

---

# Industria Textil: ¿Depuración Biológica o Físicoquímica?

M. Crespi (\*)  
J. A. Huertas (\*\*)

## 0. Resumen

Se introduce el tema con una descripción cualitativa de los contaminantes de las aguas residuales de la industria textil, y cómo los posteriores procesos de depuración son influenciados por la naturaleza de estos contaminantes.

Las ventajas e inconvenientes de los tratamientos biológicos, físico-químicos o una combinación de ambos, cuando se aplican a las aguas residuales de la industria textil, son comentados a través de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en planta piloto y a escala real sobre aguas residuales de baja, media y alta carga procedentes de tres industrias textil-algodoneras.

Finalmente se cuantifica la influencia del tipo de depuración sobre el Canon de Saneamiento, del Departamento de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, establecido por la Ley 5/1981.

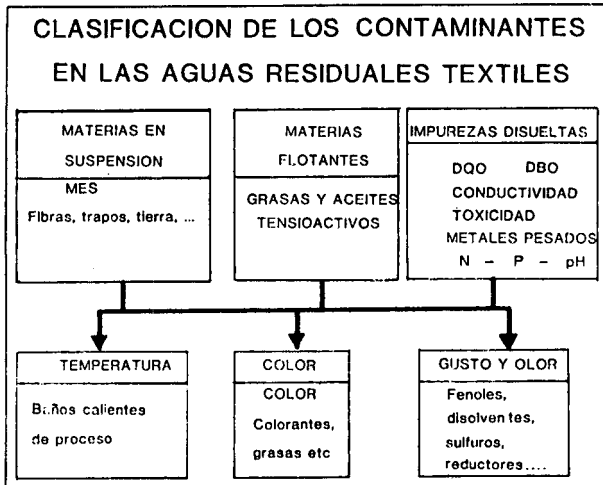
- (\*) Dr. Ing. Martín Crespi Rosell. Jefe del Laboratorio de "Control de la Contaminación Ambiental", de este Instituto. Catedrático de "Química Textil" en la E.U.I.T.I. de Terrassa.
- (\*\*) Ing. Técnico Juan Antonio Huertas López. Laboratorio de "Control de la Contaminación Ambiental", de este Instituto

# 1. INTRODUCCIÓN

La industria textil procesa diferentes fibras. La naturaleza diversa de las mismas, la gran variedad de procesos, productos y maquinaria que utiliza, motiva que las industrias sean numerosas y variadas.

Cada una de las actividades que se realizan genera agua residual de características muy variables. Sin embargo, esta diferencia es más cuantitativa que cualitativa.

En la Figura 1 se clasifican las materias contaminantes de las aguas residuales textiles en tres grandes grupos<sup>1)</sup>.



**INDUSTRIA TEXTIL ALGODONERA: CONTAMINACION MEDIA**

PARAMETRO	REFERENCIA		
	COOPER	BOURDELLOT	CRESP
pH	8-11,9	11,8	9-12,8
DQO mg/l	--	1300	600-2000
DBO <sub>5</sub> mg/l	200-800	640	150-800
MES mg/l	30-100	130	50-260
VOLUMEN m /Tm	250-580	--	100-600

Tabla 1

Las materias en suspensión: Tales como residuos minerales, fibras, sustancias insolubles, etc., son relativamente escasas en los efluentes textiles, excepto en los lavaderos de lana. Las materias no disueltas se depositan lentamente sobre los cursos de agua. Si el depósito es importante sobreviene la asfixia de los microorganismos depuradores y la destrucción de las zonas de alimentación y reproducción de los peces. Cuando estas materias son de naturaleza orgánica, se descomponen progresivamente agotando el oxígeno y generando gases tóxicos y malolientes.

Materias flotantes: Como aceites, grasas y espumas. Además de ser poco agradables a la vista, disminuyen el crecimiento de la flora acuática al impedir la penetración de la luz. Los aceites en particular perturban la reaireación de los cursos de agua, destruyen la vegetación natural y son tóxicos para la vida acuática animal y vegetal. La industria textil sólo genera grasas y aceites de forma importante en el lavado de la lana en los procesos de estampación en los que intervienen pastas de petróleo. En cambio la presencia de tensioactivos se aprecia de forma generalizada, pudiendo generar espumas al verter el agua al río, incluso después de un proceso de depuración eficiente, ya que pequeñas cantidades de tensioactivo (2 - 3 mg/l) son suficientes para producir espuma.

