

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—  
GESTION DE  
**LOS EFLUENTES  
DE LA INDUSTRIA  
TEXTIL**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 18

Autores:

**Dr. Víctor López Grimau**  
**Dr. Martín Crespi Rosell**

Instituto de Investigación Textil y  
Cooperación Industrial de la Universidad  
Politécnica de Cataluña

Septiembre de 2015



Unión Europea

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina  
Ayacucho 1537  
Ciudad de Buenos Aires  
Teléfono (54-11) 4805-3759  
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional  
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212  
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490  
Fax (54 11) 4752 5919

[www.ue-inti.gob.ar](http://www.ue-inti.gob.ar)

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez  
[gabriela@inti.gob.ar](mailto:gabriela@inti.gob.ar)

—  
GESTIÓN DE  
LOS EFLUENTES  
DE LA INDUSTRIA  
TEXTIL

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 18

Autores:

**Dr. Víctor López Grimau**

**Dr. Martín Crespi Rosell**

Instituto de Investigación Textil y Cooperación  
Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña

Septiembre de 2015



INTI



Unión Europea

## INDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>3. PRINCIPALES PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL</b> .....	<b>9</b>
3.1 Introducción .....	9
3.2 Conservación de las muestras .....	9
3.3 Principales determinaciones analíticas .....	11
3.3.1 Demanda química de oxígeno (DQO) .....	11
3.3.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO) .....	11
3.3.3 Carbono orgánico total (TOC) .....	12
3.3.4 Materias en Suspensión (MES) .....	12
3.3.5 Conductividad (Salinidad) .....	12
3.3.6 Color .....	13
3.3.7 Materias inhibidoras (Toxicidad) .....	13
3.3.8 Nitrógeno Kjeldahl .....	13
3.3.9 Fósforo total .....	14
3.3.10 Tensioactivos .....	14
<b>4. GESTIÓN DEL AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL</b> .....	<b>15</b>
4.1 Reducción interna de emisiones .....	15
4.1.1 Prevención .....	15
4.1.2 Optimización de procesos .....	15
4.2 Medidas de control del agua .....	16
4.3 Procesos sostenibles .....	16
4.4 Características de los efluentes textiles .....	17
4.5 Procesos de depuración de los efluentes textiles .....	18
4.5.1 Proceso biológico de fangos activados .....	18
4.5.2 Proceso de fangos activados con adición de carbón activo o resinas decolorantes .....	19
4.5.3 Proceso físico-químico de coagulación-floculación .....	20
4.5.4 Proceso de coagulación-floculación combinado con filtro percolador .....	20
4.5.5 Proceso de fangos activados seguido de un proceso terciario (coagulación, ozono, membranas) .....	21
4.5.6 Bioreactor de membranas (BRM) .....	22

<b>5. BIOREACTOR DE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES</b> .....	<b>23</b>
5.1 Evolución histórica y situación actual .....	23
5.2 Ventajas y limitaciones de los BRM .....	25
5.3 Principales bioreactores de membrana comerciales .....	28
5.4 Posibilidades de reutilización del agua tratada en un BRM .....	31
5.4.1 Caso 1. Industria textil algodonera de tintura de género de punto (Barcelona, España) .....	31
5.4.2 Caso 2. Industria de tejidos de algodón y fibra sintética (Barcelona, España) .....	32
5.4.3 Caso 3. Industria textil de tintura y estampación (Dreew Meerane, Alemania) .....	33
5.5 Conclusiones .....	33

## ABREVIATURAS UTILIZADAS

<b>AT</b>	Asistencia Técnica.
<b>CECUAL</b>	Centro Cultural Alternativo.
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
<b>EDAR</b>	Estación depuradora de aguas residuales.
<b>EMAT</b>	Empresas Multinacionales de Alta Tecnología.
<b>INTI</b>	Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
<b>INTA</b>	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
<b>MIPyMES</b>	Micro Pequeñas y Medianas Empresas.
<b>NOA</b>	Noroeste de la República de Argentina.
<b>NEA</b>	Noreste Argentino.
<b>OI</b>	Osmosis inversa
<b>ONUDI</b>	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
<b>PyMES</b>	Pequeñas y Medianas Empresas.
<b>UE</b>	Unión Europea.

## PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las MIPyMES del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las MIPyMES y PyMES los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las MIPyMES que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

### **Dra. Graciela Muset**

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.

## 1. RESUMEN

Este Cuaderno Tecnológico trata de recopilar la información presentada durante la misión en Argentina de los expertos Dr. Martín Crespi Rosell y Dr. Víctor López Grimau dentro del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local en la República Argentina" financiado por la Unión Europea, como complemento al informe final realizado donde se recoge toda la información recabada durante dicha misión.

Este cuaderno está preparado como manual de referencia tanto para técnicos del INTI como para técnicos de PyMES del sector textil. En primer lugar se describen los principales parámetros que caracterizan las aguas residuales generadas en los procesos de preparación, tintura y acabado de la industria textil. A continuación se hace un repaso de los diferentes aspectos a tener en cuenta para llevar a cabo una gestión sostenible del agua en la industria textil. Así, la gestión sostenible del agua incluye tanto la implantación de medidas encaminadas a la prevención de la contaminación de los efluentes (ahorro de agua, sustitución de productos y procesos) como la implantación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales textiles con el objetivo de reducir su contaminación y cumplir con la legislación ambiental vigente.

En el cuaderno se describen los principales procesos de depuración de aguas llevados a cabo en la industria textil para finalmente dedicar un capítulo específico a los bioreactores de membrana (BRM) ya que estos sistemas suponen una evolución tecnológica sobre los sistemas convencionales de depuración de aguas y permiten obtener un agua tratada que por su calidad es susceptible de ser reutilizada como agua de proceso en la industria textil.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los tejidos una vez fabricados se someten a una serie de procesos húmedos englobados bajo los términos de Preparación, Tintura y Acabados. Estos procesos son el origen de la mayor parte de los efluentes acuosos de la industria textil. En la Tabla 1 se indican las diferentes operaciones que consumen agua y que se llevan a cabo en función de la fibra utilizada (algodón, lana o poliéster).

FASE	OPERACIÓN	TIPO DE FIBRA		
		ALGODÓN	LANA	POLIÉSTER
Preparación	Desencolado	*		*
	Desengrasado		*	
	Carbonización		*	
	Batanado		*	
	Descrudado	*		*
	Mercerizado	*		
	Blanqueo Químico	*	*	
Tintura	Tintura/Estampación	*	*	*
Acabado	Acabados	*	*	*

Tabla 1. Operaciones realizadas según el tipo de fibra.

Las características de las aguas residuales generadas en una planta textil dependerán de las operaciones específicas que se realicen, principalmente del tipo de fibra tratada y de la maquinaria utilizada. A pesar de la gran variedad de procesos y de productos químicos utilizados, las aguas residuales producidas en la industria de fibras naturales presentan unas características comunes, a excepción de los procedentes del lavado de la lana. Los efluentes de fibras naturales se caracterizan por una gran variabilidad de caudal y de carga contaminante, así como un bajo contenido de materias en suspensión y coloidales. Generalmente son coloreadas, su carga orgánica media es aproximadamente el doble que el de un agua residual urbana y no acostumbra a contener productos tóxicos ni microorganismos patógenos. Además, acostumbran a ser deficientes en nutrientes, principalmente en nitrógeno.

