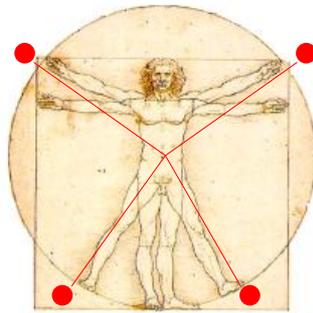


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XII. AÑO 2014

SEPARATA



**Caracterización y tratamiento de las aguas obtenidas en el reciclaje de
cartón corrugado tipo c**

Patricia Martínez Álvarez , Cristina de la Macorra García



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Martínez Álvarez , Patricia de la Macorra García, Cristina
Mayo, 2014.

<http://www.uax.es/publicacion/caracterizacion-y-tratamiento-de-las-aguas-obtenidas-en-el-reciclaje-de.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS OBTENIDAS EN EL RECICLAJE DE CARTÓN CORRUGADO TIPO C

**Patricia Martínez Álvarez (a), Cristina de la Macorra García
(b)**

(a) Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad Alfonso X El sabio.

(b) Dra Europea en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid.
Departamento de Tecnología Industrial de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad
Alfonso X El Sabio. Tfono: 918105009, email: cdelagar@uax.es

RESUMEN: El papel y el cartón reciclado, ayudan a reducir el impacto de la industria papelera en el medio ambiente, haciendo un uso más razonable de estos recursos reutilizables. Sin embargo las aguas del proceso presentan elevadas cargas contaminantes las cuales es necesario controlar para la posterior reutilización de las mismas.

En este trabajo se ha reciclado una caja de cartón corrugado y se han analizado las aguas al final del proceso. Con posteriores tratamientos terciarios con carbón activado y lámpara ultravioleta se han reducido las cargas contaminantes hasta valores adecuados para su posterior vertido.

PALABRAS CLAVE: Cartón, Reciclaje, Reutilización, Desinfección, Depuración, Aguas residuales

ABSTRACT: The paper and board recycling, help reduces the impact of the paper industry in the environment, making more rational use of these reusable resources. The process waters have high pollutant loads, which are necessary for subsequent control reutilization thereof. This paper has been recycled corrugated board box and water has been analyzed at the end of subsequent process. Whit tertiary treatment with activated carbon and ultraviolet lamp has pollutants loads up suitable for subsequent disposal

KEY-WORDS: Board, recycling, reuse, disinfection, process water, wastewater.

1. Introducción

La industria del papel tiene un efecto importante en el medio ambiente, tanto en las actividades previas (donde se adquieren y procesan las materias primas), como en las posteriores (impacto de eliminación de residuos). Con el reciclaje de una tonelada de papel de periódico se ahorra aproximadamente una tonelada de madera, mientras que reciclando una tonelada de papel impreso se ahorra algo más de dos toneladas de madera. Esto se debe a que la fabricación de pasta requiere el doble de madera para retirar la lignina y producir fibras de mayor calidad que con los procesos mecánicos de fabricación. El uso de fibras recuperadas en el reciclaje, para la fabricación de cartón y papel, ha seguido creciendo a nivel mundial durante las últimas 5 décadas; la clave para la utilización de estas fibras es la eliminación de contaminantes (Sanchez Lafraya, 1996; Aspapel.com).

Actualmente la industria papelera muestra una clara tendencia hacia el uso de las fibras recicladas para la fabricación de papel y cartón con el fin de reducir el impacto ambiental que tiene, en el medio, el elevado consumo de agua en el proceso, el gasto energético y la utilización como materia prima de fibra virgen.

Sí bien el uso de estas fibras recicladas presenta grandes ventajas económicas como medioambientales, también genera una gran variedad de inconvenientes, el principal es la gran cantidad de contaminantes que introducen esas fibras en el proceso; como son: aditivos, partículas orgánicas y/o inorgánicas y las aguas de alimentación. El elevado consumo de aguas de alimentación es el principal problema que presentan estas aguas, ya que se usan como medio de dispersión y transporte de las materias primas y de los aditivos a través de las etapas del proceso de producción (Negro, Blanco, Gaspar and Tijero, 1995).

