RESUM

L'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) de Sant Joan Despí tracta prop del 45 % de l'aigua potable que es consumeix en l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Aquesta planta té capacitat per tractar fins a 6 m^3/s d'aigua superficial del riu Llobregat o aigua subterrània del seu aqüífer, mitjançant una sèrie de processos fisico-químics que la converteixen en una de les potabiltzadores més complexes d'Europa. Les quatre grans etapes del tractament són:

- Pretractament: basat en un desbast previ, una preoxidació i un desarenat
- Clarificació: on té lloc una coagulació-floculació, seguida d'una decantació i filtració per sorra
- Afinament: destinat a la millora organolèptica de l'aigua, consta d'una ozonització i una filtració per carbó actiu granular
- Postcloració: que garanteix el control microbiològic de l'aigua fins que aquesta sigui consumida.

Aquest tractament però, no produeix un aigua que compleixi les expectatives de tast del consumidor, a més de tenir dificultats en el compliment de les futures exigències introduïdes pel R.D.140/2003 que limita la concentració de trihalometans (THM) en 100 ppm a partir de gener del 2009. Un dels principals problemes radica en la gran salinitat de l'aigua del Llobregat i en la impossibilitat d'eliminació d'aquesta amb l'actual tractament.

En aquest projecte es proposa una nova línia de tractament basada en tecnologies avançades aplicable a l'ETAP de Sant Joan Despí, que consisteix en tractar parcialment l'aigua clarificada del riu Llobregat amb un procés d'Osmosi Inversa (OI) i substituint la filtració per sorra de l'actual etapa de clarificació per una filtració amb membranes d'Ultrafiltració, que redueixen de forma important la càrrega de treball de les etapes posteriors i a més garanteixen un augment de la vida útil de les membranes d'OI.

Els resultats del present estudi demostren la viabilitat de la nova línia de tractament proposada, que a més de garantir els nivells de qualitat exigits pel R.D.140/2003, millora la producció de l'ETAP al disminuir les hores d'aturada de la planta per la baixa qualitat de l'aigua del riu.

SUMARI

RESUM 1

SUMARI 3

ÍNDEX DE FIGURES 5

ÍNDEX DE TAULES 7

1. GLOSSARI 11

2. PREFACI 13

3. INTRODUCCIÓ 15

3.1. Objectius 15

3.2. Abast del projecte 15

4. PROPOSTA DE TRACTAMENT AMB TECNOLOGIA AVANÇADA 17

4.1. Anàlisi de les alternatives 18

4.2. Ultrafiltració com a nova tècnica 20

4.3. Tecnologia i aplicació dels processos d'Ultrafiltració com a pretractament per l'Osmosi Inversa 22

5. MATERIALS I MÈTODES 27

5.1. Descripció experimental 27

5.1.1. Descripció del procés d'Ultrafiltració 31

5.1.2. Descripció del procés d'Osmosi Inversa 38

5.1.3. Descripció del procés d'afinament 45

5.2. Material (reactius i dissolucions) 48

5.2.1. Reactius per la planta pilot d'Ultrafiltració 48

5.2.2. Reactius per la planta pilot d'Osmosi Inversa 51

5.3. Discussió de Resultats 55

5.3.1. Paràmetres físico-químics 55

5.3.2. Paràmetres orgànics 62

5.3.3. Composició mineralògica 66

5.3.4. Parametres microbiològics 69

5.3.5. Comportament de la línia de tractament en cas de riuada 71

5.3.6. Evolució de les membranes durant l'estudi 74

6. PRESSUPOST DEL PROJECTE 79

7. GESTIÓ DELS RESIDUS 83
7.1. Residus urbans 83
7.2. Residus especials 83
CONCLUSIONS 85
BIBLIOGRAFIA 87
Referències biogràfiques 87
Bibliografia Complementaria 89