Dentro del sector textil, se encuentran dos grupos bien diferenciados de empresas según el curso receptor de sus vertidos: empresas que vierten sus aguas residuales a una red cloacal y empresas que vierten a un curso de agua. Este segundo grupo de empresas que vierte directamente a un curso de agua debe cumplir con unos límites de vertido que de manera genérica acostumbran a ser más restrictivos que los límites de vertido a red cloacal.

En Argentina las fábricas que descargan sus aguas residuales a colectores cloacales tienen unos límites de vertido que están en torno a 750 mg O<sub>2</sub>/l de DQO y 200 mg O<sub>2</sub>/l de DBO. Las aguas residuales textiles son moderadamente biodegradables, de forma que la depuración conjunta con aguas residuales urbanas en EDAR de tratamiento biológico proporciona buenos resultados si predomina el caudal de las aguas urbanas.

Por el contrario, las fábricas que vierten a curso de agua, ya sea cauce natural o colector pluvial, deben cumplir con unos límites que en Argentina son por lo general de 250 mg O<sub>2</sub>/l de DQO y 50 mg O<sub>2</sub>/l de DBO. Estas fábricas en muchos casos deben disponer de su propia depuradora de aguas residuales para cumplir con la legislación.

Independientemente de la localización del vertido, una misma empresa puede llevar a cabo diferentes operaciones de acabado que darán lugar a aguas residuales muy variantes en su caudal y composición. Esta variación dificulta su depuración posterior. Por este motivo es conveniente recoger y retener los efluentes procedentes de los diferentes procesos en un gran depósito de homogeneización donde se amortigua el efecto predominante de un efluente concreto.

### 3. PRINCIPALES PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace un repaso de los principales parámetros contaminantes que la industria textil debe controlar en sus aguas residuales. En primer lugar se presentan los métodos de conservación de las muestras a analizar y posteriormente se describen los métodos de análisis de los parámetros más característicos de las aguas residuales textiles. Estos parámetros son la DQO, la DBO y el TOC (los tres como indicadores de contaminación orgánica), Nitrógeno y Fósforo (indicadores de nutrientes), MES (materias en suspensión), Conductividad (presencia de sales), MI (indicador de toxicidad e inhibición bacteriana), Color y Tensioactivos.

Se han seleccionado estos parámetros ya que de manera genérica aparecen limitados en las diferentes legislaciones referentes al vertido de aguas residuales industriales. Por tanto, son parámetros que la industria textil deberá tener en cuenta para cumplir con una legislación cada vez más restrictiva. Algunos de estos parámetros además son muy característicos de las aguas residuales textiles, como son la elevada conductividad y la presencia de color y tensioactivos.

#### 3.2 CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

El primer aspecto a tener en cuenta para llevar a cabo una correcta determinación de los parámetros contaminantes de un agua residual es asegurar una óptima conservación de las muestras. En la Tabla 2 se presenta la forma de conservación y el tiempo máximo de conservación para los diferentes parámetros contaminantes a analizar. En algunos casos se requiere refrigeración mientras en otros se debe añadir algún reactivo químico conservante. El tiempo máximo de conservación puede ir de unas pocas horas a 7 días, y en algunos casos este tiempo es indefinido mientras no se formen precipitados.

PARÁMETRO	CONSERVACIÓN	TIEMPO MÁX. CONSERVACIÓN
M. E. S.	Refrigeración (4°C)	2 días
Aceites y Grasas	2 ml Ác. Sulfúrico conc. por litro; (4°C)	24 h
Acidez-Alcalinidad total	No requerida	Indefinido*
Bacterias	Refrigeración (4°C)	24 h
Calcio	No Requerida	Indefinido*
Cianuros	Soda Caústica hasta pH = 10	24 h
Cloruros	No requerida	Indefinido*
Cloro	Determinar in Situ	Ninguno
Color	Refrigeración (4°C)	24 h
Conductividad	No requerida	Indefinido*
DBO	Refrigeración (4°C)	6 h
DQO	2 ml Ác. Sulfúrico conc. por litro	7 días
Dureza	No Requerida	Indefinido*
Fenoles	1 g CuSO <sub>4</sub> por litro + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> hasta pH = 4; (4°C)	24 h
Fluoruros	No Requerida	Indefinido*
Fósforo Total	40 mg HgCl <sub>2</sub> por litro; (4°C)	24 h
Metales Totales	5 ml Ác. Nítrico por litro	Indefinido*
Metales disueltos	Filtrado: 3 ml Ác. Nítrico al 50% por litro	Indefinido*
Nitrógeno, Amonio	40 mg HgCl <sub>2</sub> por litro; (4°C)	1 día
Nitrógeno total Kjeldahl	40 mg HgCl <sub>2</sub> por litro; (4°C)	1 día
Nitrato-Nitrito	40 mg HgCl <sub>2</sub> por litro; (4°C)	6 días
Olor	Refrigeración (4°C)	1 día
Oxígeno disuelto	Determinar in Situ	Ninguno
pH	Determinar in Situ	Ninguno
Sólidos Totales	No necesario	1 día
Sulfatos	Refrigeración (4°C)	7 días
Sulfuros Totales	2 ml Acetato de Zinc por litro en recipiente con atmósfera de N <sub>2</sub>	7 días
TOC	2 ml de Ác. Sulfúrico conc. por litro (pH = 2)	7 días
Turbidez	No Necesario	1 día

\*Mientras no se formen precipitados

Tabla 2. Forma de conservación de muestras y tiempo máximo de conservación para los diferentes parámetros a analizar.

### 3.3 PRINCIPALES DETERMINACIONES ANALÍTICAS

#### 3.3.1 Demanda química de oxígeno (DQO)

Mide la cantidad de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/l) necesario para oxidar la materia orgánica soluble o en suspensión, y algunos compuestos minerales oxidables.

La determinación se lleva a cabo por oxidación química con una solución en exceso de dicromato potásico a una temperatura de 150+/-2°C. El exceso de oxidante se mide por valoración redox. El reactivo de valoración es una sal de hierro, comúnmente conocida como sal de Mohr y se utiliza ferroína como indicador.

En esta determinación se debe tener en cuenta la posible interferencia de los iones cloruro que pueden ser oxidados con dicromato y que darían un resultado de DQO erróneo por exceso. Los cloruros se hacen reaccionar previamente a la determinación con una sal de sulfato de mercurio.

Se cuenta con dos métodos para el ensayo de la DQO: el método del Balón (Norma UNE EN 77004) y el método del tubo (Standard Methods 21 ed.). Este último requiere de un menor volumen de muestra (30 ml respecto a 10 ml) y sobretodo requiere de menor volumen de reactivos (16,6 veces menos). En cambio el método del balón deberá aplicarse si la muestra tiene una elevada presencia de materias en suspensión (MES) ya que en el método del tubo se pipetea un volumen muy pequeño y por tanto no se tomaría una muestra homogénea.

En ambos casos se puede utilizar un patrón de DQO constituido por una solución de 425 mg/l de Ftalato ácido de potasio que da lugar a una DQO exacta de 500 mg O<sub>2</sub>/l.

#### 3.3.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Indica la cantidad de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/l) consumido en la oxidación de la materia orgánica del agua, en procesos biológicos aerobios. El ensayo dura entre 5 y 27 días, siendo generalmente el análisis a los 5 días (DBO5) el más común.