El volumen de agua consumida depende de numerosos factores entre los que caben destacar tres principales: el tipo de fibra, el producto fabricado y la tecnología del proceso de producción.

La gestión de las aguas en el proceso de fabricación hace necesario establecer especificaciones de calidad mínima del agua en función del uso al que se destinan (Pohjolainen and Alcalá-Galiano, 1998). En la Tabla 1 se indican los intervalos típicos de la composición de las aguas blancas con altos y bajos niveles de recirculación.

La amplitud de los intervalos se debe a un gran número de factores: tipo de materia prima fibrosa, tipo y calidad del producto fabricado, condiciones de fabricación, fuente de alimentación, grado de cierre del sistema de aguas, eficacia de los tratamientos internos para la clarificación y reutilización de las corrientes- de proceso, etc. (Blanco, Negro and Tijero, 1998).

El cierre del circuito de aguas y la recirculación de las mismas, pese a ser una solución, lleva consigo una serie de problemas debido a las fuentes de contaminación que presenta, como consecuencia de la acumulación de sustancias contaminantes en las aguas de proceso. Estos son principalmente:

- Incremento de los sólidos en suspensión.
- Incremento de la materia disuelta y coloidal.
- Incremento de la temperatura
- El reciclado del agua puede afectar a la calidad del producto final, menor resistencia del papel, manchas, formación de espumas e incrustaciones, etc.

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una caracterización de las aguas residuales que se obtienen del reciclaje de una caja de cartón corrugado de uso doméstico, destinada para embalaje.

Para la caracterización del agua, se analizarán muestras del agua a estudiar y dependiendo de su contenido en diferentes iones, dureza, DQO (Demanda química de oxígeno), DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno) y otros parámetros, determinaremos que proceso de depuración sería el más adecuado para que su posterior vertido a un cauce receptor no fuera un problema medioambiental.

<i>Intervalos típicos de la composición de las aguas blancas</i>	
Parámetros	Rango
a) Con altos niveles de recirculación	
pH	4,9 - 7,3
Conductividad (ms/cm)	3 - 11
DQO (mg/l)	4.500 - 22.000
DBO ₅ (mg/l)	2.000 - 8.000
Sólidos en suspensión (mg/l)	4.500 - 23.000
Sólidos disueltos (mg/l)	1.000 - 10.000
Sulfatos (mg/l)	240 - 2.350
Cloruros (mg/l)	130 - 2.950
Sodio (mg/l)	100 - 800
Calcio (mg/l)	360 - 2.040
Magnesio (mg/l)	30 - 110
Hierro (mg/l)	0,1 - 47
Aluminio (mg/l)	0,5 - 53
Colonias de microorganismos aerobios (10 ⁶ col./ml)	100 - 300
Colonias de microorganismos anaerobios (10 ⁶ col./ml)	15 - 950
b) Con bajos niveles de recirculación (*)	
DQO (mg/l)	83 - 530
DBO ₅ (mg/l)	46 - 284
Sólidos en suspensión (mg/l)	11 - 44,5
Sólidos en suspensión de 0.45 µm (mg/l)	102 - 124
Sólidos en suspensión en la primera hora (mg/l)	0 - 0,05
Cloruros (mg/l)	35,5 - 180
(*) a la salida de separación de fibras por sedimentación	

Tabla 2.1: Valores de intervalos típicos de composición de las aguas blancas.

Fuente: BLANCO M. A, NEGRO C. and TIJERO J. (1998): "*Paper Recycling: An introduction to problems and their solutions*". Cost, Luxemburg.

