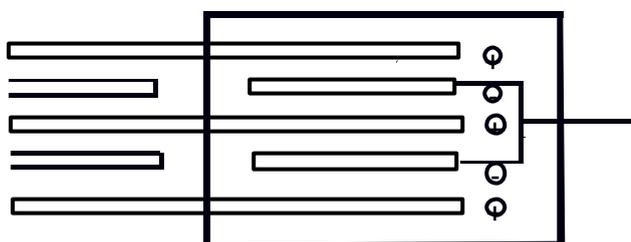


FIGURA 4: Disposición de los electrodos en la celda.

La superficie total de cada uno de los electrodos en una celda unitaria es de 99 cm² (ó 90 cm² en uno de los extremos). Dado que la celda ECO 75 está constituida por 5 celdas unitarias conectadas en bipolar, la superficie total del ánodo o del cátodo es de 486 cm².

3. EXPERIMENTAL

3.1. Aguas residuales y tratamiento electroquímico

Se prepararon aguas residuales sintéticas empleando, por separado, los siguientes colorantes:

- **Anaranjado** Brillante Remazol 3R espl. granos (C.I. Reactive Orange 16)
- **Rojo** Reactol SF-2B (C.I.Reactive Red 240)
- **Violeta** Cibacron P-2R (C.I.Reactive Violet 2)
- **Azul** brillante Basilen P-BR liq. (C.I. Reactive Blue 5)
- **Turquesa** Cibacron GE (C.I. Reactive Blue 7).

En primer lugar, se añadió sobre el colorante un 5-10% del volumen total de agua. Se ajustó a pH 12 con NaOH diluida y se mantuvo 1h a ebullición para alcanzar la hidrólisis del colorante

(ya que en las aguas residuales se encuentra hidrolizado). A continuación, se ajustó a pH neutro con HCl diluido. Finalmente, se añadió la cantidad de NaCl necesaria para alcanzar la conductividad correspondiente al ensayo.

La decoloración obtenida en cada ensayo se expresa en % y se valora a partir de las absorbancias correspondientes a la longitud de onda de máxima absorción de cada colorante.

Las características de las aguas residuales tratadas así como las condiciones propias del tratamiento electroquímico se indican en la tabla 1.

TABLA 1

Características de las aguas residuales y condiciones de tratamiento

Ensayo	Concentración colorante (g/l)	Conductividad (mS-cm)	Diferencia de potencial (V)	Caudal (l/h)
A	0,1	20.000	20	5
B	0,1	20.000	20	25
C	0,1	20.000	10	25
D	1	35.000	15	15

3.2. Eliminación del cloro residual y reciclado

Se determina el contenido de Cl₂ activo disuelto en las muestras mediante método iodométrico y se añade la cantidad de Na₂SO₃ necesaria para reducirlo a Cl⁻. Se aerea durante 24h para eliminar los restos de Cl₂ que pueden interferir en la tintura.

Con las aguas así tratadas, se efectuó la tintura de algodón a relación de baño 1:10 con la siguiente tricromía de colorantes reactivos: Amarillo Cibacron FG (1% s.p.f.), Rojo Cibacron FB (1 % s.p.f.), Azul Cibacron FR (1 % s.p.f.).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tratamiento electroquímico

Se llevaron a cabo los 4 ensayos de decoloración indicados en la tabla 1 sobre aguas residuales conteniendo el colorante Anaranjado. Se determinó la decoloración ($\lambda=488\text{nm}$) y el consumo resultante. Los resultados correspondientes se indican en la tabla 2.

TABLA 2

Resultados del tratamiento electroquímico sobre aguas residuales que contienen el colorante Anaranjado

Parámetro	Ensayo A	Ensayo B	Ensayo C	Ensayo D
Decoloración (%)	100	100	100	96
Consumo (Wh/l)	175	26	4,5	9

Se observa que cuando la concentración del colorante es más baja (0,1 g/l) se obtiene una decoloración total en todos los casos. Cuando la concentración de colorante es más elevada (1g/l) la decoloración es muy buena (96%), aunque no llega a ser completa. La pequeña cantidad colorante residual se puede eliminar sometiendo la muestra a un nuevo tratamiento electroquímico.

El consumo eléctrico es mucho más favorable en las condiciones correspondientes a los ensayos C y D (caudal: 15-25 l/h y diferencia de potencial 10-15V).

Así mismo, se valoró la decoloración obtenida en los ensayos A y C para los colorantes Rojo ($\lambda=521\text{nm}$), Violeta ($\lambda=557\text{nm}$), Azul ($\lambda=576\text{nm}$) y Turquesa (promedio de $\lambda=622\text{nm}$ y 668nm). Los resultados se recogen en la tabla 3.

TABLA 3

Resultados del tratamiento electroquímico sobre aguas residuales que contienen los colorantes Violeta, Rojo, Azul y Turquesa

Colorante	Ensayo A		Ensayo C	
	Decoloración (%)	Consumo (Wh/l)	Decoloración (%)	Consumo (Wh/l)
Rojo	100	170	94	4,4
Violeta	99	180	90	4,6
Azul	100	156	100	4,6
Turquesa	100	160	98	4,4

Se obtiene una decoloración prácticamente completa en el ensayo A para estos colorantes, aunque en el violeta queda un 1% de colorante residual. Las decoloraciones obtenidas en el ensayo C están comprendidas entre el 94 y el

100%, lo cual representa un muy buen rendimiento. Los consumos eléctricos correspondientes son del mismo orden que los obtenidos con el colorante Anaranjado.

