

# **AVALUACIÓ DEL FUNCIONAMENT DELS EQUIPS PILOTS DE ULTRAFILTRACIÓ I OSMOSI INVERSA EN EL TRACTAMENT AVANÇAT DE L'EFLUENT DE LA PLANTA DEPURADORA DE CASTELL- PLATJA D'ARO.**

Conveni CCB - teqma - 31/10/03 - Instal·lació pilot regeneració d'aigües.

## **RESUM**

El Consorci de la Costa Brava i l'empresa teqma, varen establir un conveni de col·laboració per dur a terme experiències pilot en el camp del tractament avançat de les aigües residuals, amb tecnologies de membrana.

Per a la realització de les proves teqma va proporcionar una planta pilot d'ultrafiltració i una planta pilot d'osmosi inversa, muntades en l'interior d'un contenidor de 20 peus, fabricades per la companyia alemanya WWWs amb membranes subministrades per l'empresa Koch. Les proves es realitzaren des de finals del mes de Gener fins finals del mes d'Agost a l'EDAR de Castell-Platja d'Aro, processant diferents condicions de l'efluent secundari.

L'anàlisi dels resultats de les proves ha permès definir la qualitat assolible amb aquest tipus de tractament així com avaluar la resposta del sistema a les variacions de la qualitat del aigua procedent del tractament secundari, tot i definint els criteris d'exploració a seguir.

Finalment l'estudi ha permès realitzar una projecció dels costos d'inversió i d'exploració, utilitzant els resultats obtinguts amb l'experiència realitzada per al disseny d'una planta d'escala real.

## **INTRODUCCIÓ**

Proposta e interès del CCB i teqma en la realització de les proves.

El Consorci de la Costa Brava va proposar la realització d'un projecte pilot amb membranes per tal de poder analitzar i valorar les possibilitats d'un tractament avançat de les aigües residuals tractades en les plantes depuradores de la anomenada zona Nord. Teqma es va mostrar interessada des de el principi en la participació i desenvolupament del projecte valorant molt positivament l'oportunitat d'aproximar-se a les tecnologies de membrana des de una experiència d'escala semi-industrial amb col·laboració amb el Consorci, entitat de reconegut prestigi i experiència en el mon de la reutilització.

Interessos genèrics. Aplicabilitat tecnologies de membrana (UF i MF+OI) en la regeneració d'aigües tractades.

El principal interès ha estat valorar l'aplicabilitat real de les anomenades tecnologies de membrana (Microfiltració, Ultrafiltració i Osmosi Inversa) en la regeneració d'efluents tractats per els usos més exigents.

A l'hora de realitzar el present estudi, es comptava ja amb diferents experiències a escala pilot e industrial arreu del món. No obstant es raonable considerar que, donat els costos d'implantació associats a aquest tipus d'instal·lacions i les variacions en dimensionat i condicions d'explotació en funció de les característiques pròpies de les aigües a tractar, es convenient comptar amb una experiència pilot prèvia, sobre el terreny.

El treball que es presenta es, per tant, una aproximació a escala semi-industrial de l'aplicació de les tecnologies de membrana, que pretén avaluar diferents aspectes que són finalment crucials per poder predir el comportament del sistema davant de variacions de qualitat: comportament del flux, necessitats de neteges, variacions en la qualitat assolible, límits de la aplicació. Tot això, junt amb l'experiència del dia a dia de la planta pilot ha permès generar informació pràctica per poder desenvolupar futures aplicacions.

El Conveni de Col·laboració establert entre ambdues entitats ha permès el desenvolupament de les proves durant aquest mesos definint el paper de cada un dels participants. A demés s'ha comptat en la realització pràctica de les proves amb l'ajuda i el recolzament de l'empresa Searsa, explotadora actual de la planta depuradora de Castell Platja d'Aro.

Paper definit dels participants:

ConSORCI de la Costa Brava:

Co-espònsor del projecte, disseny, coordinació, supervisió, co-redacció informe final.

teqma

Co-espònsor del projecte, disseny, coordinació, supervisió, aspectes econòmics i administratius, contractació personal per al seguiment diari de l'operativa de la planta paràmetres físic-químics i microbiològics bàsics, co-redacció informe final.

- Estudi previ (screening) de l'efluent secundari de la Edar de Castell- Platja d'Aro.
- Proposta i selecció de la tecnologia de membranes adoptada.
- Subministrament de la planta pilot de membranes.
- Supervisió tècnica del projecte.
- Contracte i tutela de personal d'operació la planta pilot (Sònia Costa).
- Control administratiu i pressupostari del projecte.
- Contractació dels serveis del Departament de Microbiologia de L'Universitat de Barcelona a través de la fundació Bosch i Guimpera.
- Contractació dels serveis del Departament de Química Analítica de L'Universitat de Girona.
- Organització de reunions tècniques amb els diferents implicats per planificar les proves i discutir els resultats per possibles modificacions del procés.
- Direcció tècnica de les proves.
- Anàlisi de operació de les plantes i modificacions de funcionament.
- Informació de l'operativa i resultats obtinguts amb els tecnòlegs de membranes.
- Recopilació de les dades operatives i analítiques.
- Redacció del present document d'Avaluació de les Proves realitzades.
- Participació en l'anàlisi dels resultats obtinguts.

**SEARSA**

Manteniment i supervisió rutinària dels equips.  
Anàlisis físic - químics

Departament de Química Analítica - Universitat de Girona  
Seguiment de microcontaminants orgànics.

Departament de Microbiologia – Universitat de Barcelona  
Microbiologia avançada.

**Descripció de les tecnologies de membrana emprades a l'estudi.**

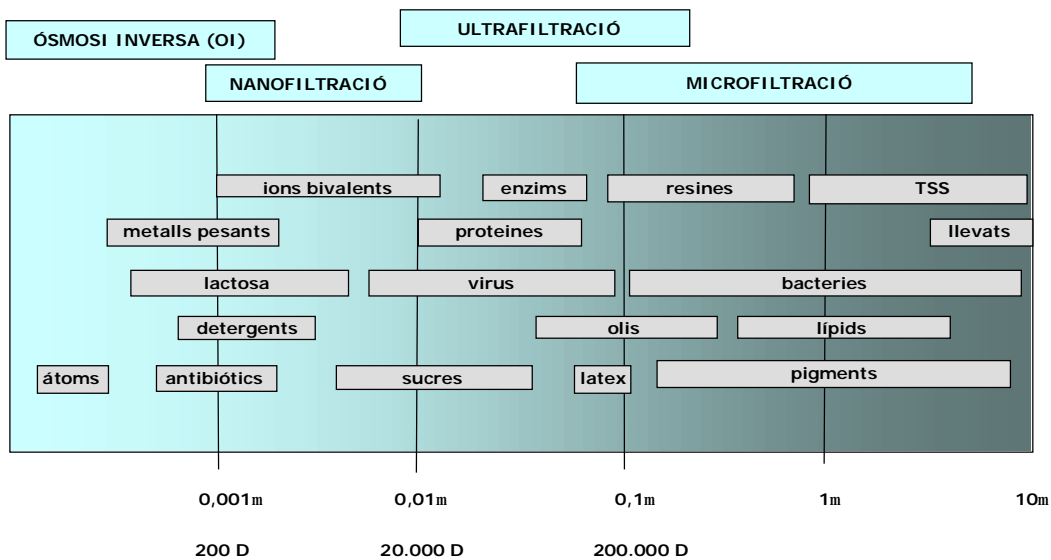
Mides de partícules i molècules (talls moleculars) que es poden retenir de l'efluent secundari amb diferents tipus de membranes.

Les membranes son elements sintètics que, interposats en el flux d'un fluid, tenen la capacitat de retenir partícules sòlides, semi - sòlides, microorganismes, formes vegetatives, formes de propagació i resistència, molècules orgàniques e inorgàniques i, fins i tot, àtoms e ions.

Els efectes que determinen la funció de retenció de les membranes son múltiples el que determina un univers de diferents aplicacions:

- efectes mecànics de selecció de la mida de les partícules per mida de porus
- fenòmens de pre-cap
- efectes de càrrega elèctrica i electrostàtica de partícules
- efectes d'afinitat química molecular.

En l'esquema que es presenta a continuació es dona una idea de les diferents espècies que cada tipus de membrana es capaç de retenir.



Les fronteres entre els diferents tipus de membranes són sovint confuses i es solapen ja que, finalment depenen de consideracions tecnològiques pròpies de cada fabricant.

Les capacitats de retenció de les diferents membranes, es poden expressar de diferent forma, bé referint-se a la mida de les partícules retingudes (micres, dècimes, centèsims i mil·lèsimes de micra) o bé al pes molecular.

El concepte de tall molecular fa referència a aquesta última consideració. Així parlem que l'Ultrafiltració queda acotada entre els 20.000 i 200.000 Dalton en tant que l'osmosi inversa reté ions i d'altres espècies per sota dels centenars de Dalton.

Cal però prendre amb certa prudència totes aquestes indicacions ja que habitualment es parla de capacitats de retenció nominals i no absolutes. En altres paraules, les membranes deixen passar un cert percentatge de partícules de mides més grans a les que s'indiquen de forma nominal.

El fabricant dona una garantia que inclou el concepte estadístic de mida de partícula i porus i/o afinitat química i electrostàtica.

Per una determinada aplicació, com és ara l'ús de les membranes per a la reutilització d'efluents, i una vegada definida la qualitat desitjada, atenent a les característiques indicades per un determinant fabricat, podem escollir un tipus de membranes que necessitem. Això té, no obstant, les seves limitacions pràctiques i operatives.

Limitacions d'ús directe de membranes d'OI.

Un efluent secundari, encara que ofereixi una molt bona qualitat, no permet l'ús directe de les membranes d'O.I. L'índex d'embussament SDI (Silt Density Index) valora el contingut de col·loids i d'altres espècies químiques que poden determinar problemes de permeabilitat de la membrana, havent-se de trobar-se per sota d'un determinat valor per permetre l'aplicació. De no respectar-se aquesta condició, l'osmosi es pot col·lapsar en poques hores, determinant un augment de la freqüència de les neteges intensives, complicant l'aplicació fins el punt de fer-la inviable.