ÍNDEX DE FIGURES

Figura: 4.1. Esquema de l'actual tractament de potabilització d'aigua superficial del riu Llobregat a l'ETAP de Sant Joan Despí.....17

Figura: 4.2. Esquema de la proposta de tractament alternatiu per l'ETAP de Sant Joan Despí……..……..……..……..18

Figura 4.3. Exemple d'aplicació de la UF per reutilitzar aigües residuals urbanes. (Font: Zenon Environmental Inc.)……..……..……22

Figura 4.4. Selectivitat de la membrana d'Ultrafiltració. (Font: Zenon Environmental Inc.)……...……22

Figura 4.5. Espectre de filtració dels diferents processos de membranes a pressió. Ressaltat en verd es mostra el rang en que es troben les membranes d'UF utilitzades en l'estudi. (Font: AGBAR)…….....….....23

Figura 5.1. Plantilla de control de la planta pilot d'Osmosis Inversa……..……...…27

Figura 5.2. Plantilla de control de la planta pilot d'Ultrafiltració……....……..……..28

Figura 5.3. Disseny dels casets de ZeeWeed®500 utilitzats en les proves pilot d'Ultrafiltració. (Font: Zenon Environmental Inc.)…….....….....…….32

Figura 5.4. Esquema de la planta pilot d'Ultrafiltració……..…...…33

Figura 5.5. Esquema de la planta pilot d'Osmosi Inversa……...…..……39

Figura 5.6. Alçat de la planta pilot d'afinament, amb la columna del filtre de CAG i les quatre columnes de contacte d'ozó (d'esquerra a dreta)……..…….....…….....46

Figura 5.7. Evolució de l'amoníac durant els mesos d'experimentació……..…...58

Figura 5.8. Valors de Índex de Fouling obtinguts al llarg de l'estudi……..…...……60

Figura 5.9. Representació del número de partícules (per ml) de diàmetre superior a cadascun dels límits de diàmetre representats, presents en els diferents punts de mostreig……..……..……..……62

Figura 5.10. Anions Florurs, Nitrats, Bromurs i Sulfats presents en l'aigua dels diferents punts de mostreig en mg/l i percentatge de rebuig d'aquests en el procés d'OI…….....……67

Figura 5.11. Composició mineral mitjana en Alumini, Bor, Ferro, Manganès i Bari de l'aigua dels diferents punts de mostreig en μg/l i percentatge de rebuig dels cations amb l'OI….....68

Figura 5.12. Composició mineral en Sodi, Potassi, Calci i Manganés de l'aigua dels diferents punts de mostreig en mg/l…….....…….....68

Figura 5.13. Colònies de bacteris aerobis a 22 ºC presents en l'aigua crua, ultrafiltrada i osmotitzada expressats en escala logarítmica d'UFC/ml, juntament amb l'eliminació obtinguda en els processos d'UF i OI (expressat en unitats logarítmques eliminades)….....70

Figura 5.14. Evolució de la pressió transmembranaria (PTM) amb el temps…….....…74

Figura 5.15. Evolució de la PTM al mòdul d'Ultrafiltració……...…...…75

Figura 5.16. Evolució de la pressió diferencial de les membranes d'OI……..…....……77

ÍNDEX DE TAULES

Taula 4.1. Eficàcia de diferents processos de tractament d'aigua per eliminar contaminants. A= excel·lent (100-90% d'eliminació); B= bona (90-60%); C= bé (60-20%); D= pobra (20-0%). (Font: AWWARF, 1998)…….....……..…….....……..24

Taula 5.1. Llistat dels anàlisis programats i control de la periodicitat……..…...30

Taula 5.2. Resultats típics d'un tractament d'Ultrafiltració amb coagulació intensificada.....31

Taula 5.3. Condicions de l'aigua d'entrada a les membranes d'OI durant el procés de producció continua i límits d'operació donats pel fabricant de membranes (Font: DOW)…..43

Taula 5.4. Característiques del coagulant clorur fèrric comercial i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'UF…….....……..….....49