4.2. Reciclado

Se sometieron a tratamiento electroquímico hasta decoloración total dos aguas residuales sintéticas (1 y 2) preparadas a partir del colorante Anaranjado a concentraciones de 0,1 y 1 g/l respectivamente. Sus conductividades se ajustaron con NaCl a $10.000\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ (agua 1) y $30.000\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ (agua 2). Una vez decoloradas, se eliminó el cloro residual y se llevaron a cabo las correspondientes tinturas. Los resultados de dichas tinturas se ilustran en la figura 5.

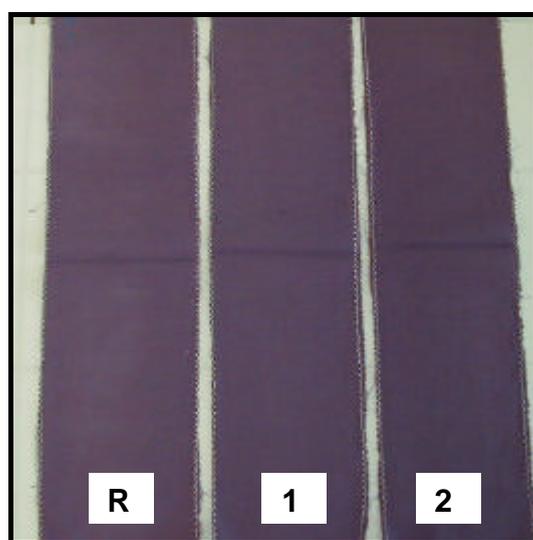


FIGURA 5: R: Algodón teñido con el agua normal (referencia). 1 y 2: Algodón teñido con el agua 1 y el agua 2, respectivamente.

Se observa que la muestra teñida con el agua 1 es casi idéntica a la referencia, mientras que la muestra obtenida a partir del agua 2 (inicialmente más concentrada en colorante y electrolito) muestra un matiz notablemente distinto a la referencia.

En términos cuantitativos, la muestra 1, respecto a la referencia, tiene una diferencia de color aceptable ($DE_{\text{cmc}}(2:1)=0,337$). En cambio, la muestra D presenta una diferencia de color ($DE_{\text{cmc}}(2:1)=1,52$) mucho más elevada, lo que significa que los compuestos químicos presentes en el agua decolorada interfieren en la tintura.

Principalmente, esta interferencia se atribuye a una concentración excesiva de electrolito en el agua decolorada. También podría ocurrir que las sustancias interferentes fueran los productos de descomposición del colorante, aunque parece menos probable. En cualquier caso, siempre es posible evitar estas diferencias de color mezclando una parte del agua decolorada con agua limpia.

5. CONCLUSIONES

5.1. Las técnicas electroquímicas son adecuadas para eliminar el color de las aguas residuales textiles que contengan cloruros. En todos los casos estudiados se han obtenido decoloraciones comprendidas entre el 94 y el 100%. En cuanto al consumo eléctrico, depende en gran medida de las condiciones establecidas para el tratamiento electroquímico.

5.2. Por otra parte, las técnicas electroquímicas permiten el reciclado del agua decolorada para efectuar tinturas cuando el agua residual de partida presenta una concentración de colorante y una conductividad relativamente bajas.

5.3. Sin embargo, cuando el agua residual tiene una elevada concentración de colorante y de electrolito antes de la decoloración, no se obtiene un matiz correcto en la tintura con el agua reciclada, aunque se haya decolorado previamente de forma total.

5.4. Esta interferencia en el proceso de tintura puede ser atribuirse a la excesiva cantidad de electrolito presente en el baño. También es posible que los productos de degradación de los colorantes contenidos en el agua residual se fijen sobre la fibra al reciclar el agua para la tintura. En este caso, la solución sería diluir parcialmente el agua tratada hasta que la tintura sea aceptable, ya que la eliminación de los compuestos interferentes puede resultar complicada y costosa.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. Juan Antonio Navarro y al Dr. Valldeperas las tinturas efectuadas y la valoración del color.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Giavazzi, P., "Reciclado de aguas en la industria textil". *Revista de Química Textil*, 147 (3/6): 79-82 (2000).
2. "Dyehouse could reuse 50% of waste water". *Australasian textiles & fashion*, 21 (2): 33 (2001).
3. Skelly, K., "Water Recycling", *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 30: 21-35 (2000).
4. Uygur, A., "Reuse of decolourised wastewater of azo dyes containing dichlorotriazinyl reactive groups using an advanced oxidation method". *Coloration Technology*, 117: 111-113 (2001).
5. Gutiérrez, M.C., "Contribución al estudio de la decoloración electroquímica de colorantes reactivos en aguas residuales textiles". Tesis doctoral. Universidad de Barcelona: 312p. (2000).
6. Gutiérrez, M.C., Crespi, M. "A review of electrochemical treatments for colour elimination". *Journal Society of Dyers and Colourists*, 115: 342-345. (1999).
7. Gutiérrez, M.C., Pepió, M., Crespi, M., Mayor N., "Control factors in the electrochemical oxidation of reactive dyes", *Coloration Technology*, 117: 356-361 (2001).
8. Gutiérrez, M.C., Pepió M., Crespi, M. "Electrochemical oxidation of reactive dyes: method validation and application". *Coloration Technology*, 118 (1) (2002).