Concepte de protecció de l'OI amb MF i UF d'efluent secundari.

Per aquesta raó, quan pensem en una reutilització on les qualitats que s'han d'assolir impliquen l'ús d'una osmosi, es precis garantir l'absència de col·loids a l'efluent. Neix, d'aquesta forma el concepte de protecció, utilitzant un sistema de filtració amb membranes de l'efluent del secundari previ que permetin garantir unes condicions de qualitat estables i suficients per el correcte treball de l'osmosi (a la pràctica un SDI suficientment baix). Aquesta necessitat pràctica, determina un encariment important dels costos d'inversió i explotació de les reutilitzacions d'aigües residuals, fent-les, per altra banda tècnicament possibles des de el punt de vista operatiu.

En el cas que ens ocupa, es varen tenir en compte les característiques de l'efluent a tractar valorant les diferents tecnologies de membrana disponibles. Finalment es va optar per realitzar les proves protegint l'osmosi inversa amb un sistema de membranes d'ultrafiltració, com es descriu amb més detall a continuació.

### L' Ultrafiltració (UF)

Les membranes d'UF utilitzades en les proves son del fabricant americà Koch i tenen les següents característiques tècniques

Material de fabricació: Polisulfones  
Configuració: Fibra buida  
Llum de les fibres: 1.1 mm  
Tall molecular : 100.000 Dalton

El conjunt de 1715 fibres tubulars d'un metre de longitud, es troben fixades en els extrems oberts d'un cilindre plàstic. L'aigua bruta passa per la llum interior de les fibres (obertes per ambdós extrems) i surt, ultrafiltrada per tota la superfície externa dels tubs, conduint-se a través dos sortides a la línia de permeat.

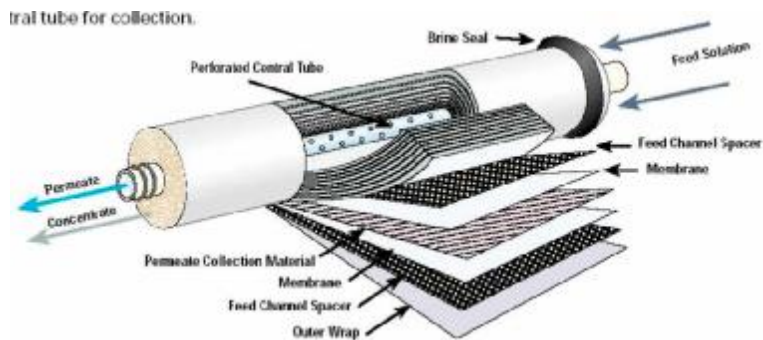


El mòdul utilitzat presenta una superfície total d'ultrafiltració de 6,1 m<sup>2</sup>. Entre les principals característiques operatives es pot destacar que és fàcilment desmuntable i completament transparent, el que facilita el seguiment visual del procés.

### L'Osmosi Inversa (OI)

La membrana emprada en les proves d'osmosi es de tipus pla i és fabricada en Poliamida. És aquest el material que amb més freqüència s'utilitza actualment per les nombroses avantatges que presenta respecte de les clàssiques membranes d'acetat de cel·lulosa que necessiten treballar amb pressions més elevades.

Tal i com es representa a l'esquema que segueix, la conformació del mòdul es realitza gràcies a l'enrotllament espiral de la membrana junt amb un element intermedi que permet mantenir la distància entre les membranes.



Altres característiques destacades són:

- Gruix de la membrana: 1.1 mm
- Pressió de treball: ultra baixa pressió (100 psi)
- Superfície: 7,3 m<sup>2</sup>
- Fabricant: Koch

## DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA PILOT

L'Ultrafiltració i l'Osmosi Inversa, es disposen a l'interior d'un contenidor de 22 peus (6 metres) amb dos accessos laterals, preparat amb una taula per l'operador, llum i calefacció.



La major part del contenidor era ocupada per la planta pilot d'UF muntada sobre un bastidor d'inoxidable.



La planta pilot d'osmosi inversa, fou muntada directament sobre la paret interior del contenidor, pròxima al dipòsit de sortida de l'UF. Una bomba submergible instal·lada alternativament en diferents dipòsits propers a la planta pilot va assegurar el subministrament de les aigües residuals tractades procedents del secundari o bé filtrades o coagulades i filtrades.

L'Ultrafiltració es va dimensionar per poder tractar un cabal màxim de 500l/h en tant que la osmosi inversa permetia tractar un cabal màxim de 300 l/h.

L'operació de les plantes es va programar de forma automàtica per treballar les 24h.

Un "data logger", sistema d'adquisició automàtic programable, ha permès recollir les dades de procés de l'UF amb un mostreig intensiu cada 5-10-30 minuts.

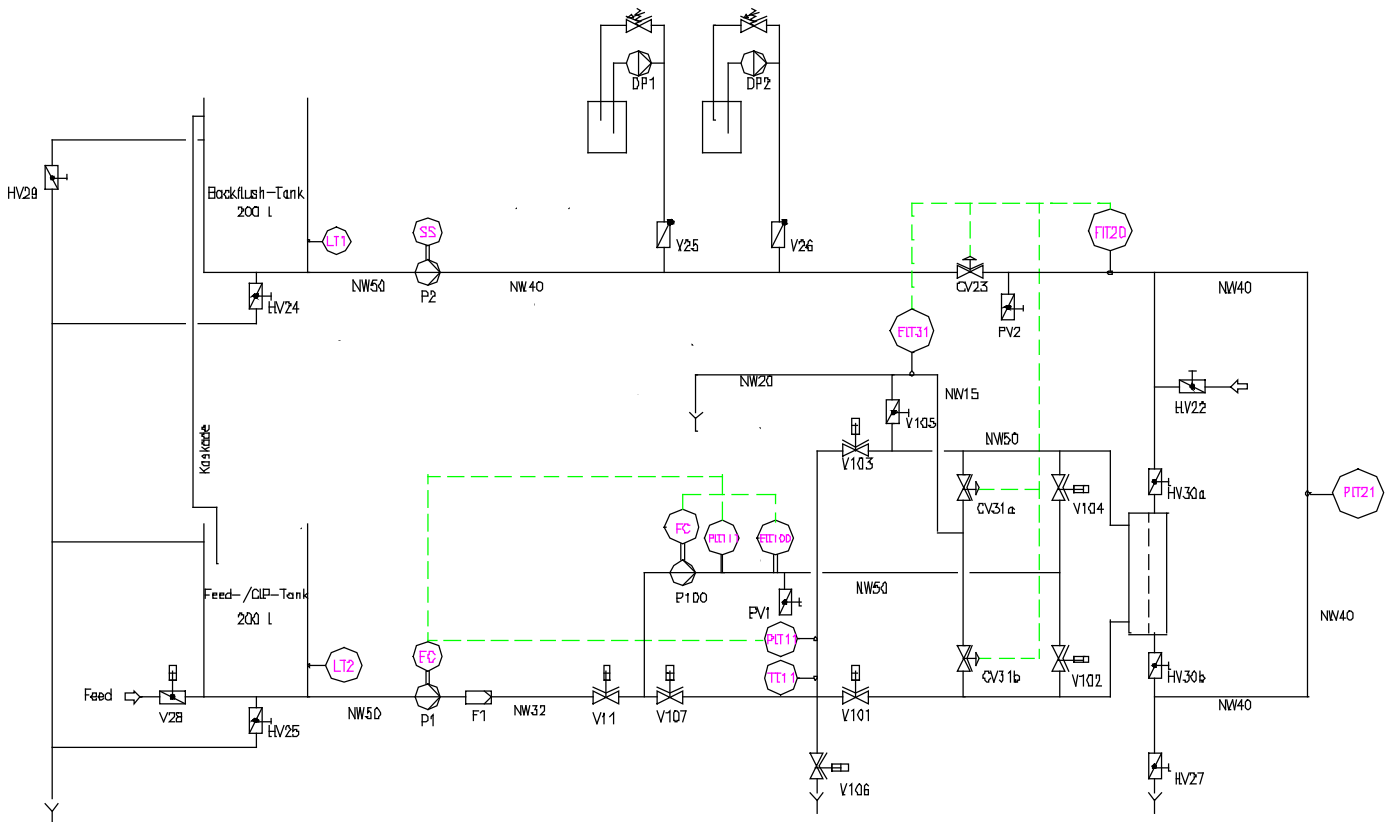
## Descripció dels equips

### L'UF

La planta d'ultrafiltració es una instal·lació preparada per realitzar tests amb diferents productes, tipus de membranes y modus d'operació.

Essencialment consisteix en un sistema d'alimentació al mòdul de membranes que depèn d'un llaç de control establert sobre la pressió i/o cabal de la producció (permeat) de la planta. Compta també amb un sistema de neteja programable.

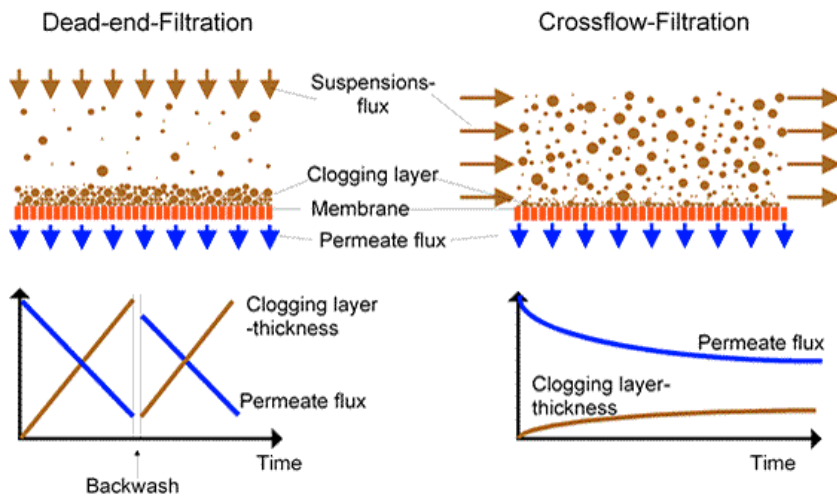
Tal i com es mostra en el següent esquema, l'alimentació es realitza des de un tanc de aigua bruta (efluent secundari) de 200l que, a través d'una bomba P1 alimenta un circuit de recirculació impulsat per la bomba P100 que treballa directament sobre la membrana d'UF. La producció es recull en un dipòsit que s'utilitza també com magatzem per poder realitzar els contra-rentats (backflush) i els diferents tipus de neteges intensives.



