

# La contaminación de los vertidos en la industria textil algodonera

**M. Crespi y J. Cegarra**

De la Universidad Politécnica  
de Barcelona

Instituto de Investigación Textil  
y de Cooperación Industrial de  
Tarrasa

## RESUMEN

Se ha analizado el agua residual de una industria que realiza el decrudado, blanqueo, tinte y estampación de fibras celulósicas.

También se han efectuado tratamientos de depuración físico-químicos y biológicos sobre estas aguas. Se indican los rendimientos obtenidos en los procesos de depuración, así como el coste de los mismos.

## RESUME

On a analysé l'eau résiduaire d'une industrie qui réalise le débouillissage, le blanchiment, la teinture et l'impression de fibres cellulósiques.

On a aussi effectué des traitements d'épuration physicochimiques et biologiques sur ces eaux. On indique les rendements obtenus dans les processus d'épuration, ainsi que leur coût.

## SUMMARY

The effluents of an industry carrying out the boiling off, bleaching, dyeing and printing of cellulosic fibres, have been analysed.

Physical-chemical and biological purifying treatments have been carried out on these effluents too. The yields obtained in the purifying processes and the costs of same are indicated.

En el Laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental del Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial, adscrito a la Universidad Politécnica de Barcelona, se iniciaron durante el mes de enero de 1977 una serie de estudios sobre la contaminación de los vertidos de la Industria

Textil Algodonera. Se acordó con el Plan de Reestructuración de la Industria Textil Algodonera, que ha financiado este proyecto de investigación, un plazo máximo de tres años para finalizar los trabajos.

Los diferentes temas que entonces nos propusimos estudiar, se indican a continuación:

1. Determinar la carga contaminante de las aguas residuales de los diferentes procesos de ennoblecimiento del algodón y algodón poliéster (1). Con ello se pretendía analizar la carga contaminante de una serie de operaciones que se consideran fundamentales en el proceso de ennoblecimiento del algodón, con el fin de acotar las operaciones que más contaminan y establecer la posibilidad de tratar, por separado, los vertidos procedentes de estas operaciones, o sugerir la conveniencia de reemplazar algún producto especialmente contaminante y difícil de eliminar en los posteriores tratamientos de depuración.

a) Características contaminantes de los productos utilizados en el encolado encolantes (féculas nativas y modificadas, alcohol polivinílico, carboximetilcelulosa y resinas acrílicas), suavizantes y ceras.

b) Nivel de contaminación debido a las operaciones de descrudado; blanqueo con peróxido de hidrógeno, hipoclorito sódico, clorito sódico y blanqueadores ópticos, y de descrudado blanqueo simultáneos.

c) Carga contaminante originada en las operaciones de tintura, lavado y enjuagues, empleando colorantes directos, con tratamientos posteriores de diazotación, con sales de cobre y con resinas, colorantes tinas, colorantes sulfurosos y colorantes reactivos.

2. Definir las cinéticas de biodegradación de productos dispersantes, igualadores y transportadores de tintura (2, 3) en la tintura del poliéster.

3. Especificar la toxicidad de varios dispersantes, igualadores, transportadores de tintura y productos utilizados en el encolado, sobre organismos vivos.

4. Estudiar el coste y los rendimientos obtenidos al aplicar sendos tratamientos de depuración secundarios (biológicos y físicoquímicos) sobre unas aguas residuales que contengan: a) dispersantes e igualadores, b) productos de encolado, c) dispersantes, igualadores y transportadores de tintura.

5. Determinar los rendimientos de depuración y los costes de mantenimiento, al aplicar un tratamiento de depuración biológico (fangos activados) y otro físicoquímico (coagulación floculación), sobre los vertidos de dos empresas textiles algodonerías del ramo del agua.

La parte experimental de todos estos trabajos ya ha sido realizada. Algunos de ellos están en fase de redacción, mientras que otros ya se han publicado.

Como muestra del trabajo realizado y por el interés que creemos puede tener para la Industria Textil del Ramo del Agua, a continuación exponemos los resultados obtenidos en los tratamientos de depuración sobre las aguas residuales de una industria textil algodonera de tintes y acabados, después de un año y medio de ensayos.