No obstante, si las cantidades de tensioactivo son pequeñas (proceso de depuración eficiente) la espuma desaparece después de muy pocos metros del vertido.

Impurezas disueltas: Constituye con mucho el grupo más importante de contaminantes presentes en las aguas residuales textiles, en las que se puede encontrar: ácidos, álcalis, reductores, oxidantes, colorantes y un sinnúmero de productos auxiliares todos ellos solubles. Los reductores y la materia orgánica disuelta consumen el oxígeno del cauce provocando la muerte de los organismos acuáticos.

Algunos de los productos contaminantes disueltos pueden ser además tóxicos, como los derivados fenólicos, transportadores de tintura, cromo, grasas, aceites, metales pesados, etc. produciendo entonces un efecto mucho más agudo sobre el cauce receptor.

Esta clasificación cualitativa de los contaminantes de los efluentes textiles, nos indica una presencia muy importante de impurezas solubles, y escasa de materias en suspensión coloidales, lo que a priori indica que los procesos de coagulación química no pueden ser muy efectivos si se aplican directamente sobre estos efluentes.

La carga contaminante generada en las diferentes operaciones del proceso textil, ha sido descrita extensamente por diversos autores<sup>(23)(4)(5)(6)</sup>, por lo tanto no será tratado aquí este tema. Solamente indicaremos en la Tabla 1 los parámetros más característicos de la contaminación de los efluentes de la

industria textil algodonera, ya que este trabajo se refiere a ella fundamentalmente. Los valores de la tabla 1 deben considerarse como los más probables, aunque puede existir alguna industria fuera de estos límites.

En general la carga contaminante de los efluentes textiles es de dos a tres veces superior a la de una agua residual urbana y algo más tóxica. Otros efluentes como los de la industria papelera, química, farmacéutica, alimentaria, etc., contienen mayor carga contaminante que las aguas textiles.

## 2. OBJETIVOS

Durante largo tiempo las aguas residuales de la industria textil han sido consideradas como muy difíciles de tratar, sin embargo las investigaciones efectuadas en el transcurso de estos últimos años han modificado esta manera de pensar.

G. Cooper y H.R. Jones<sup>59)</sup> dan una lista muy completa de los porcentajes de depuración que es posible alcanzar con los diferentes procesos de depuración que se pueden aplicar sobre los efluentes textiles. En la Tabla 2 se indica la eficiencia de los tratamientos secundarios de coagulación química y biológicos<sup>3)4)5)6)7)8)9)</sup>.

En la Tabla 2 se observa que los rendimientos alcanzados en la coagulación química, cuando se aplica directamente sobre efluentes textiles son muy variables encontrándose por lo general más cerca del límite inferior que del superior. El grado de depuración alcanzado con los procesos biológicos es superior, excepto en la eliminación del color.

EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS DE DEPURACION		
PARAMETRO	PORCENTAJE DE DEPURACION	
	COAGULACION QUIMICA	BIOLOGICO
DDO	20-70	50-80
DBO <sub>5</sub>	20-70	70-95
MES	30-90	50-95
COLOR	20-99	20-40
TOXICIDAD	50-80	90-100

Tabla 2

Los procesos biológicos son los recomendados por la EPA<sup>10)</sup> (Environmental Protection Agency de Estados Unidos de América). Como primera etapa de la depuración de las aguas residuales textiles la cual se puede completar con una coagulación química o un proceso de absorción para eliminar fundamentalmente el color.

En España habitualmente se han construido plantas de coagulación química para tratar los efluentes textiles, probablemente por ser insensibles a los productos tóxicos, a las variaciones de pH y de caudal, a la vez que son más eficaces para eliminar el color. Sin embargo, muchas de ellas alcanzan bajos rendimientos en la eliminación de la materia orgánica disuelta y la toxicidad, lo cual puede afectar muy desfavorablemente al Canon de Saneamiento que tendrán que pagar estas industrias por la contaminación no eliminada en la planta depuradora.