El análisis de DBO se basa en medir el consumo de oxígeno por una población bacteriana. El método de análisis normativo se basa en la realización de diferentes diluciones de la muestra de agua (método de dilución), para ello se debe preparar el agua de dilución en frascos de incubación que son inoculados y se requiere la preparación de blancos. También se pueden aplicar métodos instrumentales donde se hace un seguimiento del consumo de oxígeno, como son el método manométrico o el método respirométrico.

En la determinación de DBO se puede utilizar como patrón una solución constituida por 125 mg/l de glucosa y 125 mg/l de ácido glutámico que da lugar a una DBO de entre 220 y 240 mg O<sub>2</sub>/l.

La relación DQO/DBO indica el grado de biodegradabilidad del vertido. Un agua muy biodegradable presenta relaciones DQO/DBO inferiores a 2 y un agua poco biodegradable presenta valores superiores a 5. Las aguas residuales de la industria textil acostumbra a presentar una relación DQO/DBO alrededor de 3. Son aguas bastante biodegradables, aunque menos que las aguas residuales domésticas cuya relación DQO/DBO está en torno a 2,2 y 2,5.

### 3.3.3 Carbono orgánico total (TOC)

El COT o TOC (siglas en inglés) mide el contenido de carbono orgánico (mg C/l) del agua. Se trata de una medición instrumental que se lleva a cabo con un analizador de TOC. Este instrumento realiza una oxidación térmica de la muestra de agua a 850°C y posteriormente determina el contenido de carbono mediante un analizador de IR.

Para evitar interferencias producidas por el contenido de carbono inorgánico la muestra debe llevarse previamente a pH entre 3 y 4 y airearse con un difusor durante 10 minutos para eliminar el carbono inorgánico en forma de CO<sub>2</sub>.

### 3.3.4 Materias en Suspensión (MES)

Todas las sustancias suspendidas en el agua y que no decantan de forma natural (mg/l). La determinación de MES se lleva a cabo según la norma UNE EN 872 que describe un método de análisis de sólidos en suspensión por medio de la filtración de un volumen de muestra de agua conocido, utilizando un aparato de vacío, a través de un filtro de fibra de vidrio. Posteriormente se seca el filtro a 105°C ± 2°C y se determina la masa del residuo retenido en el filtro mediante pesada.

### 3.3.5 Conductividad (Salinidad)

Medida del contenido de sales solubles del agua. Indicador del incremento de iones en el agua (μS/cm). La determinación se lleva a cabo a 25°C mediante lectura directa en un conductímetro siguiendo la norma UNE EN 27888. La conductividad eléctrica depende de la concentración y naturaleza de los iones y de la temperatura y viscosidad de la solución.

### 3.3.6 Color

Determinación cuantitativa por comparación visual con patrones de Pt-Co según el método 2120 del Standard Methods o con espectrofotómetro (valores de absorbancia). La presencia de color en el agua supone un impedimento en el paso de luz al acuífero y supone un desagradable efecto visual.

### 3.3.7 Materias inhibidoras (Toxicidad)

Medida del grado de toxicidad del agua por inhibición de los procesos biológicos (equitox/m<sup>3</sup>). Análisis con bacterias fluoroluminiscentes del tipo Photobacterium phosphoreum. El test de inhibición es comúnmente conocido por el nombre comercial de Microtox. El sistema Microtox se basa en la reducción de la bioluminiscencia natural de la bacteria marina Vibrio fischeri. La toxicidad se expresa como concentración de agente contaminante que produce la reducción del 50% de la luminiscencia inicial (EC<sub>50</sub>).

### 3.3.8 Nitrógeno Kjeldahl

Medida conjunta del contenido de nitrógeno en el agua constituido por la suma del N orgánico y el N amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). No incluye el contenido de nitratos y nitritos. La determinación se lleva a cabo según la norma UNE EN 25663 donde se mineraliza el contenido de nitrógeno por digestión con ácido sulfúrico, para formar sulfato amónico, a partir del cual se libera el amonio, que se destila y se determina a continuación mediante una valoración. La determinación de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) puede llevarse a cabo también por otros métodos analíticos como la cromatografía iónica o con el uso de un electrodo selectivo.

### 3.3.9 Fósforo total

Medida global del contenido de fósforo del agua constituido por la suma de compuestos fosforados orgánicos e inorgánicos (fosfatos). La determinación se lleva a cabo según la norma UNE EN ISO 6878. Los iones ortofosfato reaccionan con una solución ácida que contiene iones molibdato y antimonio para formar un complejo que una vez reducido con ácido ascórbico da lugar a un complejo de intensa coloración azul cuya absorbancia es medida con un espectrofotómetro. Los iones ortofosfato también pueden analizarse por



cromatografía iónica y mediante un electrodo selectivo.

### 3.3.10 Tensioactivos

Compuestos aportados al agua por el uso de detergentes. Dan lugar a la formación de espumas apreciables en los cursos de agua y que pueden generar problemas operativos en los sistemas de depuración.

Se distinguen dos procedimientos diferentes en función de si se trata de tensioactivos aniónicos o no iónicos.

Los tensioactivos aniónicos se determinan según la norma UNE EN 903. Se forma una sal coloreada por reacción con azul de metileno. Seguidamente se extrae la sal con cloroformo. Se separa la fase orgánica y finalmente se mide la absorbancia de la muestra con un espectrofotómetro.

Los tensioactivos no iónicos se determinan según la norma UNE EN 55725 donde el tensioactivo se extrae por medio de una corriente de aire y es recogido en acetato de etilo. Seguidamente se hace precipitar con el reactivo de Dragendorff que posteriormente se elimina para medir la absorbancia de la muestra por espectrofotometría.

## 4. GESTIÓN DEL AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

### 4.1 REDUCCIÓN INTERNA DE EMISIONES

Con el objetivo de llevar a cabo una gestión sostenible del agua en la industria textil el primer aspecto que debe tenerse en cuenta es la reducción interna de emisiones tanto por lo que se refiere al volumen consumido como a su carga contaminante. Esta reducción interna se basa por un lado en la prevención de la contaminación y por otro en la optimización de los procesos productivos.

#### 4.1.1 Prevención:

Para prevenir la contaminación de los efluentes es importante tener información química de los productos utilizados en el proceso productivo. Así se pueden hacer cambios de productos menos tóxicos, más biodegradables o que supongan una menor carga contaminante en el efluente final. Esta información puede conocerse a partir de las hojas de seguridad de los productos (safety data sheets) o de diferentes bases de datos (ETAD, EPA, TNO, ECO-Database). Por otro lado, en Europa la directiva REACH obliga a clasificar y etiquetar de manera adecuada productos químicos peligrosos.

#### 4.1.2 Optimización de procesos:

Algunas mejoras tecnológicas y sustituciones de productos que permiten optimizar el proceso productivo desde un punto de vista ambiental son las siguientes:

- Reducción de la relación de baño
- Reducción de productos auxiliares ej. retardadores, carriers.
- Eliminación de productos organo halogenados
- Utilización de colorantes de elevado agotamiento
- Blanqueo con peróxidos en lugar de derivados del cloro
- Neutralización con CO<sub>2</sub> en procesos a la continua
- Sustitución del ácido acético por ácido fórmico
- Sustitución de la urea en la estampación con col. Reactivos
- Menor número de lavados, fórmulas de lavado, eliminación de lavados por rebose.
- Reciclado de baños de tintura
- Reciclado de baños poco contaminados (aguas de aclarado)
- Reutilización de materias primas (productos de encolado, colorante índigo, recuperación de NaOH en el mercerizado, recuperación de pastas de estampación).