## 1. INTRODUCCION

Durante el período que abarca del 21-9-77 al 26-10-77, se han analizado las aguas residuales de una industria textil algodonera, procedentes de tres colectores diferentes, que corresponden a los siguientes efluentes:

Colector 1: Aguas de lavado de estampados.

Colector 2: Aguas de blanqueo y tintes.

Colector 3: Aguas de estampación y aprestos.

El objeto de analizar los tres efluentes por separado, ha sido para determinar la conveniencia de depurarlos por separado o conjuntamente, una vez mezclados y homogeneizados. En cada uno de estos efluentes se han analizado los siguientes parámetros:

Nitrógeno orgánico y amoniacal, fósforo total P, pH, acidez o alcalinidad, cloruros, Cobre (Cu), Cromo (Cr), Demanda Química de Oxígeno (DQO), color, sólidos totales (ST), materias en suspensión (MES), carbono orgánico (TOC) e inorgánico (TIC), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

El análisis de estos parámetros tiene fundamentalmente los siguientes objetivos:

— Análisis del P, N y TOC: El carbono, nitrógeno y fósforo son tres nutrientes imprescindibles para el desarrollo bacteriano, y para que éste sea correcto deben cumplirse las relaciones siguientes (4, 5):

$$\frac{C}{106} = \frac{N}{16} = \frac{P}{1} = \frac{N}{5,3} = \frac{P}{1,2} = \frac{DBO_5}{100}$$

en caso contrario, los microorganismos no pueden sintetizar convenientemente sus proteínas; como consecuencia, el rendimiento de la depuración, si ésta es de tipo biológico (ej. fangos activados), desciende notablemente. Por ello, si falta N o P, debe añadirse hasta alcanzar la proporción correcta.

— El pH y la acidez o alcalinidad: Se ha determinado ya, que si fuera demasiado bajo o demasiado elevado, debería ajustarse hasta un valor entre 6,9, tanto si se hace una depuración biológica como físico-química, aunque en este último caso el ajuste del pH podrá conseguirse probablemente con los propios reactivos de coagulación.

— El Cu y Cr: Se ha determinado ya, que si su concentración es demasiado elevada, superior al 1-1,5 mg/l, puede perjudicar y aun impedir la depuración biológica.

— La DQO y DBO: Se valoran, ya que son un buen indicativo de la carga orgánica del efluente. Además, la relación DQO/DBO nos dará una primera orientación del tipo de tratamiento de depuración más recomendable. Ya que si la relación  $DQO/DBO \leq 2$  las aguas residuales podrán ser depuradas biológicamente, probablemente con extraordinarios resultados; si  $2 < DQO/DBO < 8$  los vertidos podrán depurarse también por un sistema biológico; si la  $DQO/DBO \geq 10$  no será aconsejable emprender una depuración de tipo biológico.

## 1.1 Resultados de los análisis

En la figura 1 se representa la DQO, DBO<sub>5</sub> y DQO/DBO<sub>5</sub> de las aguas de lavado de estampados.

En la figura 2 se representa la DQO, DBO<sub>5</sub> y DQO/DBO<sub>5</sub> de las aguas de blanqueo y tintes.

En la figura 3 se representa la DQO, DBO<sub>5</sub> y DQO/DBO<sub>5</sub> de las aguas de estampados y aprestos.

En la figura 4 se representa la concentración de carbono orgánico; en la figura 5 la de nitrógeno, y en la figura 6 la del fósforo, para cada uno de los efluentes.

En las figuras 7 y 8 se representan las relaciones C/N y C/P de cada uno de los efluentes, como ya se ha indicado anteriormente, para que los microorganismos puedan sintetizar en forma correcta sus proteínas; la relación C/N tiene que ser menor o igual a 6,6 y la relación C/P menor o igual a 106.

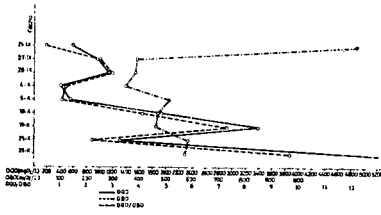


Fig. 1. Agua de lavado, estampado.