En este trabajo se ha estudiado la depuración de los efluentes procedentes de tres industrias aldoneras con distinta carga contaminante, para determinar:

a) El grado de depuración que se puede obtener con un proceso biológico seguido de un proceso de coagulación - floculación.

b) La influencia de la naturaleza del coagulante en la eliminación de la materia orgánica y del color.

c) El efecto sobre el proceso de coagulación química ejercido por un pretratamiento biológico.

### 3. EXPERIMENTAL

Para que los ensayos fueran significativos, se han efectuado sobre efluentes de tres industrias textiles diferentes, con aguas residuales de baja a alta carga contaminante:

La INDUSTRIA "A". Merceriza; blanquea y tiñe hilos de algodón y fibra sintética en bobina cruzada y madeja. Sus efluentes son alcalinos y con una carga contaminante baja (DQO = 600 mg. O<sub>2</sub>/l), con un caudal diario de 500 m<sup>3</sup>.

La INDUSTRIA "B" efectúa operaciones de descruado, blanqueo, mercerizado, tintura y estampación de tejidos de algodón y fibras sintéticas. El caudal diario de aguas residuales es de 2500 m<sup>3</sup>, con un pH próximo a 9 y con una DQO = 1000 mg. O<sub>2</sub>/l.

La INDUSTRIA "C" descrua, blanquea y tiñe tejidos de algodón y fibras sintéticas. Sus efluentes son muy alcalinos, con una elevada carga contaminante DQO = 1900 mg. O<sub>2</sub>/l y con un caudal diario de 3500 m<sup>3</sup>.

Los ensayos fueron realizados en plantas piloto de laboratorio y a escala real. Los análisis se han realizado según normas APHA.

### 3.1. Ensayos sobre los efluentes de la INDUSTRIA "A"

Durante un período de seis meses se analizaron 38 muestras integradas de agua residual procedente de esta industria, los valores medios obtenidos son:

DQO media: 596 mg/l, S: 194 mg/l  
 DBO<sub>5</sub> media: 151 mg/l, S: 64 mg/l  
 pH medios: 12, S: desviación tipo

Sobre estas aguas neutralizadas a pH 8 - 8'5 se han efectuado ensayos de depuración biológica por lagunaje aireado en una planta piloto de laboratorio con tiempos de retención de 24 h. y 48 h. La disminución de la DQO y DBO<sub>5</sub> a diferentes cargas másicas se representa en las Fig. 2 y 3:

Figura 2

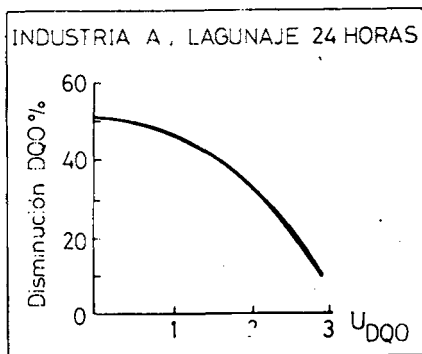
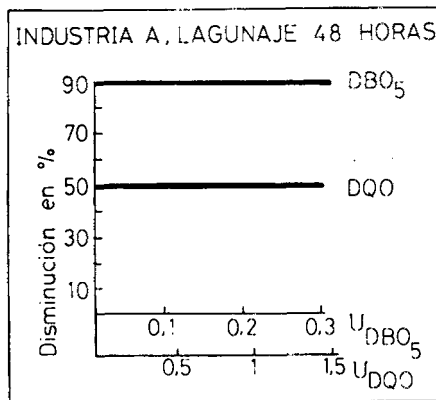


Figura 3.



En la Fig. 2 se observa una disminución máxima de la DQO del 50% para cargas másicas inferiores a 1. Para cargas másicas "U" comprendidas entre 1 y 2 los rendimientos oscilan del 35 al 50%.

Con respecto a la DBO<sub>5</sub> se han logrado rendimientos del 90% para cargas másicas inferiores a 0'1 y del 75% para U = 0'4.

Con tiempos de retención "TR" de 48 h. los rendimientos alcanzados son superiores que en los ensayos con TR = 424 h., aún trabajando con cargas másicas superiores (Fig. 3).

Después del proceso biológico de lagunaje aireado, se han efectuado

ensayos de coagulación - floculación sobre las aguas tratadas biológicamente sin decantar, con el propósito de eliminar el color, cuya disminución ha sido prácticamente nula durante el lagunaje aireado.