## 4.2 MEDIDAS DE CONTROL DEL AGUA

Algunas medidas de control del agua que se pueden implantar son las siguientes:

- Mantener limpias las áreas de producción para evitar lavados innecesarios
- Minimizar las fugas y los derrames
- Utilizar válvulas de cierre automático en las líneas de agua
- Instalación de medidores de caudal, general y por sección
- Utilización de medidores de nivel de líquidos
- Utilización correcta del agua de refrigeración y calefacción
- Utilización de equipos de lavado a contracorriente
- Instalación de reductores de flujo
- Instalación de controles en línea: pH, conductividad, Temperatura, TOC, etc.
- Programas de formación e incentivos a los empleados
- Cambios en el proceso productivo y maquinaria
- Substitución y/o reducción de productos químicos
- Utilización de sistemas expertos
- Dosificación informatizada de colorantes y productos auxiliares

## 4.3 PROCESOS SOSTENIBLES

### 4.3.1 Procesos enzimáticos

El uso de enzimas es una alternativa al uso de reactivos químicos contaminantes. Las enzimas operan en condiciones suaves, actúan sobre un sustrato específico y son fáciles de controlar. Su uso implica un menor consumo de agua y energía y una menor carga contaminante.

Algunas de las enzimas utilizadas en la industria textil son: Amilasas para el proceso de descolado, Cellulasas para el bio lavado de denim y el descolado de carboximetilcelulosa (CMC), Pectinasa para el descruado de fibras vegetales, Proteasas para el descruado de fibras animales y Lipasas para la eliminación de grasas y aceites.

### 4.3.2 Colorantes reactivos de elevada fijación

La introducción en el mercado de colorantes reactivos bifuncionales ha permitido aumentar la fijación del colorante de (50-70) % a (80-95) %. Además, si estos colorantes son hetero bifuncionales pueden aplicarse a menor temperatura y son menos sensibles a los cambios de pH.

### 4.3.3 Colorantes reactivos de baja utilización de sal

Este tipo de colorantes reactivos requieren una concentración de sal de (20-30) g/l. En cambio los colorantes reactivos convencionales necesitan (60-80) g/l.

### 4.3.4 Proceso DyeClean

El proceso DyeClean es una tecnología patentada que permite reutilizar los baños agotados para realizar nuevas tinturas. Da excelentes resultados de reproducibilidad e igualdad sobre todo en las tinturas de negro y azul marino. El proceso implica un ahorro de hasta un 80% de sal y de agua y de hasta un 50% de auxiliares químicos.

### 4.3.5 Proceso Advanced DENIM

El proceso Advanced Denim creado por el fabricante de colorantes Archroma sustituye el uso de colorante índigo por colorantes sulfurosos Diresul RDT con una matiz semejante. Este proceso permite un ahorro de hasta un 92 % de agua, un 30 % de energía y hasta un 87 % menos de residuos de algodón.

## 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES TEXTILES

Las aguas residuales generadas en los procesos de tintura y acabados textiles presentan las siguientes características:

- Gran variabilidad de caudal y carga contaminante
- Bajo contenido de materia coloidal y en suspensión
- La mayor parte de contaminantes son solubles y moderadamente biodegradables
- Su carga orgánica media (DQO) es aproximadamente el doble que la de un efluente urbano
- Su toxicidad es baja comparada con otros sectores industriales
- A menudo son deficitarias en nutrientes (N, P)
- Exentas de microorganismos patógenos
- Sus principales características específicas son su elevada coloración y salinidad.

En la Tabla 3 se presenta la carga contaminante de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles.

PARÁMETRO	FLOCA	HILO	TEJIDO ALGODÓN	TEJIDO LANA	GENERO PUNTO	ESTAMPACIÓN	LAVADO LANA
pH	7-12	7-11	8-13	5,5-8	5,5-9	7-10	8-11
DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	3000-7000	500-1000	1500-3000	300-1500	800-1800	2000-4000	20000-60000
DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	1000-2200	200-350	400-1000	100-600	250-500	500-1500	6000-20000
MES (mg/l)	100-300	50-150	100-300	100-200	100-200	200-600	6000-20000
Volumen/peso (l/Kg)	10-20	40-80	100-200	70-300	80-150	-	5-20
COLOR (Pt-Co/l)	400-4000	400-1000	400-3000	200-1500	200-2000	1000-6000	100-200

Tabla 3. Carga contaminante de los efluentes procedentes de diferentes sectores textiles

#### 4.5 PROCESOS DE DEPURACIÓN DE LOS EFLUENTES TEXTILES

Existen diferentes sistemas de depuración de las aguas residuales de la industria textil. Todos ellos comparten una misma etapa inicial de desbaste, control de pH y homogeneización, para posteriormente llevar a cabo un proceso biológico o un proceso físico-químico. Ambos con diferentes variantes.

Inicialmente unas rejillas de desbaste permiten eliminar sólidos. A continuación se ajusta el pH que acostumbra a ser básico en los efluentes textiles y el agua es retenida durante (16-24) horas en una balsa de homogeneización para evitar puntas de caudal y de carga contaminante. Esta homogeneización del agua facilita la operación y dosificación de las siguientes etapas de depuración.

##### 4.5.1 Proceso biológico de fangos activados

La depuración biológica por fangos activados (Figura 1) cuenta con un reactor biológico aireado donde se produce el crecimiento de la población bacteriana y de un decantador donde se fomenta la separación del agua clarificada respecto del fango generado. Una parte del fango es recirculado al reactor biológico para mantener una población bacteriana adecuada mientras otra parte es purgada para ser tratada.

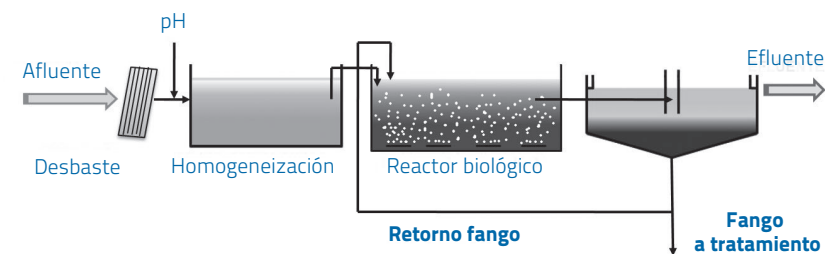


Figura 1. Esquema de un proceso biológico de fangos activados.

La depuración por fangos activados tiene un elevado rendimiento de eliminación de DQO y DBO, en cambio no es eficaz para eliminar el color ya que la mayoría de colorantes son poco biodegradables. Por otro lado, requiere de personal con cierta experiencia y de un buen control de materias primas en el proceso textil.