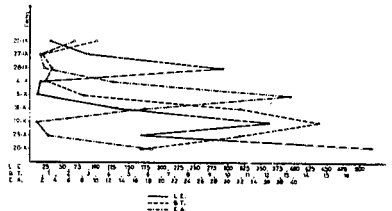


Fig. 5. Concentración de nitrógeno.

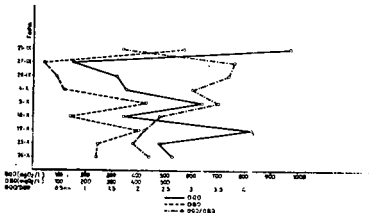


Fig. 2. Agua de blanqueo y tintes.

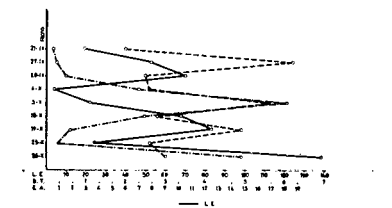


Fig. 6. Concentración de fósforo.

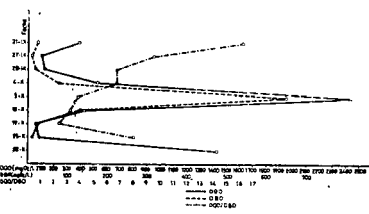


Fig. 3. Agua de estampado y aprestos.

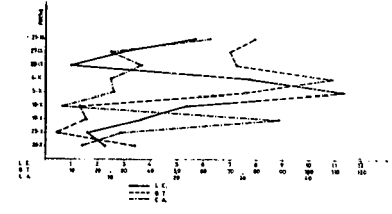


Fig. 7. Relación C/N

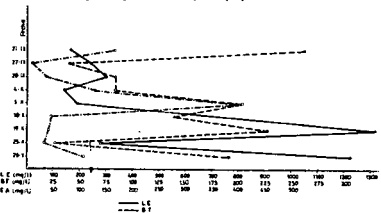


Fig. 4. Carbono orgánico.

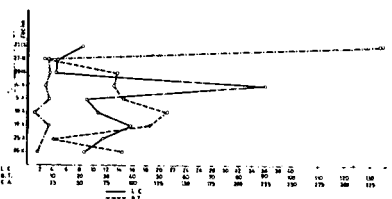


Fig. 8. Relación C/P

## 1.2 Conclusiones

Las aguas de blanqueo y tintes son las que presentan una composición más homogénea, a la vez que una relación DQO/DBO más favorable que la de los otros dos efluentes.

La acidez o alcalinidad de todos los vertidos se mantiene dentro de límites aceptables.

El contenido de metales pesados tóxicos (Cu y Cr) probablemente también presentará problemas, ya que solamente un día, el 18-10-77, las aguas de lavado de estampados tienen una carga de cobre algo elevada.