Los ensayos de coagulación química se han realizado en un Jar Test de laboratorio. Se han empleado tres coagulantes: sulfato ferroso, clorosulfato férrico y sulfato de aluminio. El sulfato ferroso se ha utilizado conjuntamente con cal ya que el pH de coagulación para el  $Fe^{2+}$  debe ser superior a 9.

Los resultados se indican en las Figs. 4 y 5.

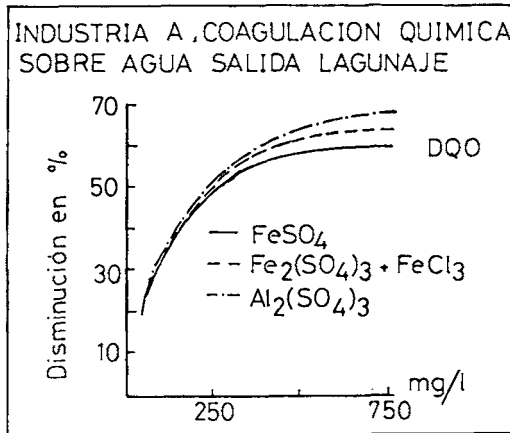


Fig 4

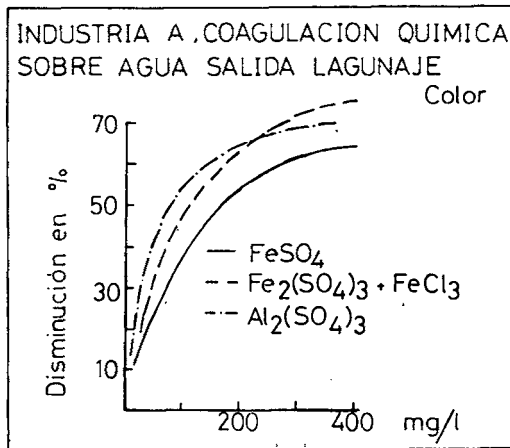


Figure 5

La disminución de la DQO y el color es del mismo orden con los tres coagulantes, no obstante por razón de economía el coagulante más indicado sería el sulfato ferroso.

En la Fig. 6 se indica la eliminación de la DQO cuando la coagulación química se realiza directamente sobre los efluentes de la industria "A" sin el pretratamiento de lagunaje aireado. Se observa que los rendimientos obtenidos son muy inferiores a pesar de utilizar dosis mucho más elevadas de coagulante.

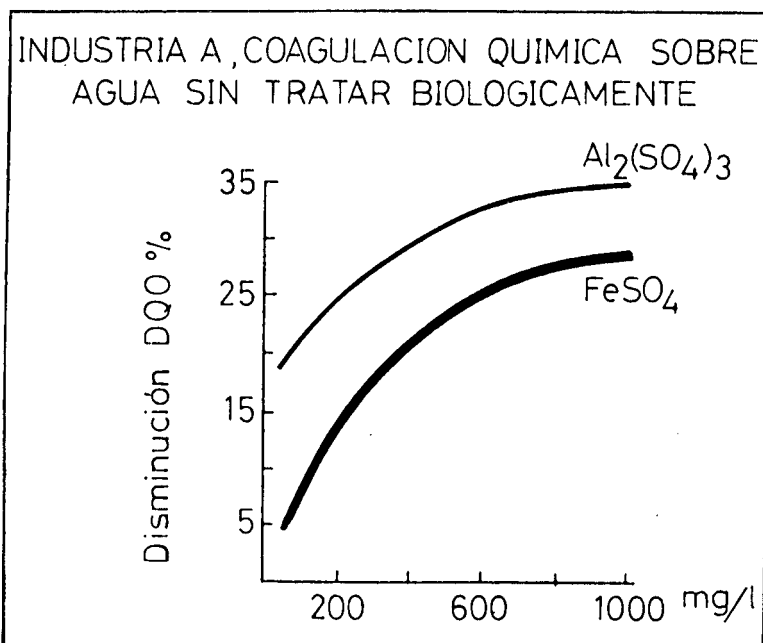


Figura 6

En todos los casos durante la floculación se ha añadido 1 ppm de polielectrólito aniónico.

