

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DE UNA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA OLEÍCOLA DE SISTEMAS DE DOS Y TRES FASES

Autores: J.M.Ochando-Pulido^{1(*)}, M. D. Víctor-Ortega¹, A. Martínez-Férez¹

(*) jmochandop@ugr.es

¹Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Granada, 18071 Granada, España

Resumen

La industria del aceite de oliva, una de las principales actividades agrícolas de los países de la cuenca mediterránea, genera grandes cantidades de efluentes contaminados caracterizados por un grado muy alto y variable de contaminantes, lo que conduce a una complejidad enorme en su tratamiento. Sólo en España esto plantea un volumen total de más de 9 millones de m³ al año.

En este trabajo, se realizó el tratamiento de OMW-2 y OMW-3 mediante un pretratamiento por un seguido de nanofiltración. Ambas corrientes se procesaron mediante los siguientes procesos de pretratamiento: (i) floculación pH - temperatura + ultrafiltración (UF), (ii) floculación pH - temperatura + fotocátalisis UV/TiO₂ + UF. Al final, se verificó el cumplimiento de las normas de descarga en alcantarillados municipales e irrigación.

Palabras clave

Flujo crítico, Fouling, Ultrafiltración, Agua residual oleícola, Depuración de aguas residuales.

1. Introducción

La industria del aceite de oliva, una de las principales actividades agrícolas de los países de la cuenca mediterránea, genera grandes cantidades de efluentes contaminados caracterizados por un grado muy alto y variable de contaminantes, lo que conduce a una complejidad enorme en su tratamiento. Sólo en España esto plantea un volumen total de más de 9 millones de m³ al año.

El sistema de dos fases parece ser más ecológico y por lo tanto ha sido fuertemente promovido en España (OMW - 2). Sin embargo, el sistema de tres fases (OMW -3) sigue sobreviviendo en otros países donde la escasez de apoyo financiero no ha permitido el cambio tecnológico (**Tabla 1** y **Tabla 2**).

El ensuciamiento de las membranas juega un papel clave durante la operación, aumentando de los costos operativos y energéticos, así como frecuentes paradas para limpiezas in situ y también acortamiento de la vida útil. Por lo tanto, el control de incrustaciones es clave para aumentar la rentabilidad y la competitividad de esta tecnología. Field y Pierce (2011) introdujeron por primera vez el concepto de flujo crítico para las membranas de MF, que se define como el flujo de permeado por debajo del cual el ensuciamiento no se observa de inmediato, y también se identificaron después valores de flujo críticos en membranas de UF y NF (Mänttari y Nystöm, 2000; Stoller y Chianese, 2006; Stoller, 2011).

Tabla 1

Caudales de efluentes residuales producidos en los procesos productivos de aceite de oliva en continuo.

Caudales, L kg ⁻¹	Sistema de extracción de 3 fases	Sistema de extracción de 2 fases
Lavado de aceitunas (OWW)	0.06	0.05
Centrífuga horizontal	0.90	0
Centrífuga vertical	0.20	0.15
Limpieza	0.05	0.05
<i>Total</i>	1.21	0.25

Tabla 2

Características de los efluentes residuales de los procesos productivos de aceite de oliva en continuo y discontinuo.

Process	ID	DQO, g O ₂ L ⁻¹	DBO ₅ , g O ₂ L ⁻¹	Tss, g L ⁻¹	pH	EC, mS cm ⁻¹	TPh, g L ⁻¹
Limpieza aceitunas	OWW	0.8 - 2.2	0.3 - 1.5	8 - 18	5.5 - 6.6	2.5 - 3.0	0 - 0.1
Extracción discontinuo	OMW-P	130 - 130	90 - 100	10 - 12	4.5 - 5.0	2.0 - 5.0	1.0 - 2.4
3 fases	OMW-3	30 - 220	5 - 45	5 - 35	3.5 - 5.5	2.0 - 7.9	0.3 - 7.5
2 fases	OMW-2	4 - 18	0.8 - 6.0	2 - 7	3.5 - 6.0	1.5 - 2.5	0.1 - 1.0

Los valores de flujo de umbral pueden ser potenciados por los procesos de pretratamiento de aguas residuales adecuadamente adaptados y con condiciones de funcionamiento optimizados.

En este trabajo, se realizó el tratamiento de OMW-2 y OMW-3 mediante un pretratamiento por un seguido de nanofiltración. Ambas corrientes se procesaron mediante los siguientes procesos de pretratamiento: (i) floculación pH - temperatura + ultrafiltración (UF), (ii) floculación pH - temperatura + fotocatalisis UV/TiO₂ + UF. Al final, se verificó el cumplimiento de las normas de descarga en alcantarillados municipales e irrigación.

2. Materiales y métodos

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), compuestos fenólicos totales (TPh), sólidos en suspensión totales (Tss), electroconductividad (EC) y pH se midieron siguiendo métodos estandarizados (Greenberg et al., 1992). Todos los métodos analíticos se repitieron por triplicado y se utilizaron reactivos de pureza analítica: 70 % (p/p) HNO₃, 98 % (p/p) NaOH, 98 % (p/p) Na₂SO₃, 30 % (p/p) NH₄OH, 37 % (p/p) HCl y 30 % (p/p) FeCl₃, de Panreac, y 70 % (p/w) TiO₂ P-25 de Degussa.

El equipo de filtración tangencial por membranas a escala planta piloto se muestra en la **Figura 1**, y las características de la membrana utilizada en el presente estudio se reportan en la **Tabla 3**. Finalmente, las características de las muestras de aguas residuales empleadas en este estudio se pueden consultar en la **Tabla 4**.