Taula 5.5. Característiques de l'àcid clorhídric comercial i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'UF…….....……...…49

Taula 5.6. Característiques de l'hipoclorit sòdic (NaOCl) comercial i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'UF……..…….....….....50

Taula 5.7. Característiques de l'àcid clorhídric comercial i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'UF…….....…51

Taula 5.8. Característiques del dispersant Permatreat PC-191 i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'OI……..……..……...52

Taula 5.9. Característiques del biocida PermaClean PC-11 i de la seva dosificació en les neteges biològiques de les membranes d'OI…….....…….....52

Taula 5.10. Característiques dels reactius de neteja bàsica PermaClean PC-33 i PC-99 i de la seva dosificació segons sigui neteja forta o normal de les membranes d'OI…...…….....53

Taula 5.11. Característiques del reactiu de neteja àcida PermaClean PC-77 i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'OI…….....……..……...54

Taula 5.12. Característiques del reactiu d'inertització PermaClean PC-55 i de la seva dosificació per realitzar inertitzacions d'una setmana de les membranes d'OI…….....54

Taula 5.13. Valors màxims, mínims i mitjans de terbolesa a l'aigua dels diferents punts de mostreig, juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard……..…..56

Taula 5.14. Valors màxims, mínims i mitjans de terbolesa a l'aigua dels diferents punts de mostreig, juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard. (*Utilització d'àcid clorhídric)……....56

Taula 5.15. Valors màxims, mínims i mitjans de conductivitat a l'aigua crua i a l'osmotitzada, juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i el tant per cent d'eliminació de conductivitat en el procés d'OI…….....……57

Taula 5.16. Valors màxims, mínims i mitjans d'amoníac juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja dels ppm d'amoníac eliminats en les diferents etapes…….…….....……..…58

Taula 5.17. Valors màxims, mínims i mitjans d'amoníac juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja dels ppm d'amoniac eliminats en les diferents etapes. (*Utilització d'àcid clorhídric)…….....…58

Taula 5.18. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Fouling juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua que entra a les membranes d'OI…….……..……..…59

Taula 5.19. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Fouling juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua que entra a les membranes d'OI. Utilitzant àcid clorhídric al procés de coagulació de l'etapa d'UF……....…...…..59

Taula 5.20. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Langelier juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua dels diferents punts de mostreig. En verd es mostren aquells valors dins del rang d'aigua amb un balanç ideal……..…….……..……61

Taula 5.21. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Langelier juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua dels diferents punts de mostreig. En verd es mostren aquells valors dins del rang d'aigua amb un balanç ideal. (* Utilització d'àcid clorhídric)…….…….....…….....……..61

Taula 5.22. Valors màxims, mínims i mitjans de COT juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes……...……..…..……63

Taula 5.23. Valors màxims, mínims i mitjans de COT juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes. (* Utilització d'àcid clorhídric)……...……...……..……63

Taula 5.24. Valors màxims, mínims i mitjans del potencial de formació de THM juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes……..…….....64

Taula 5.25. Valors màxims, mínims i mitjans del potencial de formació de THM juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes.(* Utilització d'àcid clorhídric)…….....65

Taula 5.26. Valors mitjans del potencial de formació dels derivats bromats i clorats juntament amb el tant per cent d'eliminació de les dues línies paral·leles del tractament.....66

Taula 5.27. Valors mitjans del potencial de formació dels derivats bromats i clorats juntament amb el tant per cent d'eliminació de les dues línies paral·leles del tractament. (* Utilització d'àcid clorhídric)…….....……..…….....…..66

Taula 5.28. Valors màxims, mínims i mitjans dels bacteris aerobis a 22 ºC juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de
mostreig……...……...…….....69

Taula 5.29. Valors màxims, mínims i mitjans dels bacteris aerobis a 22 ºC juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de mostreig. (* Utilització d'àcid clorhídric)…….....….....…69