Una vez elegido el sulfato ferroso como coagulante óptimo, en este caso, en razón del precio - eficacia, se continuaron los ensayos de coagulación durante tres meses sobre el agua tratada por lagunaje aireado durante 48 h. La dosis media de sulfato ferroso empleada fue de 300 mg/l y el pH de coagulación se ajustó a 9'2 con cal. Los rendimientos medios conseguidos en la depuración conjunta fueron:

Disminución de la DQO: 72%  
 Disminución de la  $DBO_5$ : 95%  
 Disminución del color: 95%  
 Disminución de la MES: 95%  
 Disminución de la Toxicidad: 100%



### 3.2. Ensayos sobre los efluentes de la Industria "B"

Los ensayos se realizaron directamente en la planta depuradora ya existente, cuyo esquema se representa en la Fig. 7.

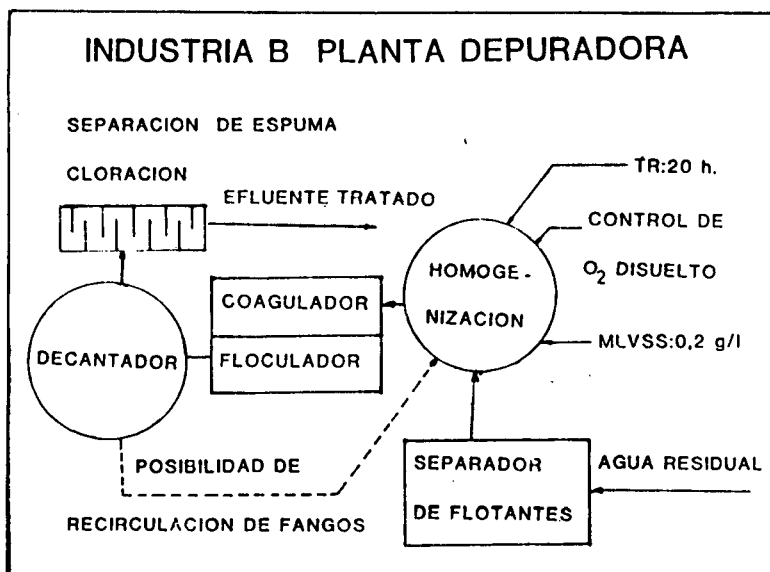


Figura 7

Antes de separar los efluentes de mercerización, el pH en el tanque de homogenización oscilaba entre 10 - 11, lo que impedía la vida de bacterias en el mismo. La coagulación química se realizaba con  $Al_2(SO_4)_3$ , con recirculación de fango del decantador al tanque de homogenización. La eliminación de la DQO, DBO<sub>5</sub> y el color eran inferiores al 50%.

En la actualidad se han separado los efluentes del mercerizado, con lo que el pH del agua a la entrada de la depuradora se mantiene entre 8'5 - 9. En el depósito de homogenización el pH desciende un punto por acción de las bacterias y la aireación, oscilando su valor entre 7'5 - 8. La población de bacterias se mantienen alrededor de los 0'2 g/l de sólidos volátiles en suspensión (MLVSS). La tasa de respiración es de 0'3 - 0'4 mg O<sub>2</sub>/min, lo que indica actividad bacteriana, de esta forma el tanque de homogenización además de cumplir su misión actúa como pretratamiento biológico.

La coagulación química se realiza con dosis de 500 - 600 g/m<sup>3</sup> de sulfato ferroso, el pH se ajusta entre 9 - 9'5 Ca (OH)<sub>2</sub>. Durante la floculación se añade 1 g/m<sup>3</sup> de polielectrólito aniónico. En la Fig. 8 se representa la influencia de la dosis de coagulante sobre el rendimiento de la depuración de los efluentes de la industria "B".

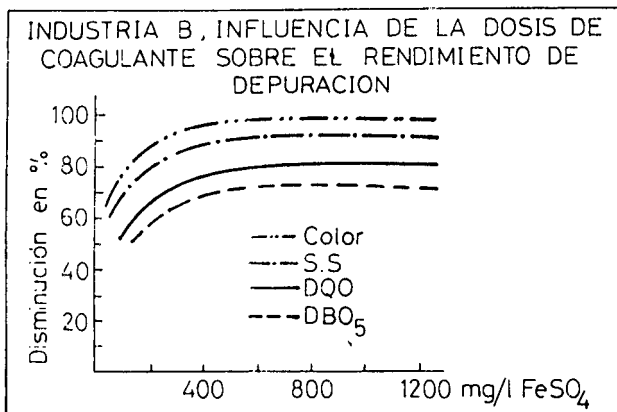


Figura 8

La eficiencia media de la planta depuradora durante un período de nueve meses, funcionando de la manera descrita anteriormente fue la que se indica en la Tabla 3.