El sistema pot treballar bàsicament en dos diferents modus d'operació:

**Alimentació a la mebrana sense recirculació (dead end):** El fluxe d'alimentació a la mebrana i el de producció coincideixen essent perpendiculars a la mebrana. És energèticament més econòmic però té l'inconvenient de que afavoreix l'embrutiment de la mebrana i pèrdua de producció, obligant a regeneracions i neteges contínues.

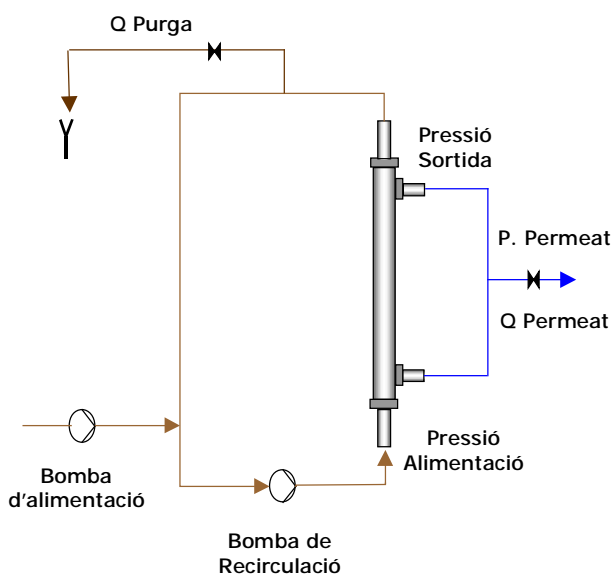
**Alimentació a la mebrana amb fluxe tangencial amb recirculació (crossflow):** En aquest modus d'operació, el fluxe principal de l'aigua bruta és paral·lel a la mebrana. La diferència de pressió entre els dos costats de la mebrana és la que permet que s'estableixi un fluxe de producció. L'embrutiment de la mebrana és més progressiu i lent que en el cas anterior, podent-se netejar amb més facilitat.



El modus d'operació escollit, ha de tenir en compte els possibles problemes derivats del tipus de producte a processar. En el nostre cas, l'aigua residual tindrà tendència a provocar embrutiment de les membranes amb partícules i col·loids. El anomenat "fouling" es de fet la deposició de material en la superfície de la membrana que redueix la producció de permeat.

Es per aquesta raó que els sistemes de membranes que treballen amb aigües residuals habitualment s'operen en condicions de fluxe tangencial (cross flow).

En l'esquema que es presenta a continuació, es representen els principals paràmetres que intervenen en la fase de producció de l'UF en modus de fluxe tangencial.



Com s'entén, el cabal de permeat es la diferència entre el de alimentació i el de purga. Quan la membrana es completament neta, el cabal de permeat té tendència a

ser més elevat que quan es bruta. Per garantir un embrutiment progressiu mínim, el llaç de control s'oposa a aquesta tendència natural, limitant, en un principi, la producció de permeat, al generar una contrapressió en aquest costat del sistema (modulant el tancament d'una vàlvula). Conforme la membrana s'embruta la contrapressió en el costat del permeat s'alleugereix afavorint la producció i millorant el fluxe. D'aquesta forma el llaç de control manté una producció de permeat constant durant el cicle productiu. És aquesta una característica pròpia del fabricant escollit per a realitzar les proves.

Quant l'embrutiment de la membrana es tal que ja no es possible augmentar la producció disminuint la contrapressió del permeat, es precis realitzar una neteja de la membrana. El temps de cicle productiu, entre contra-rentats és variable i es fitxa empíricament sobre els 30 minuts.

La neteja que es realitza de forma periòdica entre períodes productius, s'anomena contra-rentat (backflush). Consisteix en fer passar el permeat en sentit invers al de producció durant un curt període de temps desprenent la brutícia acumulada en el costat de la membrana que alimenta l'aigua bruta. Finalment s'arrossegueu i s'eliminen les partícules que es desprenen de la membrana, fent passar aigua en fluxe tangencial durant uns segons.

Es poden també fixar neteges més intensives cada x cicles productius afegint a l'aigua de neteja hipoclorit (per evitar "fouling" biològic) o cítric, per evitar precipitacions salines de tipus carbonatíc en el costat de la membrana.

Per altra banda, el cabal de recirculació es fitxa de forma proporcional a la tendència a l'embrutiment que l'aigua té.

Per valorar el funcionament del sistema d'UF i la seva productivitat, s'estudia l'evolució de dos paràmetres:

El Flux, que es defineix com el cabal de permeat produït per unitat de superfície de membrana, expressat com  $l/m^2h$  (=lmh) i que ens dona una idea de l'estat de neteja de la membrana. És proporcional a la pressió del aigua bruta i a la seva temperatura.

TMP Pressió transmembrana que es una mesura del diferencial de pressió entre ambdós costats de la membrana d'UF. En el cas de treballar en fluxe tangencial es defineix com:

$$TMP = (\text{Pressió a l'entrada del mòdul} - \text{Pressió a la sortida}) / 2 - \text{Pressió de permeat.}$$

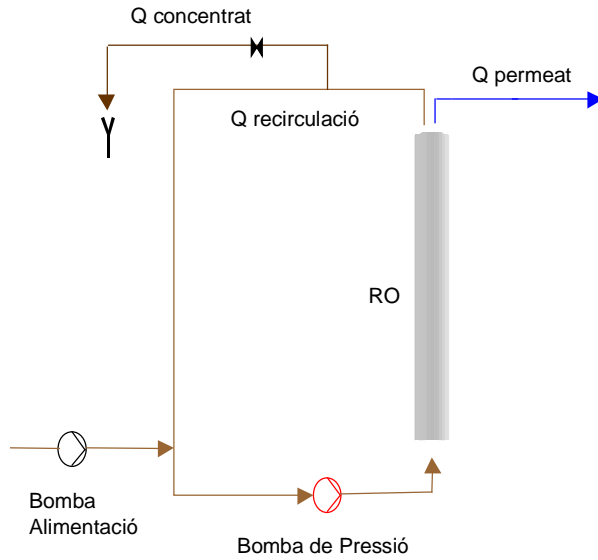
Amb aquest dos paràmetres es possible seguir l'evolució de la producció de la membrana en el temps. En l'equip pilot, un datalogger registra els valors que després hem tabulat per interpretar els diferents episodis.

## L'OI

Principi de funcionament.

De forma molt similar al cas anterior, les membranes d'OI treballen també amb fluxe tangencial com s'indica en l'esquema que segueix. La regulació de la producció es

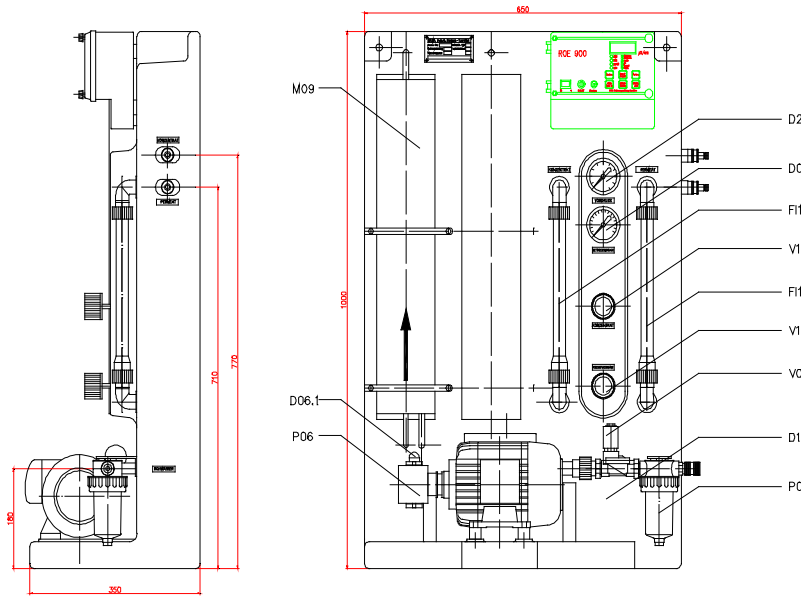
realitza a través del control del cabal de recirculació (concentració) y del cabal de purga (concentrat).



Les neteges es realitzen en aquest cas de forma programada sobre la base de la caiguda de producció de la membrana. En funció de les característiques incrustants de l'aigua a processar es convenient dosificar en continu un anti – incrustant.

A continuació es mostra l'equip de proves instal·lat a la sortida del permeat de l'UF.





## RESULTATS ANALÍTICS.

A continuació, s'indiquen els diferents paràmetres que s'han analitzat al llarg del pilotatge així com la procedència de les analítiques.

La metodologia emprada, detalls relatius a la presa de les mostres e interpretacions dels resultats seran objecte d'un estudi paral·lel que es realitza conjuntament amb el Consorci de la Costa Brava.

### Laboratori de l'EDAR de Castell d'Aro (CCB)

Paràmetres físic-químics: Temperatura, pH, CE, Turbidesa, T254, MES, oxigen dissolt.  
Paràmetres microbiològics: coliformes totals, coliforms fecals i estreptococs fecals.

Freqüència pràcticament diària.

### Laboratori de l'EDAR de Palamós (SEARSA)

Nitrogen: amoni, nitrit, nitrat i nitrogen orgànic.  
Fòsfor total.  
DQO.