##### 4.5.2 Proceso de fangos activados con adición de carbón activo o resinas decolorantes

Para conseguir eliminar de manera adecuada los colorantes residuales de los efluentes textiles al sistema biológico de fangos activados se pueden añadir carbón activo o resinas decolorantes (Figura 2)

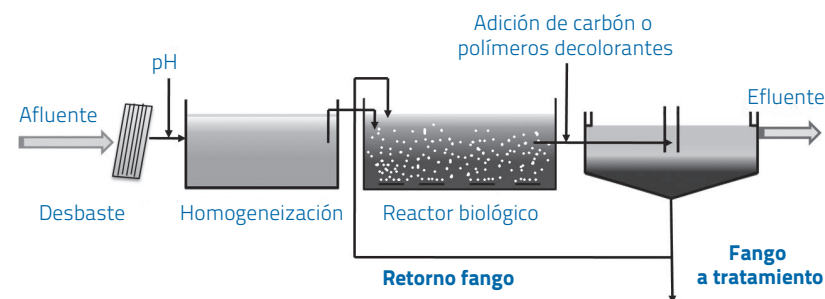


Figura 2. Esquema de un proceso de fangos activados con adición de carbono activo o polímeros decolorantes.

### 4.5.3 Proceso físico-químico de coagulación-floculación

El proceso físico-químico de coagulación-floculación cuenta con un tanque de agitación rápida donde se administra el coagulante, un tanque de agitación lenta donde se adiciona el polímero floculante y un depósito de decantación (Figura 3). Es efectivo para eliminar la materia orgánica suspendida y coloidal, no así la materia orgánica soluble. Para alcanzar una disminución aceptable de DQO y DBO la balsa de homogeneización debe estar aireada para mantener la vida bacteriana. Permite eliminar el color y obtener una buena reducción de MES. En cambio, tiene el inconveniente de generar mayor cantidad de fango que los sistemas biológicos.

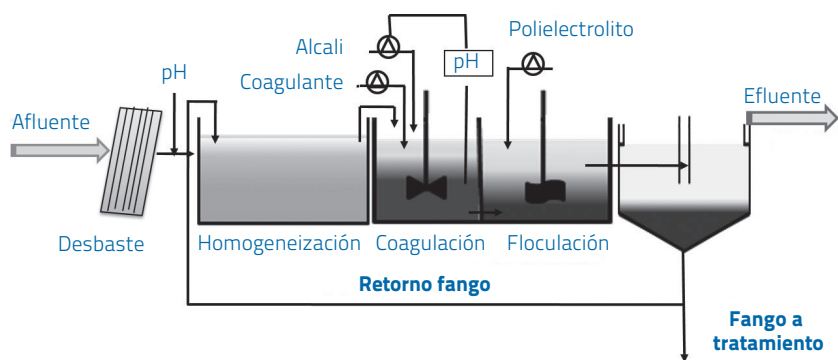


Figura 3. Esquema de un proceso físico-químico de coagulación-floculación.

### 4.5.4 Proceso de coagulación-floculación combinado con filtro percolador

La combinación de un proceso de coagulación-floculación con un filtro percolador permite aumentar significativamente el rendimiento de eliminación de DQO y DBO. Un filtro percolador es un filtro biológico de lecho fijo aireado de manera natural. El agua es rociada sobre el filtro y la materia orgánica se degrada por la biomasa que cubre el material del filtro (Figura 4).

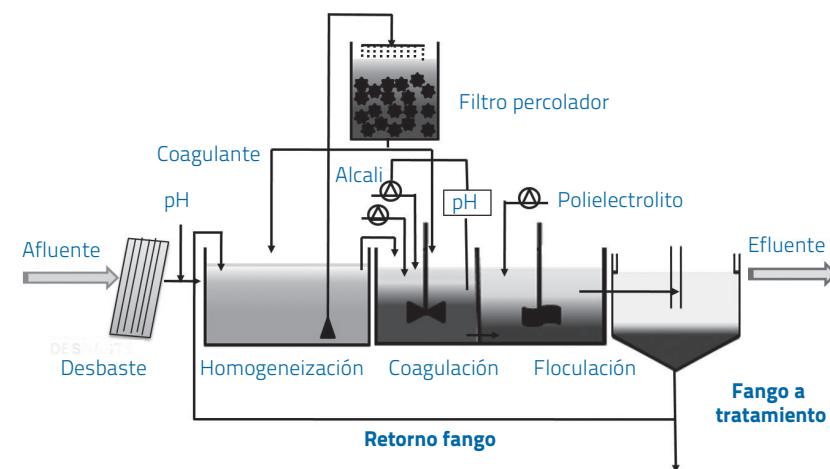


Figura 4. Esquema de un sistema de coagulación-floculación combinado con un filtro percolador.

### 4.5.5 Proceso de fangos activados seguido de un proceso terciario (coagulación, ozono, membranas)

La adición de un proceso terciario posterior a la depuración por fangos activados permite obtener elevados rendimientos de eliminación de DQO y DBO (90-95) % y la eliminación completa del color dando lugar en algunos casos a un agua susceptible de ser reutilizada. Por el contrario, los procesos terciarios encarecen los costes de inversión y explotación de la depuradora. Los procesos terciarios más comunes en el tratamiento de efluentes textiles son la coagulación-floculación, la ozonización y la filtración por membranas (Figura 5).

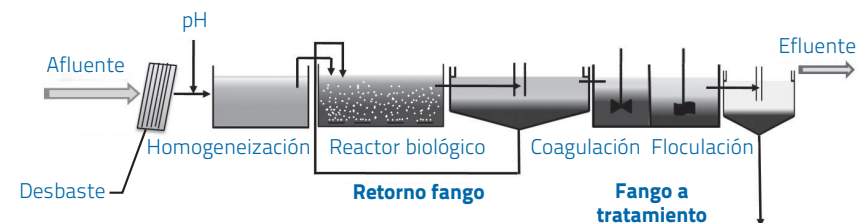


Figura 5. Esquema de un sistema de fangos activados seguido de tratamiento terciario.

#### 4.5.6 Bioreactor de membranas (BRM)

El sistema de bioreactor de membranas (BRM) sustituye el decantador del sistema biológico convencional por módulos de membranas de ultrafiltración (Figura 6). Los BRM permiten obtener un efluente de excelente calidad, susceptible de ser reutilizada. El sistema ocupa menos espacio y genera menos fangos. Por el contrario, tiene unos costes de inversión y operación superiores al sistema por fangos activados y debe hacerse un mantenimiento y lavado adecuado de las membranas para alargar su vida útil.

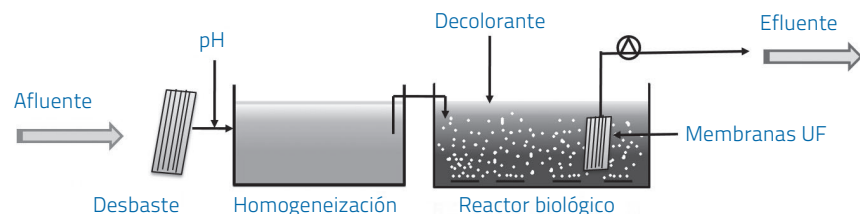


Figura 6. Esquema de un bioreactor de membranas

A modo de resumen en la Tabla 4 se presentan los rendimientos de depuración promedio de los diferentes procesos indicados anteriormente:

PROCESO	ELIMINACIÓN (%)				COSTO
	DQO	DBO	MES	Color	
Fangos activados	80-93	90-98	50-95	20-50	+++
Fangos activados + Decolorante	80-95	90-98	50-95	80-95	++++
Coag-Floc. Química	60-80	60-80	90-95	90+95	++++/++++
Filtro percolador + Coag.-Floc.	85-95	95-98	90-95	90-98	+++ / +++
Fangos activados + Terciario	90-95	95-99	90-95	90-98	++++/++++
Bioreactor de membranas (BRM)	90-97	95-99	> 99	80-98	+++ / +++

Tabla 4. Rendimiento de los procesos de depuración de los efluentes textiles.