**TABLA 3**

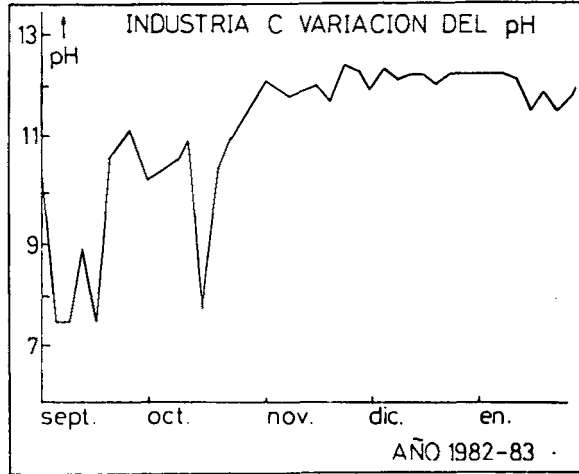
Parámetro	Entrada	Salida	Rendimiento %
DQO mg/l	996	259	74
DBO <sub>5</sub> mg/l	275	90	67
COLOR mg PtCo/l	1250	30	97,5
MES mg/l	239	25	89

También se utilizó cloruro férrico, sin adición de cal, como coagulante. Parte del fango del decantador se recirculaba al depósito de homogenización - aireación con el objeto de aumentar la concentración de bacterias en este tanque. Los rendimientos obtenidos fueron ligeramente inferiores en especial la disminución del color y MES.

El fango que se produce en esta planta depuradora se utiliza como acondicionador del terreno en una plantación de chopos. La tierra de la plantación es ligeramente ácida y muy pobre en nutrientes. Con el empleo controlado del fango se ha mejorado la tasa de crecimiento de los árboles y se han exterminado los parásitos.

### 3.3. Ensayos sobre efluentes de la Industria "C"

Como indica la Fig. 9, a partir del mes de octubre del año 1983 los efluentes de esta industria son altamente alcalinos.



Los tratamientos de coagulación química efectuados directamente sobre estos efluentes dieron en todos los casos rendimientos inferiores al 50%.

Durante un período de seis meses se realizaron ensayos de depuración en una planta piloto de fangos activados. Los rendimientos medios obtenidos en la planta durante los seis meses de ensayos fueron los que se indican en la Tabla 4.

**TABLA 4**

Parámetro	Entrada	Salida	Rendimiento %
DQO mg/l	1870	656	64,5
DBO <sub>5</sub> mg/l	610	53	91,4
COLOR mg PtCo/l	800	480	40
MES mg/l	260	35	86

Número de determinaciones: 28

En la Fig. 10 se indica el efecto de la variación de la carga másica sobre la eliminación de la DQO Y DBO<sub>5</sub>.

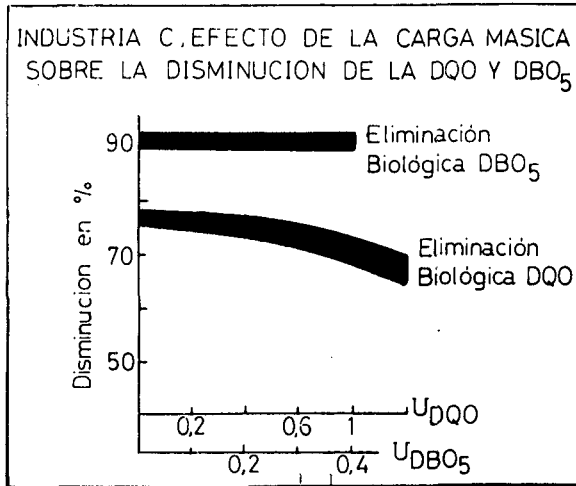


Figura 10

En la Fig. 11 se representa el esquema del proceso de depuración adoptado, que consiste en almacenar los efluentes alcalinos en un tanque separado. De este modo en el tanque de homogenización se mantiene un pH de 7 - 8, y una tasa de respiración de 0'7 mg O<sub>2</sub>/min. Los efluentes alcalinos se dosifican directamente al depósito de coagulación.