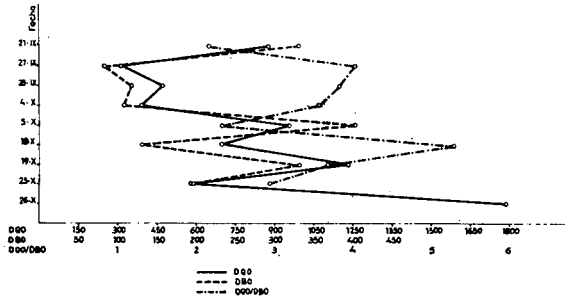


Fig. 9

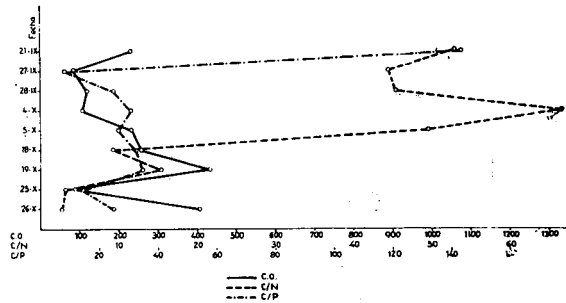


Fig. 10

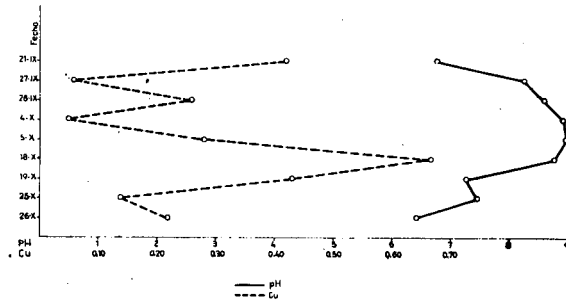


Fig. 11

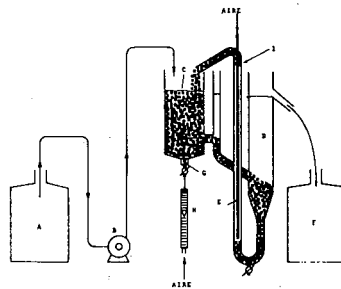


Fig. 12: A) depósito de almacenamiento; B) bomba dosificadora, C) cámara de aeración, D) decantador, E) aire comprimido, F) depósito colector, G) vidrio fritado a aeración, H) rotámetro, I) bomba Mamut.

Por todo lo mencionado en los apartados anteriores, no parece aconsejable depurar cada uno de los efluentes por separado ya que todos ellos presentan unas características semejantes. Además, debido al mayor volumen y homogeneidad de las aguas de blanqueo y tintura, su mezcla con los dos efluentes conducirá a una mejor homogeneidad y regularidad de la carga

**Tabla I**

<i>DQO mgr de oxígeno/litro agua</i>				<i>DBO mgr oxígeno/litro agua</i>		
<i>Fecha</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>%</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>	<i>%</i>
9-3-78	481,2	206,05	57,18			
17-3-78	211,16	117,31	44,4	51,6	6,72	86,97
7-4-78	233,07	105,07	54,9	54,91	7,7	89,97
18-4-78	179,94	52,48	70,83			
27-4-78	583,71	197,2	66,2			
"	528,11	186,39	64,71			
"	483,5	202,76	58,06	146,29	9,82	93,29
11-5-78	303,7	74,94	75,32			
"	232,7	103,53	55,50			
22-5-78	370,27	93,54	74,73	74,3	7,71	89,90
31-5-78	745,19	300,45	59,68			
"	864,16	337,80	60,90	117,16	18,72	84,02
6-6-78	1.508,20	510,47	66,15	534,95	38,55	92,79
16-6-78	380,6	171	45	139,2	8,52	93,88
28-2-79	938,6	209,4	77,7			
6-3-79	1.320	160,0	87,9	235,3	8,1	96,5
15-3-79	276,0	130,1	52,9	72,8	6,2	91,5
29-3-79	1.675,5	650,5	61,2			
25-4-79	821,2	218,9	73,3	201,1	12,5	93,8
3-5-79	601,9	198,0	67,1			
8-5-79	457,7	125,8	72,5			
15-5-79	630,5	177,3	71,8			
18-5-79	675,1	164,8	75,6	349,9	13,6	96,1
22-5-79	880,3	186,1	78,8			
29-5-79	2.658,9	693,3	73,9			
1-6-79	777,1	180,5	76,7			
6-6-79	628,5	232,8	62,9			
8-6-79	778,9	136,3	82,5	295,8	14,2	95,2
12-6-79	450,5	97,1	78,4			
19-6-79	184,5	65,3	64,6	67,5	6,1	91,0

contaminante y, en definitiva, a un mejor rendimiento en la depuración. Por ello, y utilizando unos volúmenes proporcionales a cada uno de los vertidos:

1. Efluentes de lavado de estampados .....	1.090 m <sup>3</sup> /día
2. Efluentes de blanqueo y tintes .....	3.000 m <sup>3</sup> /día
3. Efluentes de estampados y aprestos .....	910 m <sup>3</sup> /día
	<hr/>
Total .....	5.000 m <sup>3</sup> /día

se ha obtenido la figura 9, que presenta la carga de DQO, DBO y la relación DQO/DBO; la figura 10, que indica la concentración de carbono orgánico y las

relaciones C/N y C/P, y la figura 11, que representa el pH y la concentración de Cu del efluente mezclado.