Taula 5.30. Valors màxims, mínims i mitjans d'eschericcia coli juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de mostreig al llarg del temps d'experimentació…….....…..……71

Taula 5.31. Valors de COT, terbolesa, amoníac, conductivitat, bacteris i E. coli de l'aigua de la planta pilot funcionant en dies de riuada (17 de maig i 11 de juliol)……..……...72

Taula 5.32. Especiació de PFTHM mitjans de l'aigua de la planta pilot funcionant en la riuada del 17 de maig de 2005……...…….....……..73

Taula 5.33. Composició mineral de l'aigua tractada per la planta pilot d'UF en un dia de riuada i mitja de la composició dels dies amb aigua normal……...…..73

Taula 5.34. Descripció de les neteges realitzades en la planta d'UF i les PTM obtingudes……..…….……..76

Taula 5.35. Descripció de les neteges realitzades en la planta d'UF i les PTM obtingudes……..…….....……77

1. GLOSSARI

CAG	Carbó Actiu Granular.
COT	Carboni Orgànic Total.
ETAP	Estació de Tractament d'Aigua Potable.
ICP	Plasma Acoblat Inductivament.
HMI	"Interface Home Machine"
LSI	"Langelier Saturation Index"
m.c.a.	Metres de columna d'aigua.
MON	Matèria Orgànica Natural.
NMP	Nombre Més Probable.
OI	Osmosi Inversa.
PFTHM	Potencial de Formació de Trihalometans.
PLC	Controlador Lògic Programable.
ppm	parts per milió
PTM	Pressió Transmembranària.
R.D.	Real Decret.
TAC	Alcalinitat Total
THM	Trihalometans
UF	Ultrafiltració
UFC	Unitats de Formació de Colònies

2. PREFACI

L'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) que AGBAR té a Sant Joan Despí, tracta l'aigua del riu Llobregat per abastir d'aigua potable a gran part de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Aquesta aigua però, no assoleix les expectatives dels seus consumidors en qüestions organolèptiques (gust i olor), tot i les millores introduïdes en el procés d'afinament, com són l'ozonització i la filtració per carbó actiu granular (CAG). L'actual tractament compleix el límit imposat pel Real Decret 140/2003 en el contingut de trihalometans (THM) de l'aigua potable (150 μg/l a partir de gener del 2004), i a partir de gener del 2009 haurà de cumplir les noves exigències amb un límit de 100 μg/l.

AGBAR va fer un estudi amb noves tecnologies que poguessin millorar l'actual tractament. L'estudi experimental realitzat l'any 2002-03 va consistir en estudiar la viabilitat del tractament d'Osmosi Inversa (OI) amb aigua provinent de diferents punts de la planta i en determinar, per una banda, les condicions òptimes d'operació i, per l'altra, avaluar les millores de la qualitat de l'aigua.

En els assajos realitzats es va demostrar l'eficàcia de l'OI en eliminació de tota mena de substàncies dissoltes en l'aigua, ja siguin ions, matèria orgànica, sals, THM etc., però també la necessitat d'un pretractament que garanteixi el correcte funcionament i durabilitat de les membranes. Es va concloure que per treballar amb OI és imprescindible un pretractament efectiu que eviti una ràpida colmatació de les membranes i que asseguri una reducció del potencial de formació de THM.

Per aquest motiu AGBAR ha decidit fer un estudi amb una altra tecnologia avançada: la Ultrafiltració (UF). Aquesta tecnologia pot ser un pretractament ideal per l'Osmosi Inversa i una alternativa a l'actual procés de clarificació de l'ETAP de Sant Joan Despí. Partint d'aquestes idees, es vol proposar una nova línia de tractament alternativa al procés actual de potabilització de l'ETAP que millori la qualitat de l'aigua tractada.