3. Materiales y métodos de análisis

3.1 Características técnicas de la caja de cartón utilizada

La materia prima empleada para este trabajo ha sido una caja de cartón corrugado de única pared (Figuras 3.1 y 3.2), formado por dos liners y una onda. El tipo de Onda del cartón ondulado es una Onda del tipo C, con un espesor del cartón corrugado aproximadamente de 4 mm (Tabla 2)

Al ser una caja de cartón recuperado debe cumplir con la Norma Europea UNE-EN 643: Lista europea de calidades normalizadas de papel y cartón recuperado. Según la norma europea de clasificación de papel y cartón recuperado, la caja de cartón corrugado utilizada para este trabajo pertenece al grupo 4, en este grupo se encuentran todos los papeles y cartones procedentes de pasta Kraft.

La designación completa de cartón utilizado para su fabricación: Calidad del Cartón según UNE-EN 643: 4.02 Calidad Kraft procedente de cartón Kraft ondulado utilizado para embalaje, sobres o similares con fibras largas y muy resistentes.



Figura 3.1 Muestra del cartón corrugado utilizado



Figura 3.2 Ondas tipo C de 4mm

Perfil del Ondulado	Espesor Aproximado del Cartón Corrugado (mm)	Número de Canales en 30 cm lineales (1 pie)
Onda grande (A)	5 mm	110 a 116
Onda mediana (C)	4 mm	123 a 137
Onda pequeña (B)	3 mm	152 a 159
Micro-canal (E)	2 mm	294 a 313

Tabla 3.1: Tipos de Onda del Cartón ondulado.

Fuente: [http:// www.cartonesamerica.com](http://www.cartonesamerica.com)

3.2 Procedimiento

Se ha troceado la caja de cartón corrugado en porciones de 3,5 x 3,5 cm². Para que la toma de muestras sea representativa, se han cogido porciones de todas sus caras de forma aleatoria.

Se han introducido 75 gr de cartón corrugado en 3 litros de agua jabonosa (para eliminar las colas presentes en el cartón), dejando la mezcla cartón/agua en reposo, durante 48 horas. Pasado ese tiempo la muestra se tritura en un pulper, batidora, hasta obtener una pasta, la cual, posteriormente es filtrada.

Como resultado se obtiene unas aguas residuales las cuales han sido analizadas según las normas UNE indicadas en el apartado 3.3.

Los iones amonio, nitrato, nitrito, hierro (II) y sulfato fueron analizados mediante el empleo de tiras, estandarizadas, reactivas Merckoquant®, para análisis de aguas. Este tipo de tiras están compuestas por una lámina de poliéster biodegradable con una zona de reacción impregnada con un bajo contenido de reactivo, lo cual facilita la eliminación, después de su uso. El procedimiento consiste en sumergir las diferentes tiras en la muestra, esperar y medir visualmente frente a una escala de color.



Figura 3.3: Merckoquant®

3.3 Analítica de aguas

Para la conservación y almacenamiento de dichas aguas, se han utilizado botellas de vidrio color topacio perfectamente limpias y se han conservado refrigeradas a baja temperatura (+ 4°C) con el fin de que las muestras no se alteren. A esta temperatura se reducen los efectos de reacciones químicas indeseables para el análisis y la actividad biológica, lo que minimiza las posibilidades de descomposición de algunos de sus componentes.

Parámetros determinados en el laboratorio:

- Temperatura
- pH
- Conductividad eléctrica
- Iones amonio: análisis semicuantitativo, kit Merckoquant
- Determinación de fosfatos por colorimetría: Norma UNE- EN 1189:1997.
- Iones nitrato: análisis semicuantitativo, kit Merckoquant
- Iones nitrito: análisis semicuantitativo, kit Merckoquant
- Iones Sulfato: análisis semicuantitativo, kit Merckoquant
- Iones de hierro(II): análisis semicuantitativo, kit Merckoquant
- Dureza del agua como carbonato cálcico (mg/l): Norma UNE 77040-1983
- Color aparente y color verdadero: la NORMA UNE- EN 27027:1995.
- DBO (Demanda biológica de oxígeno): Norma UNE 77-003-89
- DQO (Demanda química de oxígeno): Norma UNE 77-004-89
- Contenido en cloro libre y cloro total: Norma UNE-EN ISO 7887:1995
- Determinación de grasas y aceites: UNE 77038:1983
- Análisis microbiológico: Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple (número más probable o NMP). Test presuntivo y test confirmativo; “Análisis por métodos estándar”.