### Microcontaminants orgànics (UdG):

Screening inicial per a determinar microcontaminants típics de l'efluent de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro: (Dissolvents volàtils halogenats, compostos orgànics volàtils (VOCs), hidrocarburs aromàtics policíclics (PAHs) i metalls pesants.

Analítiques de TOC, DOM

Analítiques de Ca, Mg, Na, K, (B)  
Tamany de partícules (Proposta)

Seguiment de traçador d'activitat humana (Cafeïna)  
Seguiment d'altres molècules orgàniques (Plastificants)

### Laboratori del CECCAM

Clorurs, Sulfats, Bicarbonats, Fluorur, Bor, Ferro, Manganès

### Microorganismes indicadors (UB):

Screening inicial per a determinar concentracions en l'efluent de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro

Seguiment d'indicadors: CF, CSR i Bacteriofags (SOMph, FRNAph, GA17)

Tal i com s'expressa en el apartat anterior, es poden distingir des de el punt de vista de operativa, resultats de procés i resultats analítics, almenys dos períodes:

del 10 de gener a l'11 d'abril: efluent secundari de gran qualitat amb valor de MES sobre 3 ppm, Terboleses <1NTU i Transmittància sobre el 67%, que es correspon al període de menor afluència turística on la planta depuradora de Castell treballa de forma desfogada.

del 15 d'abril al 10 de juliol: on l'efluent secundari es de pitjor qualitat (tot i que força bona des de el punt de vista de normatives) amb valors de MES sobre les 7 ppm, Terboleses sobre 2 NTU i Transmittància sobre el 56%, que es correspon al període de major afluència turística, amb inici a la Setmana Santa on la planta depuradora de Castell treballa amb més pressió (cabal i càrrega).

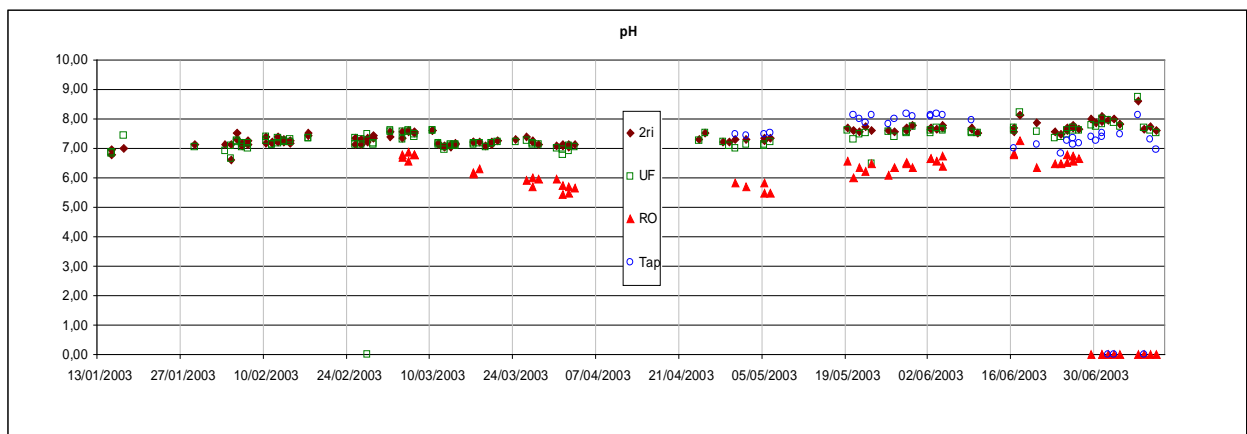
S'han tabulat els resultats obtinguts en les diferents analítiques realitzades, recollint-se en la matriu general que es recull a l'annex que es la base dels estudis estadístics i d'interpretació que més endavant es presenten.

També s'han representat els resultats obtinguts pera cada un dels paràmetres de que es disposa d'un número de dades suficient, que permet visualitzar l'evolució i les tendències que passem a comentar, de forma resumida, a continuació (l'estudi exhaustiu dels resultats s'està realitzant en el moment de redactar el present informe tècnic).

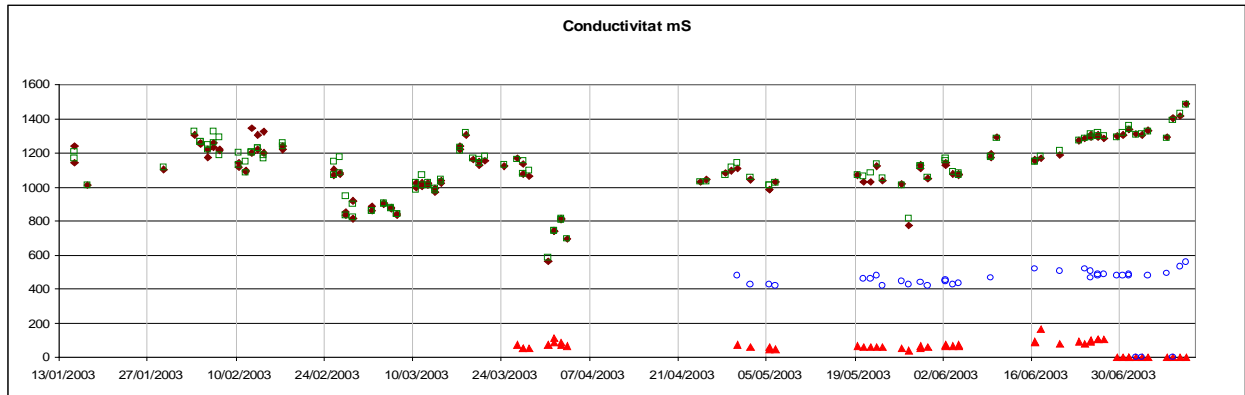
En totes les gràfiques, s'utilitza la mateixa simbologia per representar el valor del paràmetre corresponent al punt de mostreig:

- Mostra del efluent secundari: triangle marró.
- Mostra del permeat de l'UF: quadrat verd.
- Mostra del permeat de l'OI: triangle vermell.
- Mostra de l'aixeta d'aigua de xarxa potable: cercle blau.

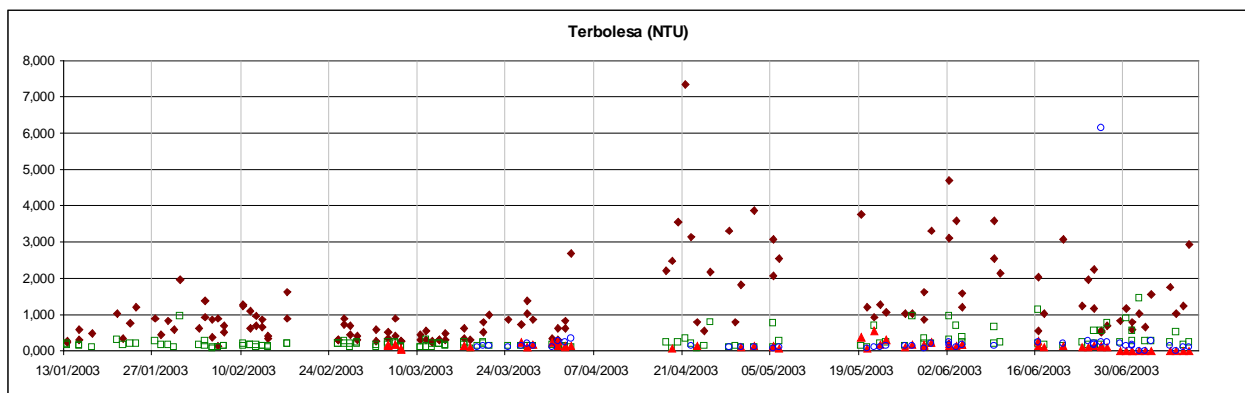
## Química analítica



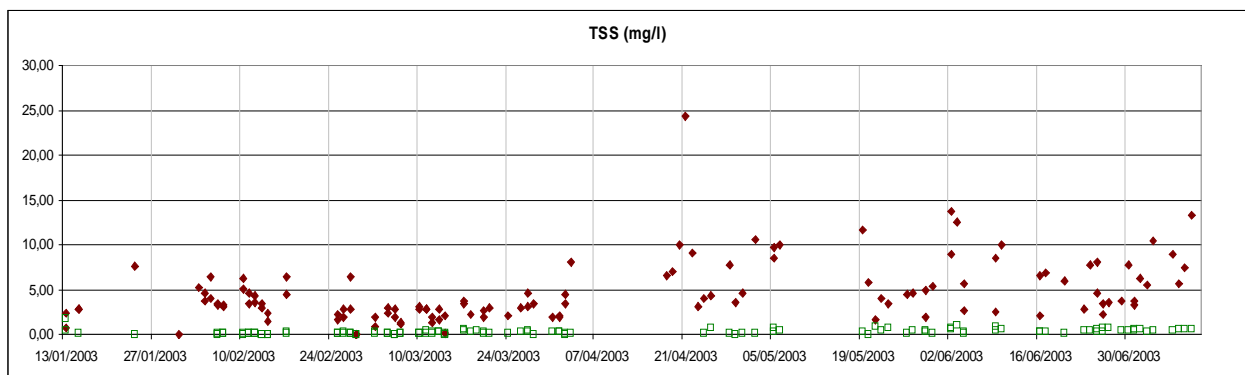
L'UF no determina una modificació del pH de l'aigua d'entrada. Pel contrari l'OI acidifica el permeat com a conseqüència de la eliminació d'espècies iòniques responsables de la capacitat tamponadora. Per altra banda, les diferències respecte del pH, entre els dos períodes indicats son poc significatives.