3. INTRODUCCIÓ

3.1. Objectius

L'objectiu dels assajos pilot amb tecnologies de tractament avançades (Ultrafiltració i Osmosi Inversa) a l'ETAP de Sant Joan Despí, és proposar una nova línia de tractament per adoptar en la planta amb la finalitat de:

- reduir la formació de trihalometans i el seu potencial de formació a l'aigua per complir les noves exigències introduïdes al Reial Decret 140/2003 a l'horitzó de l'any 2009 [ANNEX A].
- millorar la qualitat química i organolèptica de l'aigua.

Per tal d'assolir aquests objectius es necessari introduir noves tècniques ja que l'actual línia de tractament es troba limitada a l'hora d'eliminar:

- els precursors dels THM i així disminuir la formació de THM sense disminuir la dosi de clor a la sortida de l'ETAP, dosificació obligada per llei per tal que l'aigua arribi al consumidor amb un mínim de clor.
- el contingut de sals del riu Llobregat, que persisteixen a la sortida de la potabilitzadora i que potencien el mal gust de l'aigua que arriba a les llars.

Paral·lelament es vol optimitzar la producció d'aigua potable a l'ETAP de Sant Joan Despí ampliant el marge d'alguns enclavaments que obliguen a parar la captació d'aigua del riu i a extreure aigua dels pous. Una de les causes més comunes que obliguen a parar l'ETAP és l'arribada d'aigua amb unes concentracions de carboni orgànic total (COT), amoníac o uns nivells de terbolesa massa elevats per poder ser tractades a la planta sense col·lapsar-la o perjudicar la qualitat sanitària de l'aigua tractada.

3.2. Abast del projecte

Aquest treball es realitzarà en una planta pilot de dimensions industrials, on es durà a terme un estudi exhaustiu de la qualitat de l'aigua obtinguda a les diferents etapes de la línia de tractament amb tecnologies avançades proposada. La planta pilot es posarà a prova tractant aigua en les pitjors condicions que ofereixi el riu Llobregat, per tal de comprovar l'eficàcia i els límits d'aquesta.

4. PROPOSTA DE TRACTAMENT AMB TECNOLOGIA AVANÇADA

El procés de potabilització de l'aigua superficial del riu Llobregat que es realitza a l'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) de Sant Joan Despí, és pot resumir en 4 grans etapes: pretractament, clarificació, afinament i desinfecció final.

1. **Pretractament:** consisteix bàsicament en un desbast de l'aigua i una preoxidació mitjançant una dosificació de clor o diòxid de clor que es consumeix durant el procés de potabilització, seguit d'una eliminació de les sorres per sedimentació.

2. **Clarificació**: s'utilitza un tractament convencional per eliminar les partícules en suspensió que porta l'aigua i que consisteix en una coagulació-floculació, amb sulfat d'alumini o policlorur d'alumini i polielectrolits catiònics, una decantació i una filtració ràpida per sorra.

3. **Afinament:** procés que es va incorporar per millorar les característiques organolèptiques de l'aigua (gust, color i olor). Consta de dues etapes: ozonització i filtració per carbó actiu granular.

4. **Postcloració**: dosificació de clor a la sortida de l'ETAP que assegura la desinfecció de l'aigua durant la distribució.[AGBAR, 1999 i 2003]

L'esquema de l'ETAP de Sant Joan Despí que mostra a la Figura 4.1 ens dona una idea de la complexitat del procés de potabilització de l'aigua superficial del riu Llobregat, un dels processos més sofisticats d'Europa.

Figura: 4.1. Esquema de l'actual tractament de potabilització d'aigua superficial del riu Llobregat a l'ETAP de Sant Joan Despí.