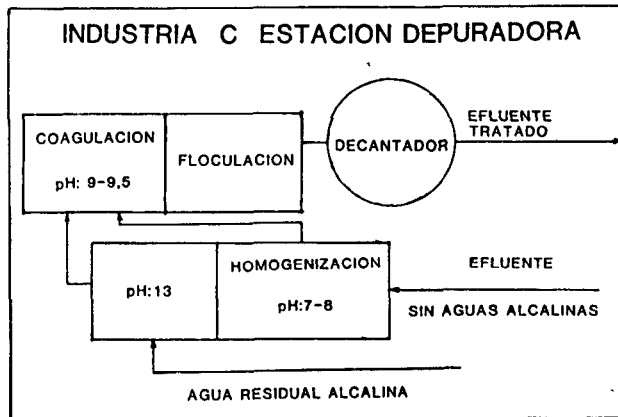


Figura 11

Empleando dosis de 600 - 700 mg/l de Fe SO<sub>4</sub>, con este proceso en el laboratorio se consiguió una disminución de la DQO del 72 - 79% y del 90 - 95% para el color.

Actualmente en la planta se obtiene rendimientos del 66% para la DQO y

del 67% para la DBO<sub>5</sub>, algo más bajos debido a que hay un exceso de efluente alcalino que debería neutralizarse. Si la coagulación química se efectúa sin los efluentes alcalinos, los rendimientos se incrementan al 81'2% para la DQO y el 83'7% para la DBO<sub>5</sub>.

#### 4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 5 se resumen los rendimientos alcanzados con los diferentes procesos de depuración utilizados en el estudio.

INFLUENCIA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE DEPURACION									
PORCENTAJE DE DEPURACION									
PARAMETRO	COAGULACION			BIOLOGICO			BIOLOGICO +		
	QUIMICA			COAG. QUIM.			COAG. QUIM.		
	INDUSTRIA			INDUSTRIA			INDUSTRIA		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
DQO	33	50	50	50	—	65	77	74	83
DBO <sub>5</sub>	10	50	55	90	—	92	95	67	96
MES	70	60	—	40	—	86	95	89	90
TOXICIDAD	45	—	—	100	—	98	100	90	95
COLOR	70	52	—	40	—	40	80	98	95

Tabla 5

Se observa en todos los casos que la coagulación química realizada directamente sobre los efluentes textiles es muy poco eficiente. La depuración biológica por fangos activados es muy efectiva, excepto en la eliminación del color, sin embargo requieren un control experimentado y son sensibles a los cambios de pH, a las variaciones de carga y a los productos tóxicos.

la solución que ha dado también elevados rendimientos, y es menos sensible que los fangos activados a los accidentes, es efectuar un pretratamiento biológico (homogenización - aireación con tiempos de retención superiores a las 24 h., con control de pH y de tasa de respiración antes del proceso de coagulación química.

#### 5. INFLUENCIA DEL PROCESO DE DEPURACIÓN SOBRE EL CANON DE SANEAMIENTO

El "Pla de Sanejament de Catalunya"<sup>11)12)13)</sup> establece por la ley 5/1981, sobre desarrollo legislativo en materia de evacuación y tratamiento de aguas residuales, que las aguas residuales depuradas o no deberán pagar un Canon de Saneamiento proporcional a la carga contaminante que contengan.

Este Canon es muy parecido al existente en diversos países europeos, e introduce por primera vez en España el control de la toxicidad de los efluentes, lo que puede afectar de manera considerable el Canon a pagar. Actualmente este Canon ya se aplica por volumen en la zona 5 (Llobregat y Besós) y en las zonas 2 y 3 (Río Ter).

A continuación se resume la forma de calcular este Canon.

Las industrias textiles que no depuran, pagan 17'90 pts/m<sup>3</sup> para el año 1985, pero progresivamente se irá aplicando el Canon por Carga Contaminante, lo que puede suponer un importante mucho mayor como puede apreciarse en la Tabla 7 para las tres industrias estudiadas.