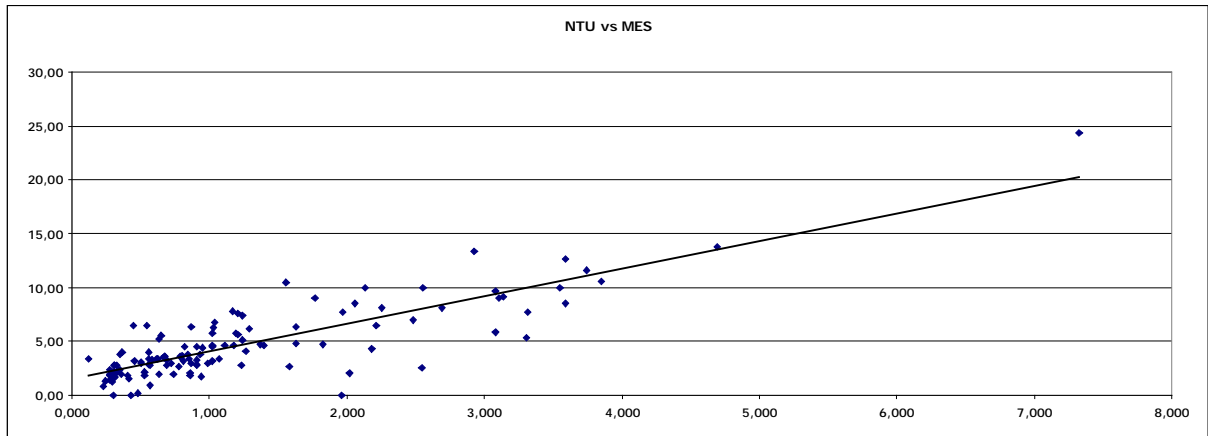
La conductivitat de l'aigua que és finalment una mesura de la presència de sals en dissolució es mostra força variable en el primer període. Com en el cas anterior, l'UF no la modifica contràriament a la OI que la redueix fins a valors pròxims a 0, significativament per sota de l'aigua potable.



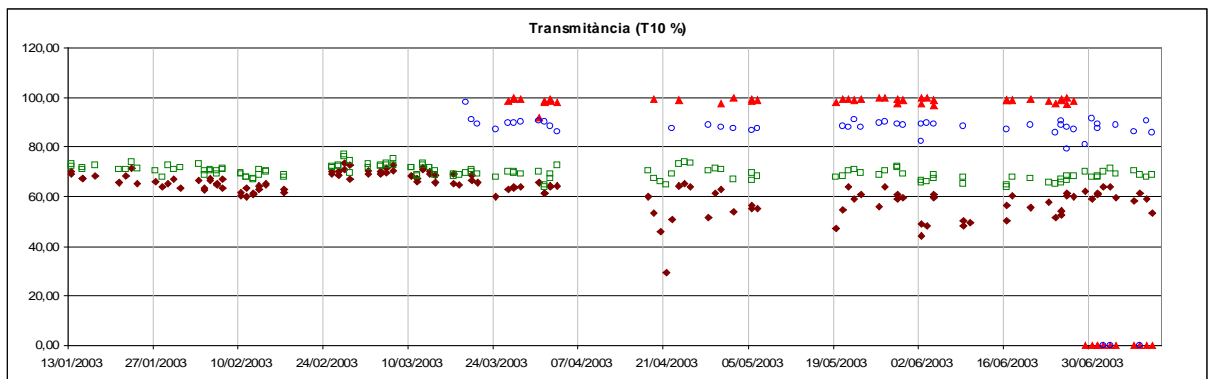
L'existència de dos tipus de qualitats d'aigües diferents als dos períodes determinats es fa palesa al estudiar l'evolució de la Terbolesa on es pot comprovar també la fiabilitat de l'UF per a mantenir constant la qualitat de l'efluent a osmotitzar, sempre per sota d'1 NTU fins i tot amb valors relativament elevats a l'entrada.



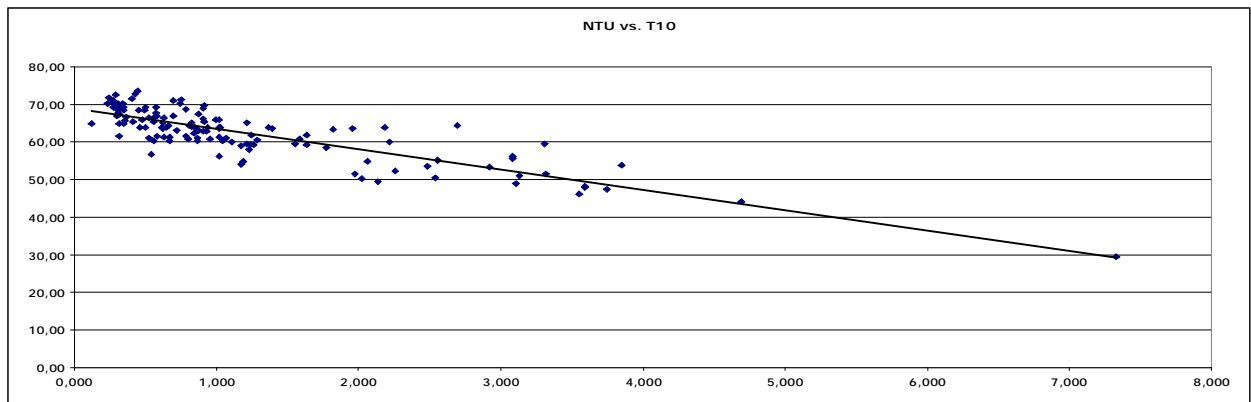
Com al cas anterior el contingut en sòlids es redueix dràsticament amb l'UF, trobant-se pràcticament fora del rang de mesura a l'entrada de l'osmosi.



Existeix evidentment una bona correlació entre la Turbidesa i els sòlids en l'aigua procedent de secundari.



Es especialment interessant interpretar el comportament del sistema respecte de la transmittància a 254nm. Es aquest un paràmetre que depèn del contingut d'espècies orgàniques amb capacitat d'absorbir a aquestes longituds d'ona a l'aigua. En definitiva la transmittància té a veure amb el nivell d'oxidació assolit en el tractament biològic. L'evolució d'aquest paràmetre a l'efluent secundari, mostra un clar empitjorament en el segon període considerat. No obstant l'UF es capaç de mantenir la qualitat del permeat en valors molt estables garantint una alimentació de l'OI gairebé independent del efluent secundari. L'osmosi finalment reté gairebé la totalitat de les molècules orgàniques responsables de l'absorció UV.



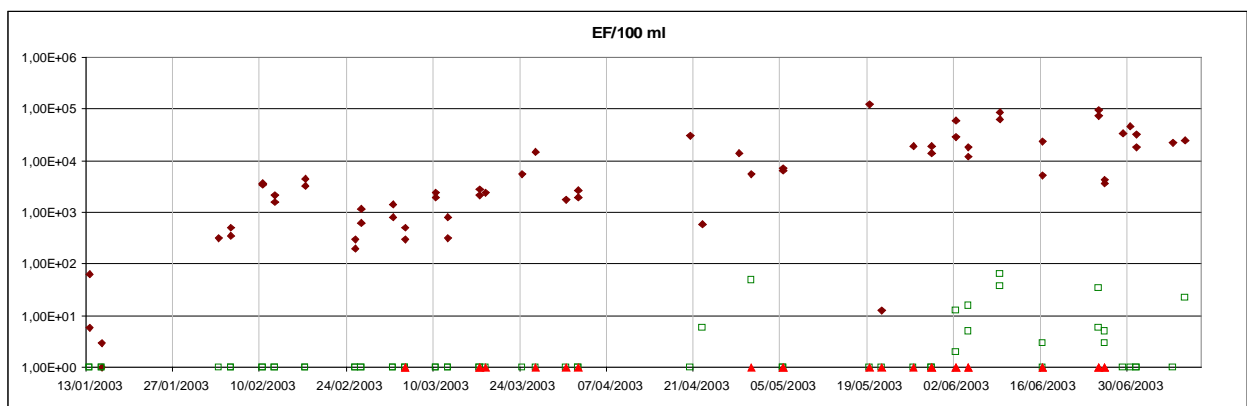
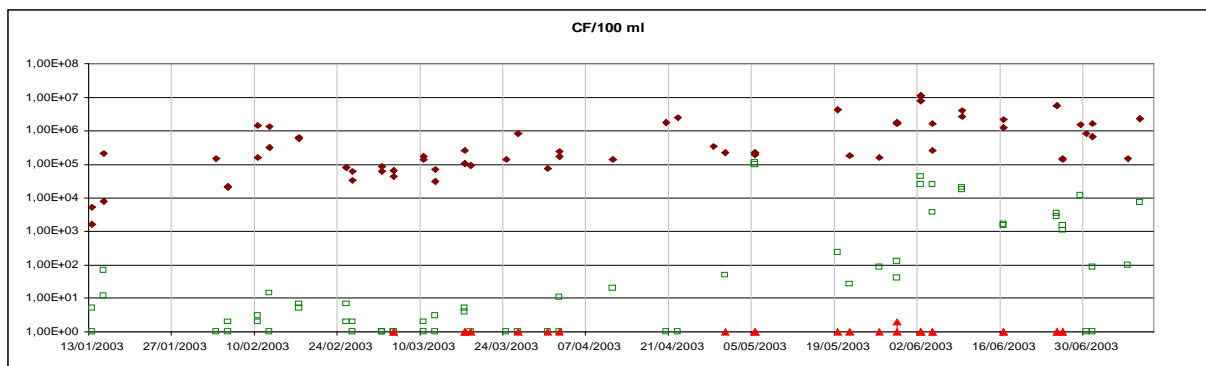
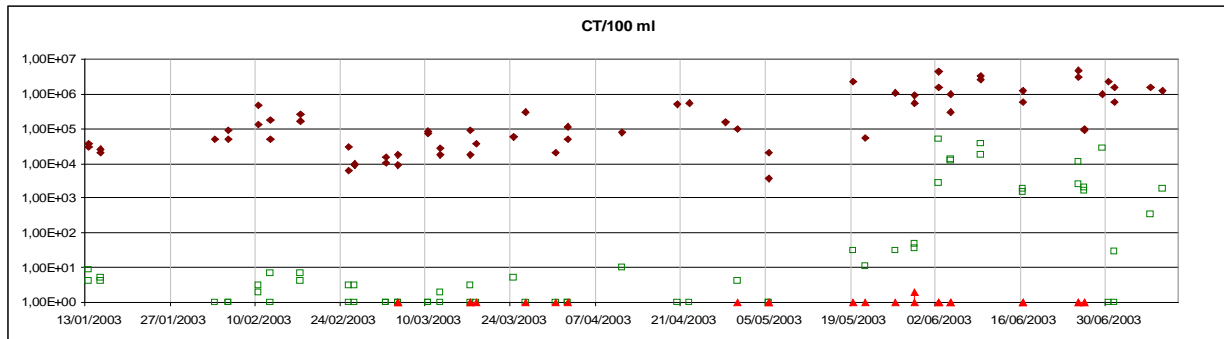
La qualitat de l'efluent secundari de l'EDAR de Castell mostra una certa correlació entre la Terbolesa i la Transmittància.