La proposta de tractament alternatiu per millorar la qualitat de l'aigua potabilitzada a l'ETAP de Sant Joan Despí la trobem esquematitzada a la Figura 4.2. La diferencia més significativa radica en l'eliminació de la preoxidació del pretractament, és a dir, no seria necessari una dosificació de clor o diòxid de clor. L'aigua superficial del riu, després de passar per les cambres d'eliminació de sorres del riu passaria per un "Procés de Coagulació Intensificada i Ultrafiltració" (patentat per Zenon Environmemtal Inv.) que substitueix el tractament convencional de clarificació utilitzat a la planta. L'aigua filtrada per les membranes d'Ultrafiltració és tractada per Osmosi Inversa (OI) i paral·lelament pel procés d'afinament actual de l'ETAP, ozonització seguida d'una filtració per CAG. L'aigua que surt d'aquestes dues línies de tractament paral·leles es barrejada i posteriorment clorada.

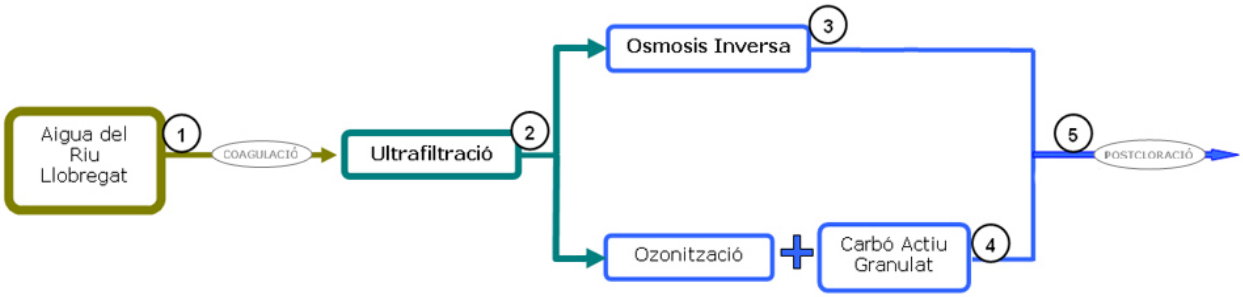

Figura: 4.2. Esquema de la proposta de tractament alternatiu per l'ETAP de Sant Joan Despí.

L'aprofitament de l'actual línia de postractament de la planta de Sant Joan Despí (ozonització i filtració per CAG) per tractar part de l'aigua ultrafiltrada i barrejar-la amb el permeat de l'OI, pal·lia la necessitat de remineralització de l'aigua osmotitzada. Aquesta aplicació parcial del procés d'OI estalvia l'alt cost que suposaria la implantació d'una planta d'OI per tractar 5,3 m^3/s, que és concessió de l'actual de l'ETAP.

4.1. Anàlisi de les alternatives

Durant els estudis experimentals que es van realitzar anteriorment en la planta pilot d'Osmosi Inversa, es van avaluar diverses aigües procedents de diferents etapes de l'ETAP de Sant Joan Despí. L'objectiu de fer proves amb aigües de diferent procedència era trobar aquella amb qualitat suficient per ser tractada per les membranes d'Osmosi Inversa. En l'estudi es va provar l'eficàcia de l'OI amb aigua de les etapes filtració per sorra, ozonització i filtració per CAG.

1. Aigua filtrada per sorra

Després del tractament de coagulació, floculació, i sedimentació, l'aigua acaba el seu procés de clarificació, tot passant, a una velocitat apropiada, a través d'un llit de sorra de 60 cm d'espessor i de granulometria adequada. La seva funció és retenir, en els intersticis que queden entre els grans de sorra, aquelles partícules d'una grandària inferior a la necessària per ser eliminades per precipitació en els decantadors.

2. Aigua ozonitzada

Es tracta d'aigua de l'ETAP que ha patit el tractament de preoxidació (amb clor i/o diòxid de clor), coagulació, decantació, filtració per sorra i ozonització. L'ozonització és una etapa intermèdia en el procés de millora del tractament a què es sotmet l'aigua després d'haver sofert el tractament convencional de clarificació: l'afinament.