INFLUENCIA DEL PROCESO DE DEPURACION SOBRE EL CANON DE SANEAMIENTO						
PRECIO EN PTS/M <sup>3</sup>						
PROCESO DE DEPURACION	INDUSTRIA A		INDUSTRIA B		INDUSTRIA C	
	••1985	•1986	••1985	•1986	••1985	•1986
SIN TRATAMIENTO	23,9	32,9	28,3	37,4	53,9	71,8
COAGULACION QUIMICA	14,6	19,6	—	—	—	—
BIOLOGICO +	3,3	3,6	—	—	6,8	8,0
COAG. QUIM.	2,0	2,4	5,3	6,4	5,1	6,1
ZONA 5 ••	ZONA 2 Y 3 •					

tabla 7

## 6. CONCLUSIONES

6.1 La coagulación química aplicada directamente sobre los efluentes textiles es poco eficiente.

6.2 La depuración biológica es eficaz si se ejerce un adecuado control. Esto puede permitir la depuración conjunta con efluentes urbanos e incluso obtener un efluente tratado sin color si el volumen de aguas residuales urbanas es como mínimo tres veces superior al volumen de aguas textiles.

6.3 Se pueden alcanzar buenos rendimientos de depuración cuando la coagulación química se aplica sobre efluentes textiles pretratados biológicamente.

6.4 El Canon de Sanejament será un fuerte incentivo para optimizar las depuradoras existentes, estudiar el ahorro de agua y reactivos, así como plantearse el reciclar parte del agua cuando sea factible<sup>14)15)</sup>.

6.5 En el futuro es de prever una mayor intervención de los procesos de depuración biológica para el tratamiento de las aguas residuales textiles, tanto aerobios como anaeróbios. También adquirirá mayor importancia el estudio del proceso de depuración en cada caso, en detrimento del empleo indiscriminado de hormigón en la construcción de plantas depuradoras.

## 7. BIBLIOGRAFIA

(1) M. CRESPI.- Principales parámetros que determinan la contaminación de los efluentes textiles y técnicas para disminuir la contaminación de los mismos antes de su vertido. II Ciclo Internacional de Conf. sobre Contaminación en la Ind. Textil, INTEXTAR 1979.

(2) M. CRESPI.- Contaminación en la Industria Textil. Curso de Ingeniería Ambiental. E.T.S.I.I. de San Sebastián, 1979.

(3) J.C. BOURDELOT.- El tratamiento de las aguas residuales de las industrias textiles. Centro de Investigaciones Textiles. ROUEN, 1973.

(4) H.R. JONES.- Pollution Control in the Textile Industry. NOYES DATA CORPORATION, 1973.

(5) G. COOPER.- The Textile Industry, Environmental Control and Energy Conservation. NOYES DATA CORPORATION, 1978.

(6) M. CRESPI - M. VILASECA.- Influencia de los procesos de depuración sobre la toxicidad de las aguas residuales textiles. Rev. Industria Textil nº 189, 1981.

(7) M. CRESPI.- Tratamiento de las aguas residuales procedentes de la tintura del PES con transportadores. Rev. Química Textil, nº 53, 1979.

(8) M. CRESPI - J. CEGARRA.- La contaminación de los vertidos de la industria textil algodonera. Rev. Ingeniería Química nº 129, 1979.

(9) J.M. REBATTU.- Le lagunage, ses limites, quelques exemples. L'eau et l'industrie, nº 59, 1981.

(10) EPA.- Textile Mills, Point Source Category. EPA - 440/1 - 74 - 022 - a, 1974.

(11) GENERALITAT DE CATALUNYA.- Pla de Sanejament de Catalunya.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 1982.

(12) GENERALITAT DE CATALUNYA.- Pla de Sanejament. Zona 5.  
Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 1982.

(13) GENERALITAT DE CATALUNYA.- Pla de Sanejament, zones 2 y 3.  
Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Junta de Sanejament,  
1984.

(14) J. VALLDEPERAS - M. CRESPI - J. CEGARRA.- Características  
cotaminantes y posibilidades de reciclado de las aguas residuales de la tintura  
del algodón. Rev. Industria Textil, nº 199, 1982.

(15) M. CRESPI - J. VALLDEPERAS - J. CEGARRA.- Posibilidad de  
reutilizar las aguas residuales textiles después de un tratamiento biológico con  
carbón activado. Rev. Química Textil, 1985.

Texto recibido en 1987. 10. 08. - Aceptado en 1987. 10. 05.