De las figuras 9, 10 y 11 se deduce que el pH y concentración de Cu se mantienen dentro de unos valores que no perjudicarán la depuración en caso de escogerse un sistema biológico. La relación DQO/DBO se mantiene entre los valores 2 y 5, lo cual indica que son aguas que pueden tratarse en una planta de depuración biológica, aunque al presentar los vertidos oscilaciones en la carga de DQO y DBO, como se puede apreciar en la figura 9, el rendimiento de la depuración también oscilará.

Como se aprecia en la figura 10, la relación C/N es superior a 6,6, excepto dos días; por lo tanto, en caso de efectuar una depuración de tipo biológico, se debería añadir nitrógeno, por ejemplo, en forma de sales amoniacales, nitrato amónico, sulfato amónico, cloruro amónico, etc.

De todo lo anterior se deduce que estos vertidos una vez mezclados y homogeneizados, podrán depurarse mediante un tratamiento biológico, incluso debido a la escasez de nitrógeno puede ser beneficiosa su mezcla con aguas negras.

## 2. Ensayos de depuración

Teniendo en cuenta lo expuesto, se efectuaron unos ensayos de depuración en una planta piloto de fangos activados durante los meses de enero a julio de 1978 y febrero a julio de 1979. La planta funcionó sin interrupción durante ambos períodos.

En la figura 12 se indica un esquema de la planta de fangos activados utilizada en este estudio. Está construida con vidrio pyrex y se compone de un depósito A para almacenar las aguas residuales, una bomba dosificadora B, una cámara de aireación C con capacidad para tres litros de efluente, un decantador D, un compresor de aire E, un depósito F para recoger el efluente tratado, una placa porosa G de vidrio fritado del n.º 2, una bomba Mamut I y un rotámetro H. El compresor E suministra aire al efluente contenido en la cámara de aireación C, a través de la placa porosa G y del rotámetro H, con el que se puede regular la aireación del efluente; también produce aire para la bomba Mamut I, la cual recircula los fangos decantados en D.

El inóculo, puede hacerse con microorganismos del medio ambiente o con fangos procedentes de otra estación depuradora. En el primer caso, suelen transcurrir de tres a cinco semanas hasta alcanzar una concentración

de fangos que permita un funcionamiento correcto de la instalación, mientras que en el segundo caso, en el período de 1-2 semanas, la planta piloto alcanza el régimen normal de trabajo.

Los sólidos volátiles en el tanque de aireación, se mantuvieron alrededor de los 2 gr/l; el tiempo de retención del efluente a tratar se mantuvo en 12 horas, y la carga másica osciló entre 0,05 y 0,53 debido a las oscilaciones de carga contaminante de los vertidos.

**Tabla II**  
*Ensayos de floculación*

<i>Efluente entrado el 31-5-78</i>			
<i>Ensayo</i>	<i>ppm del <math>Al_2(SO_4)_3</math></i>	<i>ppm <math>Ca(OH)_2</math></i>	<i>% disminución de DQO</i>
Filtrada	—	—	30,5
1	1.000	525	38,94
2	525	1.000	35,31
3	525	525	36,35
4	50	525	35,83
5	525	50	32,72
6	241	241	41,52
7	241	808,8	38,94
8	808,8	808,8	33,24
9	808,8	241	35,83
10	457	457	35,83
11	592,8	457	36,52
12	592,8	592,8	32,66
13	393,6	657,4	31,55
14	393,6	393,6	35,97
15	657,4	393,6	37,07
16	657,4	657,4	32,66
<i>Efluente entrado el 6-6-78</i>			
Filtrada	—	—	10,1
1	1.000	525	17,41
2	525	1.000	13,23
3	525	525	13,23
4	50	525	12,18
5	241	241	13,23
6	241	808,8	13,23
7	457	457	10,09
8	592,8	592,8	9,04
9	393,6	393,6	11,14
10	657,4	393,6	12,18



Paralelamente a los ensayos de depuración biológica en una planta de fangos activados, se efectuaron ensayos de repuración por coagulación química, utilizando como productos de coagulación, sulfato de aluminio e hidróxido de cal.