L'aigua, un cop tractada amb ozó, travessa uns filtres de carbó actiu. La combinació d'aquests dos processos, dóna molt bons resultats a l'hora d'aconseguir una aigua sense color i amb nivells de gust i olor baixos com a conseqüència d'una disminució general del contingut de productes orgànics dissolts a l'aigua, principalment, degut al caràcter fortament oxidant de l'ozó.

L'ozó, gràcies al seu gran poder oxidant i desinfectant, té la capacitat de destruir tot tipus de microorganismes (bacteris, algues, virus,..), oxidar al màxim determinades substàncies inorgàniques i descompondre substàncies orgàniques (detergents, pesticides,...) facilitant així la seva posterior adsorció als filtres de CAG.

3. Aigua filtrada amb carbó actiu granular (CAG)

L'etapa de filtració per CAG és l'ultima de la línia de tractament, d'on l'aigua surt en condicions per ser clorada i distribuïda. Els filtres tenen un llit de CAG de 1,5 m d'espessor que permet un temps de contacte d'uns 8,7 minuts.

La filtració per carbó actiu té com a funció la retenció mecànica de partícules en suspensió en l'aigua, similar a la que fa un filtre de sorra, l' adsorció de virus i matèries orgàniques (degut a l'alta porositat del carbó actiu) i la digestió de la matèria orgànica per part de bacteris residents en els porus del carbó actiu. El CAG també reté aquells compostos que causen els mals olors i sabors, així com aquells causants del color a l'aigua.

En cap de les diferents etapes del tractament de l'ETAP de Sant Joan Despí s'aconsegueix complir, en un 100% del temps, els paràmetres de qualitat recomanada per les membranes d'OI. Per aquest motiu va ser necessari fer proves per definir el tipus de pretractament necessari per l'adequació de l'aigua d'entrada a la planta d'OI segons la seva procedència i establir la dosificació òptima de reactius depenent de la qualitat química de l'aigua.

Tot i que després dels pretractaments específics, l'aigua va complir la majoria de les especificacions necessàries per no fer malbé les membranes, els índex de Fouling que es van assolir anaven entre 2,5 i 5 quan s'utilitzaba clor a la preoxidació i en els casos en que es dosificava diòxid de clor, aquests valors es disparaven. Això es tradueix en un embrutiment més ràpid de les membranes i, per tant, un cost major de neteja i reposició d'aquestes, afegit a l'elevat cost que suposen els diferent reactius que s'han d'utilitzar al pretractament.

La Ultrafiltració pot ser una opció de pretractament viable, capaç de produir un aigua per sota dels nivells acceptables amb una simple operació. Aplicant el procés de coagulació intensificada seguida d'Ultrafiltració, es vol arribar a substituir l'actual sistema de preoxidació i clarificació de l'ETAP de Sant Joan Despí i reduir els reactius del pretractament de l'OI utilitzant només el dispersant (o antiincrustant).

4.2. Ultrafiltració com a nova tècnica

En els processos de potabilització, les noves reglamentacions sobre desinfecció i subproductes han fet que tractaments convencionals de clarificació (coagulació-sedimentació-filtració) no siguin capaços de complir els nous requeriments a partir de determinades aigües crues. [Mourato,1998]

Els tractaments convencionals no resulten molt eficaços a l'hora de filtrar i desinfectar l'aigua potable d'agents patògens com Cryptosporidium y Giardia. Per assegurar els nous requeriments de remoció de protozous específics, virus i bactèries, s'ha d'augmentar la dosi de desinfectants com el clor. Aquest augment en la dosi de clor pot tenir com a conseqüència una concentració major de subproductes d'oxidació, com són els trihalomentans (THM).

Els processos convencionals tampoc resulten molt efectius quan el color i el COT són massa elevats en l'aigua d'alimentació. Davant d'aquesta nova situació ha estat necessari la cerca

de noves tecnologies: les **membranes**, que s'apliquen cada cop més en el camp de l'aigua potable [Rambie, 2003].