3.4 Tratamientos de depuración aplicados

A la vista de los resultados obtenidos en los análisis de agua y según la Ley 10/1993 sobre vertido de líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la Comunidad de Madrid, se observa que algunos de los parámetros analizados superan los valores máximos instantáneos permitidos de contaminación. Esto, hace que su vertido directo a colector no sea posible.

Para reducir o eliminar esa carga contaminante se han aplicado diferentes tratamientos de depuración:

3.4.1. Coagulación –Floculación

Se ha preparado una disolución 2g/L de cloruro férrico (FeCl_3), se han tomado 100 ml de muestra de agua residual y se han añadido 15 ml de coagulante FeCl_3 sometiendo la mezcla a agitación durante unos minutos. El coagulante se ha añadido con una concentración de 260ppm, en la industria estos se emplean en concentraciones entre 50-350ppm. Se realizaron ensayos previos en Jar-Test, para determinar la cantidad exacta de agente coagulante para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial. Previamente se ajustó el pH del agua entre 6-8.

Posteriormente, para la floculación se ha preparado una disolución del floculante catiónico en emulsión inversa añadiendo 0,5 g a 200 g de agua de grifo y agitando en un agitador magnético a velocidad 3 durante unos minutos. Una vez preparado se añadió, sobre el agua sometida previamente a coagulación, un volumen de 2ml de floculante y se mantuvo en agitación durante unos minutos; pasado ese tiempo se observó la desaparición total de turbidez (Figuras 3.4 y 3.5). Posteriormente se midieron el color verdadero, DQO y la cantidad de aceites y grasas presentes en el agua coagulada y floculada.