## 2.1 Resultado de los procesos de tratamiento

En la Tabla I se indican los rendimientos obtenidos en la depuración biológica por fangos activados.

En la Tabla II se indican los resultados obtenidos en el tratamiento de los vertidos por coagulación química. La materia en suspensión a la salida de la planta piloto de fangos activados osciló entre un mínimo de 12 mg/l a un máximo de 32 mg/l.

## 2.2 Discusión

De los datos de las Tablas I y II se deduce:

1. Que el rendimiento medio alcanzado en la planta piloto de fangos activados ha sido: del 67 por 100 de reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y del 91,9 por 100 de reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

2. El mejor rendimiento alcanzado en los ensayos de coagulación química ha sido de una disminución del 41,5 por 100 en la DQO, para una dosificación de 241 mg/l de  $Al_2(SO_4)_3$  y de 241 mg/l de  $Ca(OH)_2$ .

Con estos datos y considerando que el coste aproximado de los reactivos y la energía eléctrica son:

Tabla III

Proceso de depuración	Disminución en %		Kg día DBO <sub>5</sub> eliminada	Kg día DQO eliminada	Producción de fangos por día		Coste mantenimiento ptas/día
	DQO	DBO <sub>5</sub>			de materia seca	Volumen en m <sup>3</sup>	
Fangos activados	91,9	67	921,3	2.414,7	322,4	26,9	(1) 2.100 + (2) +1.031=3.131
Coagulación química	42	41,5	421,0	1.495,6	3.000	214,3	(3) de 13.625 a (4) 19.800

(1) Coste de la energía eléctrica.

(2) Coste del nitrato amónico necesario para mantener una relación  $DBO/100 = N/5,3 = P/1,2$ .

(3) Coste de los reactivos con una dosificación de 50 mg/l de sulfato de aluminio y 525 mg/l de hidróxido de cal.

(4) Coste de los reactivos con una dosificación de 240 mg/l de sulfato de aluminio y 240 mg/l de hidróxido de cal.

Sulfato de aluminio 12,5 ptas/Kg,  
 Hidróxido de cal 4 ptas/Kg,  
 Energía eléctrica 3,52 ptas/Kw,  
 Nitrato amónico 15 ptas/Kg,

hemos calculado la cantidad de contaminación eliminada en cada uno de los procesos de tratamiento, así como el coste de mantenimiento y la producción de fangos que deben eliminarse. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla III. Estos datos se han obtenido teniendo en cuenta que la contaminación media de los vertidos desde el 21-9-1977 hasta el 19-6-1979 ha sido de  $DBO_5 = 200,5$  mg/l y  $DQO = 720,8$  mg/l.

En la Tabla III se observa que, a pesar de eliminarse una cantidad de contaminación mucho mayor en los tratamientos por fangos activados, éstos resultan mucho más económicos de mantenimiento. Para calcular el coste de mantenimiento se han tenido en cuenta los factores que más influyen en el coste; en los tratamientos por fangos activados: la energía eléctrica para las turbinas de aeración y el reactivo para suministrar nitrógeno (nitrato amónico); en los procesos de coagulación química los productos coagulantes.

No se han tenido en cuenta la energía eléctrica consumida por las bombas de trasiego, ni los salarios del personal encargado de la planta, por considerar que estos costes son casi idénticos en ambos tratamientos.

El coste de mantenimiento en la planta de fangos activados disminuye al disminuir la carga contaminante, mientras que en los procesos de coagulación el consumo de reactivos es casi independiente de la carga contaminante de materia orgánica soluble, dependiendo fundamentalmente de la materia en suspensión y en disolución coloidal; cuando éstas aumentan, el rendimiento de la depuración se incrementa y disminuye, por lo general, el consumo de reactivos. Por este motivo es por el que fluctúa tanto el rendimiento de la depuración de los vertidos en diferentes días; como se puede ver en la Tabla II en los efluentes del día 6-6-78 se obtuvieron rendimientos muy bajos, incluso con elevadas dosis de reactivo. Como desventaja, la planta de fangos activados no puede pararse los fines de semana, aunque el consumo de energía eléctrica será mucho menor, ya que la aireación que precisa la planta solamente es la necesaria para mantener la respiración endógena de los microorganismos, no precisándose añadir nitrógeno y tampoco se producen fangos, sino que el volumen de los existentes se reduce.