## 5. BIOREACTOR DE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES

### 5.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y SITUACIÓN ACTUAL

A finales de los años sesenta surgen los primeros sistemas que integran membranas de micro y ultra filtración al proceso biológico de fangos activados, eliminando así la sedimentación. El BRM emerge como una alternativa al proceso de fangos activados convencional, especialmente cuando se requiere una elevada calidad del agua tratada. En el campo de las aguas residuales industriales también es una opción cuando las aguas son difíciles de degradar y requieren edades de fango elevadas.

En el año 1982 Zenon patentó su sistema ZenoGem basado en membranas de fibra hueca sumergidas en el bioreactor. La última generación de BRM con membranas sumergidas, ha resuelto la mayoría de los problemas operacionales de los BRM de primera generación. El costo de las membranas y el consumo de energía se han reducido drásticamente.

Los primeros BRM comerciales aparecieron en Norte América a finales de los '70 y se extendieron a Japón a principios de los '80, la introducción en Europa no se produjo hasta mediados de los '90. La mayoría de los procesos BRM son aerobios y de membrana sumergida dentro del bioreactor. Actualmente hay alrededor de 30 suministradores de membranas para BRM a nivel mundial.

La tecnología de los BRM se ha convertido en la mejor opción cuando se quiere obtener un efluente de alta calidad, con un bajo contenido de contaminantes químicos y con reducciones muy altas de bacterias y virus.

Un bioreactor de membrana para el tratamiento de las aguas residuales se diferencia básicamente de un sistema de lodos activos en la forma de realizar la separación sólido-líquido. En un proceso de lodos activados, la separación de los lodos se realiza normalmente por decantación y excepcionalmente por flotación. En un bioreactor de membrana (BRM), la separación agua/fango se realiza con una membrana de micro filtración o ultra filtración. Al no depender de la decantabilidad del fango se puede aumentar la concentración de biomasa hasta unas cinco veces, respecto al proceso convencional de lodos activados, con lo que se puede reducir el volumen del reactor manteniendo la carga másica.

Los bioreactores de membrana pueden ser de membranas sumergidas en los lodos activados (Figura 7a y 7b) o de membranas externas (Figura 7c).

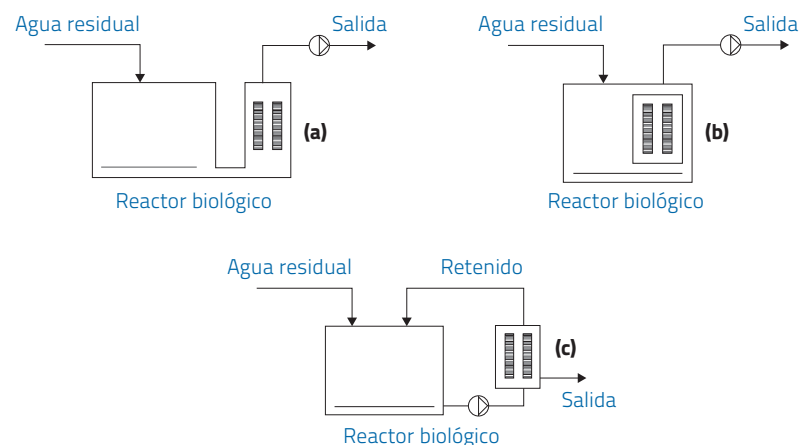


Figura 7. Diferentes disposiciones de las membranas en el bioreactor: (a) membranas sumergidas en depósito anexo. (b) membrana sumergida en el reactor biológico. (c) membranas externas.

Las membranas se sitúan encima de difusores para que las burbujas de aire retrasen el ensuciamiento de la membrana al disminuir la deposición de sólidos en la superficie de la membrana, gracias a la agitación que se crea. La fuerza conductora se consigue presurizando el bioreactor o creando una depresión en el interior de las membranas. Normalmente se utiliza una membrana de piel exterior, ya sea de fibra hueca o tipo placa y bastidor. Estas dos opciones están bien representadas a escala comercial por Zenon y Kubota, respectivamente.

A pesar de que inicialmente la membrana de circuito externo era la más extendida por ser la primera configuración con la que se empezó a trabajar, actualmente los BRM de circuito interno (membrana sumergida) son los más frecuentes. La aparición de membranas orgánicas más económicas junto con los bajos costos energéticos ( $<0,2 \text{ kw/m}^3$ ) y mayores flujos de filtración han acelerado en todo el mundo el uso comercial de los BRM de circuito interno. Sea cual sea la membrana escogida, cada una de las dos configuraciones presenta sus ventajas e inconvenientes (tabla 5).

BRM DE MEMBRANA SUMERGIDA	BRM DE MEMBRANA EXTERNA
Bajos costos de bombeo de biomasa	Altos costos de bombeo de biomasa
Flujo de permeado bajo	Flujo de permeado alto
Limpiezas menos frecuentes	Limpiezas más frecuentes
Costos de operación bajos	Costos de operación más altos
Costos de inversión más altos	Costos de inversión inferiores

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de las membranas sumergidas y externas.

## 5.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS BRM

Las ventajas más destacadas de los BRM son: la calidad del agua tratada, el tamaño compacto de la instalación, la menor producción de lodos y la flexibilidad de operación.

### Calidad del agua tratada

El mayor problema del sistema de fangos activos convencional es la correcta sedimentación del fango y el contenido de sólidos en suspensión que afecta a la calidad del efluente. En cambio en un BRM la calidad del agua permeada no depende de la decantación del fango. Este factor es especialmente importante en la depuración de efluentes industriales donde es muy común la aparición de microorganismos filamentosos o la desnitrificación en el decantador secundario. El agua atraviesa las membranas de micro o ultra filtración donde quedan retenidos los sólidos suspendidos, coloides y microorganismos. La ausencia de estas partículas en el efluente aumenta la calidad del agua tratada al mismo tiempo que posibilita su reutilización directamente o después de un proceso de O.I. En la Figura 8, se aprecia el aspecto del efluente de un BRM.



Figura 8. Agua tratada en un proceso convencional (izquierda) y BRM (derecha).

Por otro lado, las sustancias orgánicas con pesos moleculares bajos y que no se eliminarían sólo con la membrana, son biodegradadas por los microorganismos o bien convertidas en polímeros formando parte de las células bacterianas. La suma de los efectos producidos por la degradación biológica y la filtración hacen superar en muchos casos porcentajes de depuración del 99 % en eliminación de DBO<sub>5</sub> y 95 % de eliminación de la DQO. En la Tabla 6, se indican como referencia algunos rendimientos que se alcanzan en plantas depuradoras BRM que tratan aguas residuales industriales.