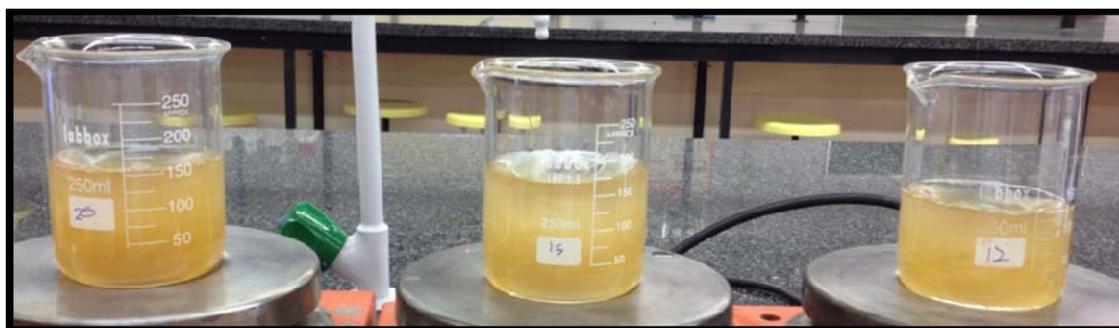


Figura 3.4: Agua residual antes del proceso de coagulación-floculación

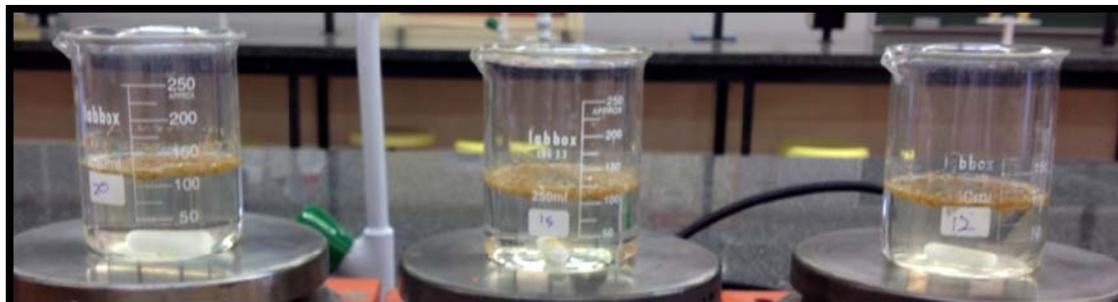


Figura 3.5: Agua residual después del proceso de coagulación-floculación.

3.4.2. Adsorción con carbón activado

En un erlemeyer esmerilado añadimos 100 ml de la muestra de agua residual inicial y 2 gr de carbón activo en polvo (empleado en la industria para tratamiento de pequeñas cantidades de agua) (Figura 3.6). A continuación se pone en agitación durante una hora sobre una placa agitadora a velocidad 5, transcurrido ese tiempo se filtra la muestra y se mide la DQO, aceites y grasas y color verdadero de la muestra tratada.



Figura 3.6: Adsorción con carbón activado en polvo

3.4.3. Tratamiento con lámpara ultravioleta

Se introduce una muestra del agua residual inicial a desinfectar (100 ml) en un vaso de precipitados, posteriormente se introduce en una lámpara ultravioleta con una

longitud de onda de 365 nm durante 2h analizando para confirmar la presencia de coliformes totales tras el tratamiento aplicado (Figura 3.7).

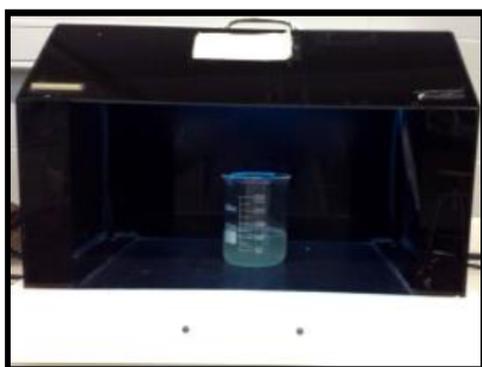


Figura 3.7: Tratamiento de desinfección mediante lámpara ultravioleta

4. Resultados

4.1 Caracterización inicial de las aguas residuales.

PARAMETRO	UNIDADES	Cantidad
Iones NH_4^{4+}	mg/l	0
Iones PO_4^{3-}	mg/l	0,91
Iones NO_3^-	mg/l	0
Iones NO_2^-	mg/l	0
Iones SO_4^{2-}	mg/l	200-400
Iones Fe (II) Fe^{2+}	mg/l	0
Cloro total	mg/l	1,3881
Cloro libre	mg/l	1,4121
Color aparente	Pt-Co	1350
Color verdadero	Pt-Co	800
pH		7,7
Temperatura	° C	22
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	626,7
Dureza	mg $\text{Ca}_2\text{CO}_3/\text{l}$	0,167

Ca ²⁺	mg/l	0,0668
DBO ₅	mg/l	3010
DQO	mg/l	7233
Aceites y grasas	mg/l	5826
Coliformes totales	nº bacterias coliformes/100ml	>1600

Tabla 4.1: Análisis inicial de las aguas residuales obtenidas en el proceso de reciclado de cartón

Analizada el agua residual obtenida en el proceso de reciclado del cartón se observaron, principalmente, la presencia de bacterias coliformes en número elevado (>1600/100ml).

La DQO, DBO₅ y la cantidad de aceites y grasas encontrados, supera los límites establecidos según la Ley10/1993 sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la Comunidad de Madrid, como se comentará en el apartado 5 de análisis de resultados.

Se observa elevado color del agua, una mineralización media en base a su conductividad y la presencia de iones sulfato en cantidad apreciable.