Si se aprobara la propuesta del Ministerio de Industria sobre vertidos de aguas residuales, las industrias de tintorería y acabados de fibras celulósicas podrían verter 6,45 Kg de  $DBO_5$  y 76,5 Kg de  $DQO$  por tonelada de materia procesada. En el presente caso, si se efectuaran los vertidos sin depuración, suponiendo una producción diaria de 20.000 Kg de materia, lo que representa un consumo de 250 l de agua por Kg de materia procesada, se vertería la siguiente carga contaminante:

$$DBO_5 = 1.002,5 \text{ Kg/día } DBO_5 \times \frac{1}{20 \text{ Tm}} = 50,12 \text{ Kg/Tm}$$

$$DQO = 3.604 \text{ Kg/día } DQO \times \frac{1}{20 \text{ Tm}} = 180,2 \text{ Kg/Tm}$$

En todos los casos se estaría fuera de los límites fijados. Si aplicamos los tratamientos de depuración con los rendimientos que se indican en la Tabla III, la carga contaminante que se vertería sería la siguiente:

1. Depuración por fangos activados:  
DBO<sub>5</sub> = 4,06 Kg/Tm.  
DQO = 59,46 Kg/Tm.
2. Depuración por coagulación química:  
DBO<sub>5</sub> = 29,07 Kg/Tm.  
DQO = 105,42 Kg/Tm.

De estos datos se desprende que, aplicando un tratamiento de depuración biológico, se estaría dentro de los límites permitidos por la legislación, ocurriendo lo contrario en caso de efectuar la depuración por coagulación química.

### 2.3 Conclusiones

1. Durante los doce meses que han durado los ensayos de depuración en la planta piloto de fangos activados, los rendimientos obtenidos han sido buenos y no han presentado oscilaciones importantes, incluso en algunos casos en que la carga contaminante de entrada era muy superior. Esto parece indicar que el tiempo de retención del agua residual en el depósito de aireación podría disminuirse.

2. Durante todo el período de ensayos no se ha observado ninguna alteración en el buen funcionamiento de la planta.

3. En los ensayos de coagulación química se ha observado que el rendimiento de la depuración varía en gran manera, según la composición de los vertidos. Algunos días, incluso con grandes dosis de coagulante, no se han podido obtener rendimientos aceptables de depuración.

4. Con un proceso de depuración por fangos activados se podría cumplir la legislación propuesta por el Ministerio de Industria, e incluso algunos días se cumpliría la actual legislación.

5. Los procesos de coagulación química ensayados no son suficientes para cumplir la legislación vigente, ni la futura.

6. Los costes de funcionamiento son inferiores en el caso de aplicar un proceso de fangos activados, que con un tratamiento de coagulación química.

7. En la planta de fangos activados se producen muchos menos fangos como resultado de la depuración, que en los procesos de coagulación química.

### 3. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los siguientes organismos:

Plan de Reestructuración de la Industria Textil Algodonera, por la financiación de los estudios realizados.

A la Sociedad Civil para la defensa de los intereses de los usuarios del río Llobregat, por su colaboración en la realización de encuestas y contactos con la industria textil del ramo del agua.

A la industria Central de Acabados Textiles CATEX, por el continuado suministro de los efluentes residuales utilizados en los ensayos.

## BIBLIOGRAFIA

1. M. Crespi. Contaminación en la Industria Textil. Curso de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior de Ingenieros Industriales de San Sebastián, Mayo 1979.
2. M. Crespi, M.<sup>a</sup> Simó. Algunos aspectos sobre la contaminación debida a la tintura del poliéster a alta temperatura. Revista de Química Textil, n.º 47 Julio-Sep. 1977.
3. J. Cegarra, M. Crespi. Depuración de las aguas residuales procedentes de la tintura con trasportadores. Revista de Química Textil, n.º 53 Enero-Marzo 1979.
4. R. Mitchell. Walter Pollution Microbiology. Wiley Interscience 1972.
5. H.J. Hatting. Activated Sludge Studies. Water Waste treat. J. 9, 1963.