INDUSTRIA	INFLUENTE (mg/l)			EFLUENTE (mg/l)		
	DQO	DBO <sub>5</sub>	SS	DQO	DBO <sub>5</sub>	SS
Láctea	4.200	2.600	650	40	< 5	4,2
Textil	1.600			90		
Zumos	2.250			24		
Aguas Residuales Aceitosas	4.300-6.900	920-1.360	253-890	180-670	3-34	1-11
Cosmética	35.000	18.000	3.000	130	< 10	< 5
Ácido láctico	2.000	900	700	60	< 10	< 5

Tabla 6. Rendimientos de BRM para aguas residuales de diferentes industrias.

### Flexibilidad de operación.

En los BRM la edad del fango es independiente del tiempo de retención hidráulico. Es posible mantener una edad del fango muy elevada que favorece, entre otras cosas, el desarrollo de microorganismos de crecimiento lento como los nitrificantes. De este modo aumenta la eliminación de productos lentamente biodegradables, lo que es una gran ventaja en efluentes industriales.

### Tamaño de las instalaciones

Los BRM trabajan a cargas volumétricas elevadas, ya que la concentración de fango en el bioreactor es mucho mayor que en un sistema convencional. Las concentraciones típicas de un sistema aerobio convencional están entre 2 y 6 Kg/m<sup>3</sup>, a concentraciones mayores no se consigue decantar todo el fango. En un BRM se puede llegar hasta (20-30) Kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo existe un límite, ya que cuando la concentración de fango sobrepasa estos valores, la viscosidad aumenta considerablemente, dificultando en gran medida la filtración a través de las membranas. Además la transferencia de oxígeno disminuye por lo que las necesidades energéticas de aireación son más elevadas. En los modernos BRM se suele trabajar a concentraciones de biomasa de (8-12) Kg/m<sup>3</sup>.

El volumen de un BRM suele ser de 2 y 5 veces inferior al del sistema convencional, manteniendo la misma carga másica de trabajo. Se consigue de esta manera una carga volumétrica superior. Además, el BRM ahorra el espacio que supone el decantador. Tampoco es necesario un sistema terciario para llegar a la misma calidad del efluente.

### Elevada tasa de degradación.

A causa de la alta concentración del fango y a que la reacción de degradación es exotérmica, la temperatura en el bioreactor se mantiene elevada incluso en clima frío. Estudios cinéticos han demostrado que la tasa de crecimiento de los microorganismos llega a ser 5 veces superior en los BRM. De la combinación de una alta tasa de utilización del sustrato, junto con una alta concentración de biomasa, resulta una tasa de conversión por metro cúbico de volumen de reactor de 10 a 15 veces superior a la obtenida en un proceso convencional.

### Menor producción de fango

La producción de fangos en un BRM es menor que en un sistema convencional de lodos activados. Normalmente la producción de lodos está entre un 30 % y un 50 % inferior a la del sistema convencional.

### Desinfección y control de malos olores

La configuración del sistema BRM, permite que pueda cubrirse evitando la dispersión de malos olores. La filtración a través de la membrana permite una reducción en la presencia de bacterias y virus sin la utilización de reactivos. Este factor es de gran importancia para la reutilización. La membrana actúa como una barrera para los microorganismos.

A pesar de las ventajas de los BRM sobre los sistemas convencionales, también presentan algunas limitaciones que actualmente impiden su mayor difusión:

1. Los niveles de calidad exigidos en los vertidos, generalmente pueden alcanzarse con sistemas convencionales seguidos de un sistema terciario.
2. Necesidad de limpiezas de las membranas con reactivos químicos.
3. Mayor costo de instalación respecto a la opción clásica.
4. Costo de sustitución de la membrana al agotarse su vida útil.

A pesar de la existencia de estos inconvenientes su difusión se está acelerando. El desarrollo de la tecnología permite construir BRM más económicos, con costos energéticos muy inferiores y vida útil de las membranas superiores a los 8 años.

### 5.3 PRINCIPALES BIOREACTORES DE MEMBRANA COMERCIALES

En el mercado la tecnología de los BRM sumergidos, está dominada por dos configuraciones de membrana: membranas de fibra hueca orientadas verticalmente (FH) y membranas planas (MP). Los sistemas de MP tienden a trabajar a altas permeabilidades (generalmente > 200 l/m<sup>2</sup>·h·bar y tienen elevadas demandas de aireación. La mayoría de los sistemas utilizan membranas planas rectangulares entre (1-1,5) m de longitud. Los sistemas de FH tienden a operar a permeabilidades menores (generalmente < 200 l/m<sup>2</sup>·h·bar y las demandas de aireación son menores. En la Tabla 7 se presentan los principales proveedores de membranas en función de su configuración.

CONFIGURACION DE LA MEMBRANA	PROVEEDOR	
	MEMBRANA SUMERGIDA	MEMBRANA EXTERNA
Membrana plana	Colloide	Novasep-Orelis
	Brightwater	
	Huber*	
	ITR NWF	
	Kubota	
	Myerodyn Nadir	
	Toray	
Fibra hueca	Asahi-kasie	Ultraflo
	Hans-S Environmental	
	ITT	
	Koch/Puron	
	Kolon	
	Mitsubishi Rayon	
	Motimo	
	Polymem	
	EvoquaWaterTechnology	
	GE Water	
Multi-tubo	Millenniumpore	Berghof**
		Millenniumpore
		Norit-XFlow**

\*Membrana plana giratoria

\*\*Tecnologías utilizadas por suministradores de plantas como: Aquabio, Dynatec, Trique, Wehre.

Tabla 7. Tecnologías comercializadas de BRM.

En la Tabla 8 se indican las principales características de las membranas comercializadas para BRM. Características como la configuración y material de membrana, tamaño de poro, diámetro y nombre comercial de la membrana o módulo.



PROVEEDOR	MEMBRANA	TAMAÑO PORO, (mm)	DIÁMETRO, (mm)	NOMBRE DE LA MEMBRANA O MÓDULO
Berghof	MT, PES	0,08	9	HyPerm-LE
	PVDF	0,12		HyperFlux
Brightwater	MP, PES	0,05	9	MEMBRIGHT®
Toray	MP, PVDF	0,08	7	MEMBRAY®
Kubota	MP, PE	0,4	8	Kubota
Colloide	MP, PES	0,04	10	SubSnake
Huber	MP, PES	0,038	6	VRM
Millenniumpore	MT, PES	0,1-0,5	0,5-20	Millenniumpore
GE Water	FH, PVDF	0,04	1,9	ZeeWeed 500D
	FH, PVDF	0,02	0,9	ZW1500
	FH, PVDF	0,02	0,95	ZW1000
Koch Puron	FH, PVDF	0,03	2,6	Puron
Norit X-Flow	MT, PVDF	0,038	5,2	F4385
			8	F5385
EvoquaWaterTech	FH, PVDF	0,04	1,3	MemPulse™
Mitsubishi Rayon	FH, PE	0,4	0,54	STERAPORE™
	FH, PVDF	0,4	2,8	STERAPORE™
AsahiKasei	FH, PVDF	0,1	1,2	Microza
Polymem	FH, PS	0,08	0,7-1,4	WW120
Ultraflo	FH, PAN	0,01-0,1	2,1	SS60
Motimo	FH, PVDF	0,1-0,2	1,0	Flat Plat
MAHLE InnoWa	FH, PES			
ECOTEC	FH/MP, PES	0,04		BIOCEL®
LG	FH/MP, PVDF	0,1	1,15	G-Brane
Hydranautics	FH, PVDF	0,4		HYDRA-sub®
NEWTERRA (antes Wise Water Systems)	MP, PES	0,04		MicroClear
WEHRLE WERK AG				BIOMEMBRAT

FH: fibra hueca, MP: membrana plana, MT: multi tubo, PAN: poliacrilonitrilo, PE: polietileno, PES: polietilsulfona, PS: polisulfona, PVDF: difluoruro de polivinilidina.