4.2 Análisis después del tratamiento de Coagulación-Floculación

PARAMETROS	UNIDADES	ANTES DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	DESPUÉS DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
COLOR VERDADERO	Pt-Co	800	220
DQO	mg/l	7233	7220
ACEITES Y GRASAS	mg/l	5826	3513

Tabla 4.2: Resultado después de tratamiento Primario de coagulación-floculación

Después del tratamiento primario de coagulación-floculación se observó una reducción en el color verdadero del agua y en la presencia de aceites y grasas. La DQO no se vio afectada.

4.3 Análisis después de Tratamiento de Adsorción con Carbón Activo

PARAMETROS	UNIDADES	CICLO 48 H ANTES DE TRATAMIENTO DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVO	CICLO 48 H ANTES DESPUÉS DE TRATAMIENTO DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVO
COLOR VERDADERO	Pt-Co	800	220
DQO	mg/l	7233	95
ACEITES Y GRASAS	mg/l	5826	0

Tabla 4.3: Resultado después de Tratamiento Terciario de adsorción con carbón activo en polvo

Después del tratamiento terciario de adsorción sobre carbón activo se observó una reducción de todos los parámetros considerados: color verdadero del agua, DQO y presencia de aceites y grasas, eliminándose estos últimos en su totalidad.

4.4 Análisis de Coliformes después de Tratamiento con Luz Ultravioleta

PARAMETRO	UNIDADES	Ciclo 48 h antes de tratamiento con U-V	Ciclo 48 h después de tratamiento con U-V
Coliformes totales	nº bacterias coliformes/100ml	>1600	900

Tabla 4.4 Resultado después de Tratamiento terciario de desinfección con lámpara Ultravioleta

Después del tratamiento terciario con luz ultravioleta, el número de bacterias coliformes presentes en el agua se vio reducido.

5. Análisis de resultados

Tras el análisis de las aguas residuales obtenidas se observó que la carga contaminante de las aguas era superior a los valores máximos instantáneos de los

parámetros de contaminación según la Ley 10/1993 sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la Comunidad de Madrid (Tabla 5.1), sobre todo en parámetros como DQO, DBO, y aceites y grasas. Esto es debido a la elevada extracción de contaminantes presentes en el cartón que se lleva a cabo durante el proceso de reciclado.

TEMPERATURA	< 40°
PH	6-9
Conductividad	5000 μ s/cm
Sólidos en suspensión	1000 ml/l
Aceites y grasas	100mg/l
DBO ₅	1000 mg/l
DQO	1750 mg/l

Tabla 5.1: Valores máximos instantáneos de los parámetros descontaminación.

Fuente: BOE 30-121993, Ley 10/1993. Vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento.

Por ello se decidió someterla a un proceso de coagulación-floculación y adsorción con carbón activo de forma independiente.

No se cuantificaron iones nitrato, sulfato, hierro. Las aguas tienen cantidades significativas de iones sulfato, debido principalmente a que el cartón reciclado proviene de pasta al sulfato, pasta Kraft (Vidal, Méndez and Lema, 1996). La carga en DQO y DBO₅ es muy elevada debido, esta última, a la cantidad de “finos”, fibras de celulosa rota, presente en el agua y formada durante el proceso de reciclado. Estos “finos” son materia orgánica biodegradable (Blanco, Negro and Tijero, 1998).

Cabe destacar que después de la realización del análisis presuntivo y confirmativo de coliformes, se observó la presencia de una elevadísima cantidad de estas bacterias extraídas del cartón, pero además, se comprobó, a través del test confirmativo realizado, que éstas correspondían a bacterias coliformes fecales.

Al llevarse a cabo la coagulación –floculación se consiguió una eliminación del 100% en la turbidez del agua. El color verdadero que se obtuvo en el agua era el

correspondiente a la propia agua del grifo jabonosa. Por lo que la contaminación debida al color, fue totalmente eliminada mediante este tratamiento.