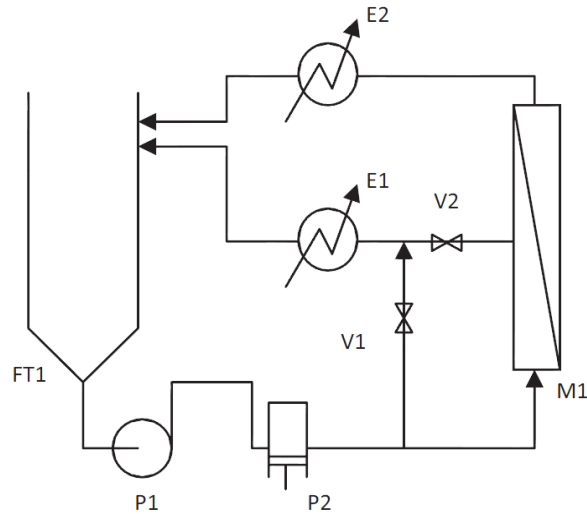


Figura 1. Diagrama de flujo del equipo de filtración por membranas escala planta piloto, FT₁: tanque de alimentación, P₁: bomba de pistones, P₂: bomba volumétrica, V₁: válvula de regulación de bypass, V₂: válvula de regulación del retenido, E₁ and E₂: cambiadores de calor, M₁: módulo de membrana en espiral.

Tabla 3

Características de la membrana de UF seleccionada (fuente: proveedor).

Parámetros	
Modelo	GM2540F
Proveedor	GE Water & Process Tech.
Superficie, m ²	2.5
Permeabilidad (K _w), L h ⁻¹ m ⁻² bar ⁻¹	5.2 ± 0.5
Configuración	Espiral
Estructura química	Compuesta (TFC)
Composición química	Poliamida/polisulfona
MWCO, kDa	8
Tamaño de poro medio, nm	2
Máxima presión, bar	16
Máxima temperatura, °C	50
Rango de pH	1 - 11

Tabla 4

Composición físico-química de los efluentes estudiados iniciales y tras pretratamiento (pt).

Parámetros	OMW-2	OMW-3	OMW-2/pt	OMW-3/pt
pH	4.9 - 5.1	5.1 - 5.2	2.9	3.2
Tss, g L ⁻¹	3.1 - 5.8	32.6 - 33.0	1.15	5.1
DQO, g L ⁻¹	16.4 - 16.6	32.1 - 32.4	11.1	15.2
TPh, mg L ⁻¹	181 - 184	915 - 921	139	723

3. Resultados y discusión

De acuerdo a la teoría del flujo crítico, la membrana no sufre pérdida de Permeabilidad cuando se trabaja por debajo de las condiciones de operación críticas ($J_c - P_c$) (eq. 1), mientras que si éstas se superan se observará una pérdida de permeabilidad en la membrana que viene marcada por el índice de fouling b (eq. 2):

$$dm/dt = 0; J_p(t) \leq J_c \quad (1)$$

$$dm/dt = -b \cdot (J_p(t) - J_c); J_p(t) > J_c \quad (2)$$

donde $J_p(t)$ y J_c representan el flujo de permeado en un tiempo determinado y el flujo crítico, respectivamente ($L h^{-1}m^{-2}$), y b es el *índice de fouling* (Field y Pierce, 2011; Stoller, 2011).

Como se puede observar, el valor de flujo de permeado observado experimentalmente (J_{ss}) se aproxima significativamente al valor de flujo crítico (J_c) predicho por el modelo para ambas aguas. Además, se consiguieron altos valores de recuperación (Y) así como eficiencias muy considerable de rechazo de materia orgánica (R_{COD}) en las condiciones críticas analizadas y aplicadas, del 48.5 % y 28.2 % respectivamente.

Tabla 5

Análisis de los parámetros de la etapa de UF.

Feedstock	P_c , bar	J_c , $L h^{-1}m^{-2}$	J_{ss} , $L h^{-1}m^{-2}$	R_{COD} , %	Y , %
OMW-2/pt	9	9.4	9.6	48.5	88.1
OMW-3/pt	4	0.8	0.6	28.2	74.5

En conclusión, esta etapa de UF es apta como fase de pretratamiento por membranas para la depuración final de estos efluentes, más eficiente si cabe para OMW-2. El acoplamiento de una membrana de NF podría conseguir los niveles de depuración deseados para poder reutilizar estos efluentes para regadío ($DQO < 1000 mg O_2 L^{-1}$).

4. Conclusiones

El proceso de UF estudiado es apto como fase de pretratamiento por membranas para la depuración final de estos efluentes, más eficiente si cabe para OMW-2. El acoplamiento de una membrana de NF podría conseguir los niveles de depuración deseados para poder reutilizar estos efluentes para regadío ($DQO < 1000 mg O_2 L^{-1}$). La elección de las condiciones de operación por debajo de las variables críticas es clave para la optimización del proceso en continuo para el escalado industrial.

Referencias

- Greenberg, A. E., Clesceri, L.S. (1991). A.D. Eaton, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA/AWWA/WEF, 16th ed., 1992 Washington DC. Cabs.
- Field, R.W., Pearce, G. K. (2011). Adv. Colloid Interface Sci. 164, 38-44.
- Mänttari, M., Nystörm, M. (2000) J. Membr. Sci. 170, 257-273.
- Stoller, M. Chianese, A. (2006) Desalination 191, 62-70.
- Stoller, M. (2011). Chem. Eng. J. 168, 1140-1148.