S'han realitzat també analítiques puntuals de TOC, resultant valors al permeat de l'UF molt similars als de l'aigua del secundari, sobre 10 ppm al primer període i 14 ppm al segon. A la sortida de l'OI els valors de TOC son normalment mes baixos que els que s'han mesurat en mostres directes d'aigua de la xarxa d'abastament (2ppm i 4-5 ppm, respectivament).

D'altra banda, s'han analitzat també en algunes mostres la presència de Cafeïna, com a molècula orgànica possible marcadora d'activitat humana, resultant concentracions al secundari entre 30 i 40 ppb, no detectant-se ni al permeat de l'UF ni al de la OI.

En l'anàlisi de plastificants com altres tipus de molècules orgàniques s'ha pogut comprovar que l'UF i la OI son capaços de retenir-los. Hi ha però interferències originades per l'ús de conduccions i contenidors plàstics en diferents punts de l'instal·lació.

## Microbiologia



L'evolució de la microbiologia al llarg de les proves s'ha avaluat, per una banda, amb el seguiment bàsic dels indicadors bacterians que es representen en les tres gràfiques precedents i per l'altra amb l'anàlisi dels resultats estadístics de les proves realitzades tant en el laboratori de Castell d'Aro com per el departament de Microbiologia de l'Universitat de Barcelona.

Tant els Coliforms Totals com els Fecals i els Estreptococs presenten, salvant les diferències numèriques que són típiques per a cada un d'ells en un efluent secundari, comportaments similars durant el seguiment de les proves.

En primer lloc, es constata una important variació en el recompte en l'efluent secundari als dos períodes considerats:

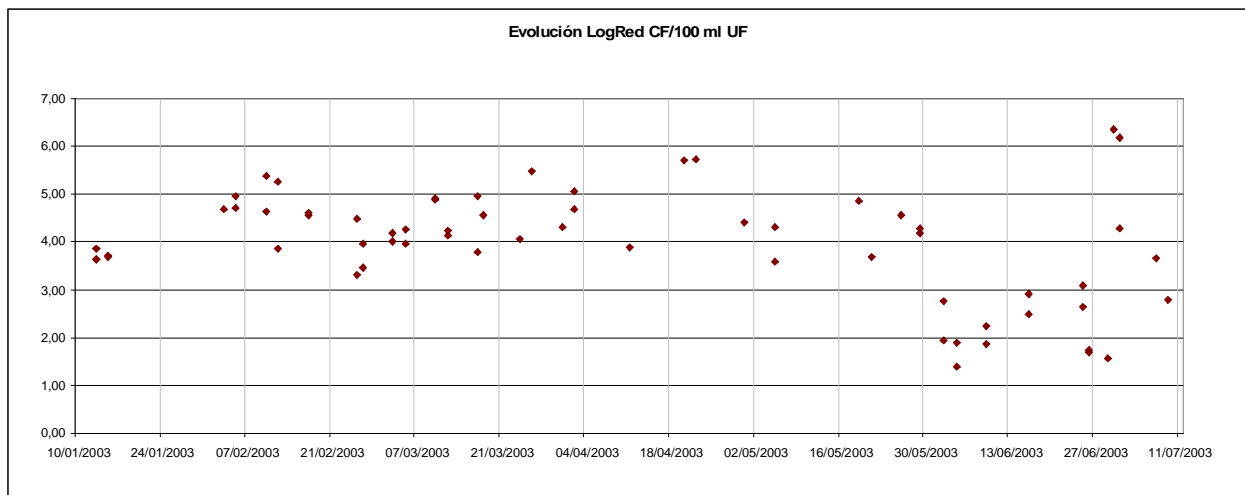
Així pel que es refereix als CT les mitjanes geomètriques son aproximadament de 100.000 i  $10^6$  CT/100 ml . Pel CF els valors respectius son 50.000 i 500.000 i els EF de 700 a 15.000 ufc/100ml

Es constata tanmateix la mateixa tendència analitzant altres microorganismes com es el cas de altres bacteries en els resultats reportats a les mostres analitzades per el departament de Microbiologia de l'Universitat de Barcelona.

- Costridium sulfitorreductors, com a indicadors bacteries esporulants.
- Bacteriofags somàtics d'E.coli i fags FRNA com a virus entèrics indicadors.

Això confirma també el que ja hem comentat abans relatiu a l'existència de dos qualitats d'aigua molt diferents.

Al analitzar l'efecte reductor de l'UF i l'osmosi inversa sobre la microbiologia, es constata també la permanència dels dos períodes considerats. Així les reduccions son elevades en el primer període (sobre 3,5 - 4 logaritmes) en tots els casos i significativament inferiors en el segon període analitzat (1,5–2,5 logaritmes)



Per tal d'interpretar correctament aquests resultats hem revisat diferents treballs d'experiències similars realitzades amb tractament amb membranes d'efluents secundaris. Es constata que les reduccions oscil·len de forma notable d'un altre estudi. Així es parla de reduccions logarítmiques de 1,4; 1,80; 2,8; 4; >5,5 ; >7 de 2 a 6 tant en efluents microfiltrats com ultrafiltrats.

Creiem que per interpretar aquest resultats hem de fer una consideració sobre l'aplicació d'hipoclorit en les seqüències de neteja. L'UF treballa, com hem explicat realitzant neteges per contra-rentat (cada 30 minuts) i realitzant d'altres més intensives cada 6-12 hores alternativament afegint hipoclorit o àcid cítric.

Durant el segon període de les proves, consideracions operatives relatives a l'osmosi inversa (les membranes de poliamida son sensibles al clor) varen determinar l'utilització de metabisulfit per tal de neutralitzar el clor que pogués quedar després d'una neteja intensiva, aplicant-ho directament sobre les membranes immediatament després de l'ús del clor.

D'aquesta forma podem reconèixer, durant el pilotatge, dos situacions clarament diferents una, que es correspon amb el primer període de qualitat de l'aigua on tota l'instal·lació d'UF va estar treballant amb neteges intensives amb hipoclorit sense neutralització amb metabisulfit i un altra, corresponent al segon període on l'instal·lació treballava bàsicament amb pulsacions de clor que eren després neutralitzades amb metabisulfit.

Els sistemes de microfiltració i ultrafiltració treballen aplicant clor de forma regular en les neteges. L'efecte d'aquesta operativa, considerada en la seva globalitat, té probablement repercussions en la reducció microbiologia final.

Cal també considerar que el tall de mides de partícules que les membranes realitzen es nominal i no absolut. També durant el segon període l'UF va presentar puntualment problemes d'integritat (trencament de membranes).

La microbiologia a la sortida de la osmosi ha estat en ambdós períodes molt reduïda com es pot constatar en els resultats, presentant tan sols esporàdicament recomptes positius.

## Anàlisi Estadístic

La taula que es mostra a continuació analitza el valor mig dels paràmetres analitzats en els dos períodes d'estudi i per cada tipus d'aigua. La mitjana calculada és l'aritmètica excepte per bacteris i virus on es presenta la mitjana geomètrica.

Els resultats del CECAM només inclouen 1 sola dada per variable analitzada, per tant, no és una mitjana.