Tabla 8. Especificaciones de las membranas comercializadas para BRM

## 5.4 POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN UN BRM

La calidad del efluente de un BRM, es comparable a la que se obtiene mediante un proceso biológico convencional seguido de un proceso terciario de coagulación química seguido de una filtración, y a menudo es superior a la que se obtiene con proceso biológico convencional seguido de un proceso de ultrafiltración. Además cuando se requiere un agua de gran calidad y es preciso aplicar un proceso de O.I. por ejemplo para disminuir el contenido salino del agua, el mejor modo de proteger las membranas de O.I. es un pretratamiento con una membrana de UF, lo cual se consigue con una planta de BRM.

Sólo a modo de muestra se indican algunos casos de reutilización en la industria textil, que están en funcionamiento o que han pasado la fase de estudio en planta piloto semi-industrial. En todos los casos después del proceso de depuración con BRM se obtienen valores de DQO inferiores a 100 mg O<sub>2</sub>/l, y después de hacer pasar el efluente del BRM por una O.I. la DQO es inferior a 10 mg O<sub>2</sub>/l.

### 5.4.1 Caso 1. Industria textil algodonera de tintura de género de punto (Barcelona, España)

Dispone de una estación depuradora compuesta de los siguientes procesos: homogeneización, fangos activados con adición de polímero decolorante, filtración sobre silex/antracita, micro filtración seguida de ultra filtración con membranas en espiral. Parte del agua a la salida de la ultra filtración se somete a un proceso de ósmosis inversa y se reutiliza para el proceso productivo. La industria genera 75 m<sup>3</sup>/h de aguas residuales que son tratadas por el proceso descrito antes de su vertido al río, de ellos 30 m<sup>3</sup>/h son conducidos a la O.I. obteniéndose un 50 % de permeado que es reciclado. La reutilización del agua de O.I. lleva 4 años realizándose con excelentes resultados. En la Tabla 9 se indican los valores medios de contaminación del efluente antes y después de su depuración.

PARÁMETRO	AGUA SIN TRATAR	SALIDA F.A.	SALIDA U.F.	SALIDA O.I.
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	1.800	140	70-80	< 10
MES (mg/l)	200	20-30	< 5	< 2
Color (mg Pt-Co/l)	3.000	200	< 100	< 10

Tabla 9. Valores medios de contaminación a la salida de los diferentes tratamientos realizados.

### 5.4.2 Caso 2. Industria de tejidos de algodón y fibra sintética (Barcelona, España)

Los efluentes contienen productos refractarios ya que una parte importante de la producción es un tratamiento alcalino del poliéster y también realiza procesos de estampación. Se realizó un estudio comparativo durante 6 meses con un BRM (TRH=1,3 días) con adición de carbón activo en polvo al reactor biológico, y un proceso convencional de fangos activados (FA) (TRH=2 días) seguido de un proceso fisicoquímico de coagulación química (FQ). Los resultados medios se indican en la Tabla 10.

VALORES MEDIOS	DQOI (mg O <sub>2</sub> /l)	DQOF (mg O <sub>2</sub> /l)	RDTO. DQO %	DBO5 I (mg O <sub>2</sub> /l)	DBO5 F (mg O <sub>2</sub> /l)	RDTO. DBO5 %	COLOR I (mg Pt-Co/l)	COLOR F (mg Pt-Co/l)	RDTO. COLOR %
BRM	1500	90	94	375	<10	97	1200	80	93
FA+FQ	1500	110	93	375	<10	97	1200	100	92

Tabla 10. Valores medios entrada/salida plantas piloto BRM y FA+FQ

Con un 40 % del efluente del BRM y un 60 % de agua limpia se realizaron ensayos de blanqueo y tintura, y se comparó con procesos realizados con un 100 % de agua limpia. La igualación de las tinturas y diferencias de color estuvieron en todos los casos dentro de los límites aceptados por el mercado, en la Figura 9 se indica una muestra de las tinturas realizadas con agua limpia y efluente tratado.

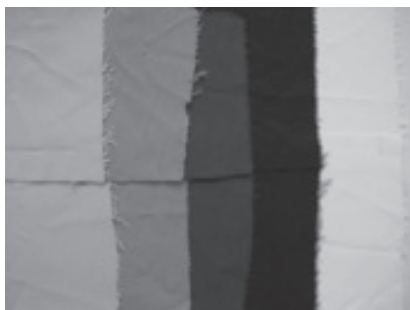


Figura 9. Muestras teñidas con agua limpia y con un 40 % del efluente del BRM.

### 5.4.3 Caso 3. Industria textil de tintura y estampación (Dreew Meerane, Alemania)

Caudal de vertido 60 m<sup>3</sup>/h. (1440 m<sup>3</sup>/día). Dispone de una EDAR que consta de dos líneas, la primera trata el 40 % de los efluentes los que presentan mayor coloración. Son tratados mediante un proceso anaerobio con un TRH=1,5 días, seguido de un proceso aerobio (TRH=0,2 días), el agua así tratada se vierte a la depuradora municipal.

El 60 % de las aguas se tratan mediante un proceso anaerobio con un TRH=2,1 días, seguido de un proceso aerobio (TRH=0,1 días), y un BRM. El proceso anaerobio consigue eliminar un 45 % del color por rotura del grupo cromóforo AZO de los colorantes azoicos. El efluente del BRM se acaba de decolorar con 40 g O<sub>3</sub>/l de ozono. Este tratamiento obtiene una eliminación del 89 % de la DQO y del 87 % del color. El agua así tratada (860 m<sup>3</sup>/día) se recicla para tintura de tejidos de algodón y mezclas con máquinas Jet y sistema Pad-batch.

## 5.5 CONCLUSIONES

La tecnología de los BRM se puede considerar que está ya plenamente implantada, tanto para el tratamiento de efluentes municipales como industriales. Su grado de fiabilidad es superior a cualquier otro proceso de depuración biológica, lo que lo hace especialmente adecuado cuando se quiere reutilizar el efluente depurado.

Actualmente se dispone de tecnología adecuada para depurar las aguas residuales de la industria textil, y obtener un efluente con calidad suficiente para su reciclado en el proceso productivo.

Probablemente el proceso más adecuado y fiable para obtener un efluente de calidad suficiente para su reciclado en la industria textil, es el Bioreactor de Membrana con adición o no de productos decolorantes al reactor biológico.

El efluente de un BRM se puede tratar con membranas de Osmosis Inversa sin problemas especiales de ensuciamiento.

## NOTAS

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## NOTAS

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—  
GESTIÓN DE  
**LOS EFLUENTES DE LA  
INDUSTRIA TEXTIL**



**INTI**



**Unión Europea**

Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional  
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212  
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490  
Fax (54 11) 4752 5919  
[www.ue-inti.gob.ar](http://www.ue-inti.gob.ar)



**Presidencia  
de la Nación**

**Ministerio de  
Industria**