Los aceites y grasas presentes en el agua se redujeron en un 40%, mientras que la DQO permaneció inalterada como cabía esperar.

Después del tratamiento químico terciario de adsorción con carbón activo, el color verdadero y la turbidez se eliminaron totalmente, los aceites y las grasas se eliminaron al 100% y la DQO descendió en un 98,6% hasta un valor de 95ppm.

Si comparamos las mejoras obtenidas mediante estos dos tratamientos, se podría evitar el tratamiento primario de coagulación-floculación (el cual aumenta en gran medida la conductividad del agua), obteniéndose una reducción importante en los parámetros considerados, con un proceso único de adsorción con carbón activo.

Por último, el resultado obtenido después del tratamiento de desinfección con lámpara ultravioleta concluye con una reducción significativa en la presencia de bacterias coliformes totales desde un valor superior a 1600 NMP/ 100ml hasta un valor de 900 NMP/ 100 ml.

Este proceso de desinfección debería ser estudiado con detenimiento para poder aumentar el porcentaje de reducción hasta valores permitidos por la Ley en función del uso posterior que se vaya a dar a las aguas.

6. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos inicialmente, con el análisis de las aguas del proceso de reciclado de cartón, se observa que el vertido de estas aguas a un colector municipal sin un tratamiento previo de depuración es imposible

Con el tratamiento terciario de adsorción con carbón activado los porcentajes de reducción de color, DQO, aceites y grasas son tan elevados que no sería necesario hacer anteriormente un tratamiento primario de coagulación-floculación a las aguas residuales.

Sería necesario someter las aguas a un tratamiento secundario en reactor biológico, aerobio o anaerobio, para la reducción de la DBO₅; pero habría que introducir

previamente la cantidad suficiente de nutrientes que se requiriesen para el proceso, puesto que las aguas no llevan nitratos.

Con el tratamiento terciario con lámpara ultravioleta se pueden eliminar los agentes patógenos que presentan las aguas, aunque esta técnica habría que desarrollarla para mejorar la desinfección (aumentar el tiempo de tratamiento, mejorar el contacto agua, luz UV, etc...).

7. Bibliografía

AENOR (1997): “Calidad del agua”. *Medioambiente Tomo I*. Madrid.

AENOR (1998): “Análisis de aguas en vertidos industriales”. *Medioambiente Tomo II*. Madrid.

APHA, AWWA, WPCF, (1992): “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.” *Ed. Díaz de Santos, S.A.* Madrid

BLANCO M. A, NEGRO C. and TIJERO J. (1998): “Paper Recycling: An introduction to problems and their solutions”. *Cost*, Luxemburg.

BOE 30-121993, Ley 10/1993” *Vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento*”.

NEGRO C., BLANCO M.A., GASPARI I. and TIJERO J. (1995): “El agua en la Industria papelera”. *Ed. Ingeniería Química*. Octubre.

POHJOLAINEN T. and ALCALA-GALIANO, A. (1998): “Gestión del agua en la Industria Papelera”. *Ed. Ingeniería Química*, Abril.

SANCHEZ LAFRAYA F. (1996): “Calidad y Medio Ambiente en la Industria de la Celulosa”. *Ed. Ingeniería Química*, Abril.

VIDAL G., MÉNDEZ R. and LEMA J.M. (1996): “Efluentes en el proceso Kraft”. *Ed. Ingeniería Química*, Abril.

<http://www.repacar.com>. *Asociación Española de recuperadores de Papel y Cartón: Historia de la recuperación de papel y cartón en España*.

<http://www.amigosdelatierra.com>. “*Reciclaje del Papel*”.

<http://www.aspapel.com>. *Asociación Española de papeleros*. “Dossier reciclaje de papel y cartón 2011”.

<http://www.cartonesamerica.com>. *Cartones America*. “Esquema de fabricación cartón corrugado”.