|  | 10 gener - 11 abril |       |      | 15 abril - 10 juliol |       |      |
|--|---------------------|-------|------|----------------------|-------|------|
|  | IN                  | OUT   | RO   | IN                   | OUT   | RO   |
| pH Castell d'Aro   | 7,2                 | 7,2   | 6,1  | 7,7                  | 7,5   | 6,4  |
| Conductivitat Castell d'Aro (µS/cm)                      | 1061,3              | 1067  | 72,3 | 1172,2               | 11797 | 73,9 |
| Terbolesa (NTU)  | 0,7                 | 0,2   | 0,1  | 1,9                  | 0,4   | 0,2  |
| Transmitància 254 nm (%)                                 | 66,5                | 70,7  | 98,1 | 56,5                 | 68,6  | 98,9 |
| MES (mg/l)   | 3,2                 | 0,2   |      | 6,7                  | 0,5   |      |
| Oxigen (mg/l)  | 2,6                 | 2,3   | 2,7  | 1,9                  | 1,0   | 2,1  |
| Amoni (mg/l)   | 5,2                 | 5,5   | 2,0  | 27,7                 | 26,3  | 1,5  |
| NO <sub>2</sub> (mg/l)                                   | 0,3                 | 0,2   | 0,1  | 0,0                  | 0,0   | 0,0  |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)                                   | 4,9                 | 4,6   | 1,1  | 2,0                  | 1,7   | 0,1  |
| N orgànic (mg/l)   | 2,3                 | 1,7   | 0,6  | 4,9                  | 4,7   | 0,2  |
| Fòsfor total (mg/l)                                      | 3,1                 | 2,9   | 0,4  | 5,9                  | 5,2   | 1,6  |
| DQO (mg/l)   | 35,9                | 31,7  | 10,0 | 49,3                 | 35,1  | 8,8  |
| Clorurs (mg/l)   |                     | 399,0 | 24,5 | 177,1                | 179,4 | 21,0 |
| Sulfurs (mg/l)   |                     | 0,8   | 0,4  | 1,3                  | 1,4   | 2,0  |
| TOC (mg/l)   | 10,5                | 9,3   | 2,2  | 14,9                 | 12,6  | 2,0  |
| Ca (mg/l)  | 74,8                | 75,1  | 0,2  | 85,2                 | 83,0  | 0,0  |
| Mg (mg/l)  | 13,7                | 13,8  | 0,2  | 16,0                 | 15,6  | 0,2  |
| Na (mg/l)  | 88,7                | 89,2  | 12,5 | 107,8                | 111,7 | 7,0  |
| B (mg/l)   | 0,2                 | 0,2   | 0,2  | 0,3                  | 0,3   | 0,2  |
| Duresa (mg/l)  | 242,9               | 244,5 | 1,0  | 278,3                | 271,7 | 0,7  |
| pH UdG   | 7,4                 | 7,3   | 6,6  | 7,6                  | 7,6   | 3,9  |
| Conductivitat UdG (µS/cm)                                | 964,0               | 969,0 | 106  | 1135,5               | 1130  | 1264 |
| Coliforms totals CdA (cfu/100 ml)                        | 97556               | 2,5   | 1,0  | 1015913              | 622,0 | 1,0  |
| Coliforms fecals CdA (cfu/100 ml)                        | 42805               | 1,9   | 1,0  | 576738,4             | 210,6 | 1,0  |
| Estreptococs fecals CdA (cfu/100 ml)                     | 691,2               | 1,0   | 1,0  | 14790,4              | 3,3   | 1,0  |
| Coliforms totals UB (cfu/100 ml)                         | 44210               | 3,0   | 3,4  | 210336,9             | 843,6 | 11,9 |
| Coliforms fecals UB (cfu/100 ml)                         | 10248               | 1,1   | 1,0  | 66509,0              | 115,4 | 1,3  |
| Estreptococs fecals UB (cfu/100 ml)                      | 1228                | 1,2   | 1,0  | 4756,8               | 22,9  | 1,6  |
| Clostridis sulfit reductors (cfu/100 ml)                 | 1826                | 1,9   | 1,0  | 4405,5               | 2,0   | 1,0  |
| <i>E. coli</i> (cfu/100 ml)                              | 4633,4              | 1,0   | 1,0  | 450000,0             | 207,8 | 1,0  |
|  | 3132,6              | 1,0   | 1,0  | 6803,1               | 109,5 | 1,0  |
| Colifags somàtics (pfu/100 ml)                           | 48712               | 0,3   | 0,3  | 81867                | 9,1   | 0,1  |
| Bacteriofags RNA F específics (pfu/100 ml)               | 4285                | 0,1   | 0,1  | 9767                 | 11,7  | 0,1  |
| Bacteriofags de <i>Bacteroides fragilis</i> (pfu/100 ml) | 184                 | 0,1   | 0,3  | 203                  | 0,2   | 0,1  |

|                          |      |  |
|--------------------------|------|--|
| Clorurs CECAM (mg/l)     | 159  |  |
| Sulfats CECAM (mg/l)     | 140  |  |
| Bicarbonats CECAM (mg/l) | 275  |  |
| Fluorur CECAM (mg/l)     | 0,29 |  |
| Bor CECAM (mg/l)         | 0,3  |  |
| Ferro CECAM (mg/l)       | 0,36 |  |
| Manganès CECAM (mg/l)    | 0,06 |  |

Comparació entre tractaments.

Els valors que s'indiquen a continuació representen la reducció (%) dels paràmetres analitzats feta per cada procés dins de cada període d'estudi.

La fórmula utilitzada per calcular la reducció és:

Efecte UF (respecte aigua de secundari):  $100 - ((OUT * 100) / IN)$   
 Efecte RO (respecte aigua ultrafiltrada):  $100 - ((RO * 100) / OUT)$   
 Efecte UF+RO (respecte aigua de secundari):  $100 - ((RO * 100) / IN)$

Els colors representen la comparació entre les mitjanes obtingudes abans i després de cada tractament dins de cada període d'estudi.

Llegenda:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| mitjanes iguals $p < 0.05$ |           |
| mitjanes $p < 0.05$        | diferents |

Per les caselles en blanc no hi ha resultats estadístics.

Per exemple:

Per la terbolesa:

1er període. La UF redueix un 74% la terbolesa de l'aigua d'entrada (secundari). La RO redueix un 18% la terbolesa de l'aigua ultrafiltrada. La reducció conjunta de UF+RO respecte l'aigua de secundari és del 78%.

Hi ha diferències significatives entre el valor mig de la terbolesa abans i després de l'UF. No hi ha diferències significatives entre el valor mig de la terbolesa abans i després de la RO.

2on període. La UF redueix un 81% la terbolesa de l'aigua d'entrada (secundari). La RO redueix un 54% la terbolesa de l'aigua ultrafiltrada. La reducció conjunta de UF+RO respecte l'aigua de secundari és del 91%.

Hi ha diferències significatives entre el valor mig de la terbolesa abans i després de l'UF. Hi ha diferències significatives entre el valor mig de la terbolesa abans i després de la RO.

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
|                     | 15 abril - 10 juliol |
| 10 gener - 11 abril | juliol               |
| % REDUCCIÓ          | % REDUCCIÓ           |

|  | UF+R |       |       | UF+R |      |       |
|--|------|-------|-------|------|------|-------|
|  | UF   | RO    | O     | UF   | RO   | O     |
| pH Castell d'Aro   | 0,6  | 14,7  | 15,2  | 1,5  | 15,4 | 16,7  |
| Conductivitat Castell d'Aro ( $\mu\text{S/cm}$ )         | -0,5 | 93,2  | 93,2  | -0,6 | 93,7 | 93,7  |
| Terbolesa (NTU)  | 74,2 | 18,3  | 78,9  | 81,3 | 54,7 | 91,5  |
| Transmitància 254 nm (%)                                 | -6,3 | -38,8 | -47,6 | 21,3 | 44,3 | -75,0 |
| MES (mg/l)   | 93,2 |       |       | 93,1 |      |       |
| Oxigen (mg/l)  | 8,7  | -14,2 | -4,2  | 44,2 | 97,2 | -10,1 |
| Amoni (mg/l)   | -6,9 | 64,7  | 62,2  | 5,1  | 94,3 | 94,6  |
| NO <sub>2</sub> (mg/l)                                   | 24,2 | 40,0  | 54,5  | 16,7 | 0,0  | 16,7  |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)                                   | 5,3  | 77,2  | 78,4  | 13,7 | 92,1 | 93,1  |
| N orgànic (mg/l)   | 29,0 | 63,7  | 74,2  | 4,1  | 96,3 | 96,4  |
| Fòsfor total (mg/l)                                      | 4,9  | 88,0  | 88,6  | 11,8 | 68,6 | 72,3  |
| DQO (mg/l)   | 11,9 | 68,4  | 72,2  | 28,8 | 75,1 | 82,3  |
| Clorurs (mg/l)   |      | 93,9  |       | -1,3 | 88,3 | 88,1  |
| Sulfurs (mg/l)   |      | 50,0  |       | -6,4 | 40,0 | -48,9 |
| TOC (mg/l)   | 11,2 | 76,5  | 79,2  | 15,2 | 84,0 | 86,4  |
| Ca (mg/l)  | -0,4 | 99,8  | 99,8  | 2,5  | 0    | 100,0 |
| Mg (mg/l)  | -1,1 | 98,9  | 98,9  | 2,2  | 98,7 | 98,7  |
| Na (mg/l)  | -0,6 | 86,0  | 86,0  | -3,6 | 93,7 | 93,5  |
| B (mg/l)   | 0,0  | 14,3  | 14,3  | 0,0  | 33,3 | 33,3  |
| Duresa (mg/l)  | -0,6 | 99,6  | 99,6  | 2,4  | 99,7 | 99,7  |
| pH UdG   | 1,1  | 9,4   | 10,4  | -0,7 | 48,9 | 48,5  |
| Conductivitat UdG ( $\mu\text{S/cm}$ )                   | -0,5 | 89,0  | 89,0  | 0,4  | 88,8 | 88,9  |
| Coliforms totals CdA (cfu/100 ml)                        | 100  | 59,3  | 100,0 | 99,9 | 99,8 | 100,0 |
| Coliforms fecals CdA (cfu/100 ml)                        | 100  | 46,9  | 100,0 | 100  | 99,5 | 100,0 |
| Estreptococs fecals CdA (cfu/100 ml)                     | 99,9 | 0,0   | 99,9  | 0    | 69,6 | 100,0 |
| Coliforms totals UB (cfu/100 ml)                         | 0    | -13,4 | 100,0 | 99,6 | 98,6 | 100,0 |
| Coliforms fecals UB (cfu/100 ml)                         | 0    | 5,6   | 100,0 | 99,8 | 98,8 | 100,0 |
| Estreptococs fecals UB (cfu/100 ml)                      | 99,9 | 18,9  | 99,9  | 99,5 | 93,1 | 100,0 |
| Clostridis sulfit reductors (cfu/100 ml)                 | 99,9 | 46,7  | 99,9  | 100  | 50,4 | 100,0 |
| <i>E. coli</i> (cfu/100 ml)                              | 100  | 0,0   | 100,0 | 100  | 99,5 | 100,0 |
| Colifags somàtics (pfu/100 ml)                           | 100  | 0,0   | 100,0 | 98,4 | 99,1 | 100,0 |
| Bacteriofags RNA F específics (pfu/100 ml)               | 100  | -5,0  | 100,0 | 100  | 98,8 | 100,0 |
| Bacteriofags de <i>Bacteroides fragilis</i> (pfu/100 ml) | 100  | 31,9  | 100,0 | 99,9 | 98,9 | 100,0 |
|  | 99,9 | -     |       |      |      |       |
|  | 99,9 | 115,4 | 99,8  | 99,9 | 50,7 | 100,0 |

Comparació entre períodes.

Els valors corresponen a la variació (% augment) dels paràmetres analitzats per un mateix tipus d'aigua entre els dos períodes d'estudi.

La fórmula utilitzada per calcular l'augment és:

$$\text{Efecte període: } 100 - ((\text{mitjana 1er període} * 100) / \text{mitjana 2on període})$$

Els colors representen la comparació entre les mitjanes d'un mateix tipus d'aigua entre els dos períodes d'estudi.

