

Resum

Diversos mètodes de tractament convencionals han sigut usats per a depuració de les aigües residuals de diferents processos de fàbriques de cel·lulosa i paper. No obstant això, previs estudis i aplicacions han demostrat que els mètodes convencionals no són íntegrament capaços de complir amb les normatives mediambientals, que es fan cada dia més estrictes respecte a la qualitat dels efluent i / o perquè l'aigua es reutilitzi en el procés (Shankar et al., 2014).

Davant la necessitat d'optimitzar tal procés, la tecnologia de separació mitjançant membranes ha atret cada vegada més atenció com una forma alternativa i eficaç de tractar les aigües residuals de les fàbriques de paper.

Algunes plantes de nanofiltració (NF), ultrafiltració (UF) i osmosi inversa (RO) s'han instal·lat en la indústria paperera com a tractament terciari a fi augmentar la qualitat de l'efluent a abocar o reutilitzar. Entre els principals avantatges de la tecnologia de separació per membranes es troben: baix requeriment energètic, operació simplificada, reducció de la petjada de carboni i poden combinar-se fàcilment amb altres processos de separació.

Molts informes científics han demostrat l'aplicabilitat de la tecnologia per membrana a les aigües residuals de les fàbriques de cel·lulosa i paper (Pokhrel and Viraraghavan, 2004a). A més, la UF pot ser utilitzada com un tractament terciari avançat per a eliminar sòlids suspesos i, substàncies dissoltes i col·loïdals (DCS) durant el tractament d'efluents de la indústria paperera.

No obstant això, el embrutiment de les membranes és un inconvenient important que limita les aplicacions de UF a gran escala, i en l'actualitat aquesta tecnologia de tractament sol es pot utilitzar per a filtrar efluent de la indústria paperera pre-tractats i que complisquen amb els estàndards de descàrrega (Puro et al., 2011b). Per tant, a fi de minimitzar el fenomen de embrutiment de les membranes, és important comprendre l'efecte de les condicions d'operació, dels mecanismes de embrutiment i investigar la composició química de substàncies contaminants de les membranes.

L'objectiu general d'aquesta investigació es va dividir en tres parts principals: **i)** descriu com trobar les condicions òptimes d'operació de quatre paràmetres de procés: pressió transmembrana (TMP), velocitat de flux creuat (CFV), temperatura i tall de pes molecular (MWCO) per a maximitzar el flux mitjà de permeat (\bar{J}_p) i rebuig de la

demanda química d'oxigen (COD) i minimitzar el descens del flux de permeado acumulat (SFD) utilitzant el mètode de Taguchi (Design Robust) i utility concept aplicat a un procés de UF a flux creuat en escala pilot, per a remoure DCS d'efluents tractats de la indústria paperera (PMTE), *ii*) el descens del flux de permeat i els mecanismes de embrutiment (fouling) de les membranes de UF embrutades amb PMTE es van examinar mitjançant models matemàtics semi-empírics. Els resultats per als diferents assajos de UF es van expressar en termes de variació del flux de permeat (J_p) en funció del temps per a verificar la precisió de l'ajust (major valor de R^2 i menor valor de desviació estàndard) dels diferents models de Hermia adaptats a flux tangencial i del model de formació de coca en filtració a pressió constant ajustats a les dades experimentals, *iii*) descriu mètodes d'identificació, caracterització i possibles orígens de les substàncies contaminants (foulants) en les membranes de UF. Tècniques com l'anàlisi física-química, FESEM, SEM-EDS, ATR-FTIR i 3DEEM es van dur a terme per a comprendre quina fracció dels contaminants són responsables per la formació d'incrustacions sobre la superfície i adsorció dins dels porus de les membranes.

Els resultats obtinguts durant l'etapa d'optimització de paràmetres del processos van demostrar que TMP i MWCO tenen la major contribució en el \bar{J}_p i SFD. En el cas de la taxa de rebuig de COD, els resultats van mostrar que *MWCO té la major contribució seguida de CFV. Per consegüent, les condicions òptimes es van trobar per al segon nivell de TMP (2.0 bar), el tercer nivell del CFV (1.041 m/s), el segon nivell de la temperatura (15°C) i el tercer nivell de MWCO (100 kDa). Sota aquestes condicions òptimes d'operació \bar{J}_p , rebuig de COD i SFD van aconseguir respostes de 81.15 L/m².h, 43.90% i 6.01 (al voltant de 28.96% per a \overline{FD}), respectivament, valors dins del rang previst de l'interval de confiança del 95%.

A més, els models de Hermia adaptats a UF en flux tangencial van ser capaços de predir amb gran precisió el descens del J_p i els mecanismes de embrutiment en funció del temps per a totes les membranes seleccionades (10, 30 i 100 kDa) i baix diferents condicions assajades de UF. Per tant, els models que presenten un major grau d'ajust són el bloqueig complet de porus (coeficient de determinació $R^2 > 0.97$) i bloqueig intermedi ($R^2 > 0.96$), seguit pel model de formació de coca ($R^2 > 0.94$), la qual cosa indica que estigues són els principals mecanismes de embrutiment de les membranes. Val la pena esmentar que mesuraments de la distribució de la grandària de partícula i potencial zeta (prop del punt isoelèctric), confirmen una reducció substancial en els compostos col·loïdals.

Anàlisi de 3DEEM van revelar que la majoria de la matèria orgànica fluorescentes en les membranes brutes eren proteïnes col·loïdals (components similars a proteïnes I + II) i proteïnes macromoleculares (components similars a SMP). A més, polisacàrids (espècie cel·lulòsica) i substàncies com a àcids grassos i resinosos van ser identificades en les membranes contaminades mitjançant anàlisis ATR-FTIR, tals substàncies exerceixen un paper important en el embrutiment de les membranes. Per fi, anàlisi SEM-EDS per a les membranes embrutades amb PMTE es va detectar concentració de contaminants inorgànics (ions metàl·lics multivalents) especialment el Ca^{2+} que podria accelerar la formació coca en la àrea de la membrana.