Llegenda:

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| mitjanes iguals $p < 0.05$ |           |
| mitjanes $p < 0.05$        | diferents |

Per les caselles en blanc no hi ha resultats estadístics.

Per exemple:

Per la terbolesa:

**IN:** L'aigua de secundari presenta un augment del 65% de terbolesa en el segon període respecte al primer.

Les mitjanes de terbolesa de l'aigua de secundari són **significativament diferents** ( $p < 0.05$ ) abans i després de setmana santa.

**OUT:** L'aigua ultrafiltrada presenta un augment del 52% de terbolesa en el segon període respecte al primer.

Les mitjanes de terbolesa de l'aigua ultrafiltrada són **significativament diferents** ( $p < 0.05$ ) abans i després de setmana santa.

**RO:** L'aigua del permeat de RO presenta un augment del 14% de terbolesa en el segon període respecte al primer.

Les mitjanes de terbolesa de l'aigua de permeat de RO **no presenten diferències significatives** ( $p < 0.05$ ) abans i després de setmana santa.

|   | % VARIACIÓ |        |          |
|---|------------|--------|----------|
|   | IN         | OUT    | RO       |
| pH Castell d'Aro  | 5,6        | 4,7    | 3,9      |
| Conductivitat Castell d'Aro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 9,5        | 9,6    | 2,2      |
| Terbolesa (NTU)   | 65,6       | 52,4   | 14,2     |
| Transmitància 254 nm (%)                                | -17,6      | -3,1   | 0,8      |
| MES (mg/l)  | 52,3       | 53,1   |          |
| Oxigen (mg/l)   | -35,9      | -122,4 | -28,7    |
| Amoni (mg/l)  | 81,4       | 79,0   | -30,0    |
| NO <sub>2</sub> (mg/l)                                  | -693,7     | -622,2 | -333,3   |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)                                  | -143,1     | -166,7 | -663,6   |
| N orgànic (mg/l)  | 52,5       | 64,8   | -242,9   |
| Fòsfor total (mg/l)                                     | 47,5       | 43,4   | 78,5     |
| DQO (mg/l)  | 27,1       | 9,8    | -14,3    |
| Clorurs (mg/l)  |            | -122,4 | -16,7    |
| Sulfurs (mg/l)  |            | 44,0   | 80,0     |
| TOC (mg/l)  | 29,6       | 26,3   | -7,9     |
| Ca (mg/l)   | 12,2       | 9,5    | #iDIV/0! |
| Mg (mg/l)   | 14,3       | 11,4   | 25,0     |
| Na (mg/l)   | 17,7       | 20,1   | -77,9    |

|  |      |      |        |
|--|------|------|--------|
| B (mg/l)   | 41,7 | 41,7 | 25,0   |
| Duresa (mg/l)  | 12,7 | 10,0 | -41,1  |
| pH UdG   | 2,2  | 4,0  | -70,1  |
| Conductivitat UdG ( $\mu$ S/cm)                          | 15,1 | 14,3 | 16,0   |
| Coliforms totals CdA (cfu/100 ml)                        | 90,4 | 99,6 | 3,8    |
| Coliforms fecals CdA (cfu/100 ml)                        | 92,6 | 99,1 | 3,8    |
| Estreptococs fecals CdA (cfu/100 ml)                     | 95,3 | 69,6 | 0,0    |
| Coliforms totals UB (cfu/100 ml)                         | 79,0 | 99,6 | 71,5   |
| Coliforms fecals UB (cfu/100 ml)                         | 84,6 | 99,1 | 25,1   |
| Estreptococs fecals UB (cfu/100 ml)                      | 74,2 | 94,6 | 36,9   |
| Clostridis sulfit reductors (cfu/100 ml)                 | 58,5 | 6,9  | 0,0    |
| <i>E. coli</i> (cfu/100 ml)                              | 99,0 | 99,5 | 0,0    |
|  | 54,0 | 99,1 | 0,0    |
| Colifags somàtics (pfu/100 ml)                           | 40,5 | 96,7 | -186,2 |
| Bacteriofags RNA F específics (pfu/100 ml)               | 56,1 | 98,7 | 23,8   |
| Bacteriofags de <i>Bacteroides fragilis</i> (pfu/100 ml) | 9,2  | 27,6 | -216,2 |

## CONCLUSIONS

Finalment i a modus de síntesi a continuació passem a exposar les principals conclusions del treball realitzat pel que es refereix a l'operativa i analítica de les proves realitzades.

Les proves s'han realitzat amb un efluent secundari que mostra dos períodes clars respecte dels descriptors de la qualitat, amb diferències estadístiques en les mitjanes analitzades de cada paràmetre (físic, químic i microbiològic): del 10 de gener a l'11 d'abril i del 15 de abril al 10 de juliol.

Aquestes diferències tenen una clara explicació relativa a l'ocupació estacional turística de les poblacions que serveixen l'aigua a la planta de Castell (Sant Feliu, Platja d'Aro i Castell) amb un canvi clar marcat amb l'inici de la Setmana Santa.

Els resultats operatius de les proves pilot s'han adaptat a aquestes variacions.

### Qualitats assolibles.

A partir dels resultats analítics observats i les respostes operatives del sistema de membranes a les diferents condicions de treball es possible establir els següents supòsits de qualitat d'entrada i sortida que cal esperar d'un sistema de membranes com el estudiat, instal·lat a la sortida d'un tractament secundari per tal de poder produir aigua de gran qualitat amb característiques pre-potables.

#### Efluent Secundari

Terbolesa <2NTU  
TSS<7  
T10 >56%  
Conductivitat <1200

#### Efluent UF

Terbolesa <0,4NTU  
TSS<0,5  
T10 >69%  
Microbiologia: variable  
Contaminants orgànics: no detectats

#### Efluent Final (UF+OI)

Terbolesa <0,2NTU  
TSS=0 ppm  
Conductivitat <100 microS/cm  
T10 >98%  
Microbiologia: absència  
TOC<2

### Operativa i explotació de l'instal·lació

LLuís

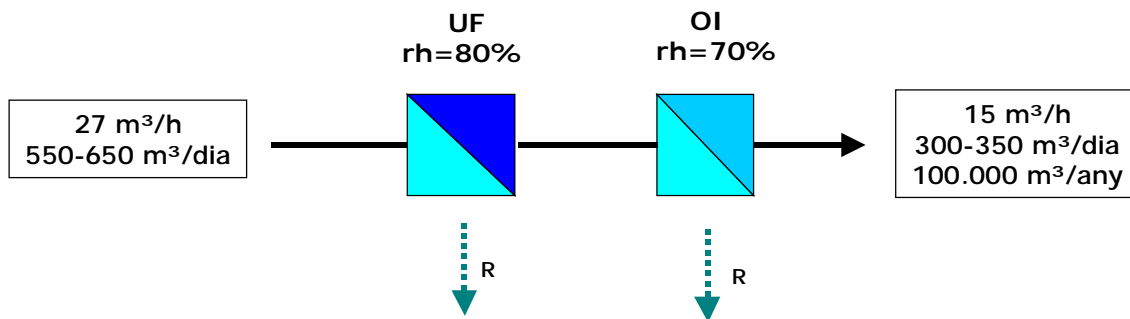
**Dimensionat d'una planta a escala industrial.**

Per tal de completar el present estudi, a continuació es presenten els dimensionats que resulten de considerar els diferents resultats obtinguts, per realitzar un supòsit d'instal·lació a escala industrial per servir aigua pre-potable per un municipi.

Des de el punt de vista de capacitats, les dues condicions de treball que s'han operat permeten realitzar dos diferents dimensionats de l'aplicació amb costos d'inversió i explotació diferents.

En primer lloc, haurem de dimensionar l'UF atenent a un flux sobre els 50 l/m<sup>2</sup>h amb un rendimen sobre el 80%

La osmosi inversa presenta rendiments sobre el 70%.

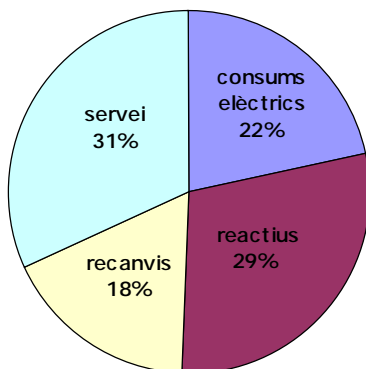


Per la producció d'uns 100.000 m<sup>3</sup>/any (de 300 a 350 m<sup>3</sup>/dia) tindriem una inversió conjunta de l'UF+OI amb una forquilla els 650-915 €/m<sup>3</sup> servit per dia depenent de la qualitat del secundari a processa

Els costos d'explotació oscil·larien entre els 0,5 - 0,6 €/m<sup>3</sup> produït amb un consum elèctric de 1,6 a 1,9 kWh/m<sup>3</sup> produït

La distribució dels costos d'explotació queda reflectida a la següent gràfica.

distribució costos explotació UF + OI



## INDEX

|   |    |
|---|----|
| RESUM.....  | 1  |
| INTRODUCCIÓ .....   | 1  |
| Descripció de les tecnologies de membrana emprades a l'estudi. .... | 3  |
| L' Ultrafiltració (UF) .....  | 5  |
| L'Osmosi Inversa (OI) .....   | 5  |
| DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA PILOT .....                                 | 7  |
| Descripció dels equips .....  | 8  |
| L'UF .....  | 8  |
| L'OI .....  | 11 |
| RESULTATS ANALÍTICS.....  | 14 |
| Química analítica .....   | 15 |
| Microbiologia .....   | 19 |
| Anàlisi Estadístic .....  | 22 |
| CONCLUSIONS .....   | 27 |
| Qualitats assolibles. ....  | 27 |
| Operativa i explotació de l' instal·lació. ....                     | 27 |
| Dimensionat d'una planta a escala industrial. ....                  | 28 |

## **ANNEXES**

### **1. Matriu General de Dades**