El tractament de l'aigua potable mitjançant les membranes d'Ultrafiltració és un procés revolucionari que pretén reemplaçar a la clarificació i desinfecció fisicoquímica convencional.[AWWARF, 1998].

L'aplicació de la UF utilitzant coagulació intensificada ha estat recentment desenvolupada i aplicada a l'eliminació del color, COT i precursors orgànics dels subproductes de desinfecció en la potabilització de l'aigua. [Best, 1999]

La UF es té actualment una gran varietat d'aplicacions [AWWARF,1998]:

- **Bioreactors a membrana i filtració terciaria:** el tractament biològic es combinat amb la UF que reemplaça la funció de la clarificació secundària i els filtres de sorra d'un sistema convencional de fangs activats. Es poden citar alguns exemples on s'utilitza aquest sistema actualment, com en Huntsville, Tennessee, en Corona, Califòrnia o en Platja Blanca a Canàries
- **Potabilització d'aigua per consum humà:** gràcies a la seva eficàcia eliminant quist de Giardia i ooquists de Cryptosporidium s'utilitza en poblacions com la de Collingwood, Ontario.
- **Pretractament per operacions de membranes d'OI/NF:** s'utilitzen per obtenir aigües de molt poca terbolesa i amb Índex de Fouling baixos. Hi han casos on s'aplica abans de l'OI en el tractament d'aigües residuals com en Bedok (Singapur) o d'aigua de mar com en la província de Zhejiang (Xina), així com tractant aigua de riu per a una posterior desmineralització per ser utilitzada en l'estació elèctrica de cicle combinat d'Autaugaville, Alabama.
- **Pretractament per operacions d'intercanvi iònic .**
- **Esterilització en fred de productes farmacèutics o alimentaris.**
- **Línies secundaries de reutilització** en tractaments d'aigües de processos industrials o d'aigües residuals urbanes com en el cas dels apartaments Solaire en Battery Park de Nova York que reutilitzen l'aigua de pluja i l'aigua residual tractada amb UF en els lavabos (Figura4.3).

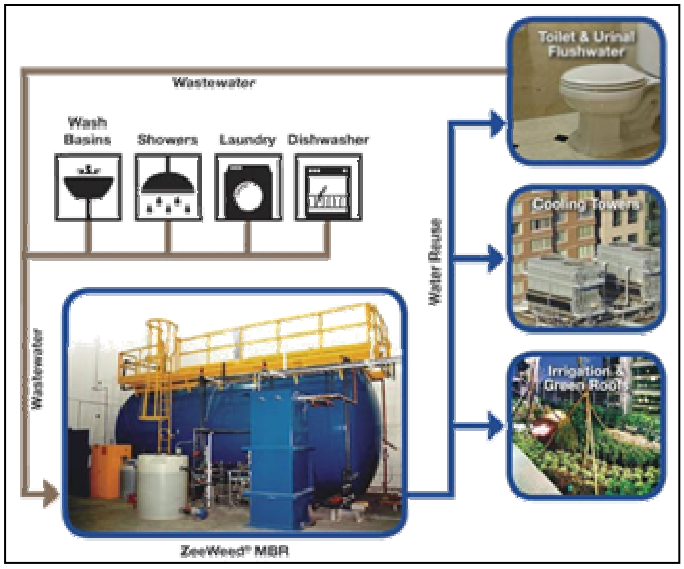

Figura 4.3. Exemple d'aplicació de la UF per reutilitzar aigües residuals urbanes. (Font: Zenon Environmental Inc.)

4.3. Tecnologia i aplicació dels processos d'Ultrafiltració com a pretractament per l'Osmosi Inversa

Les membranes es poden definir com barreres o pel·lícules de material selectives (Figura 4.3) que permeten el pas de certes substàncies depenent del diàmetre dels porus i de la seva distribució.

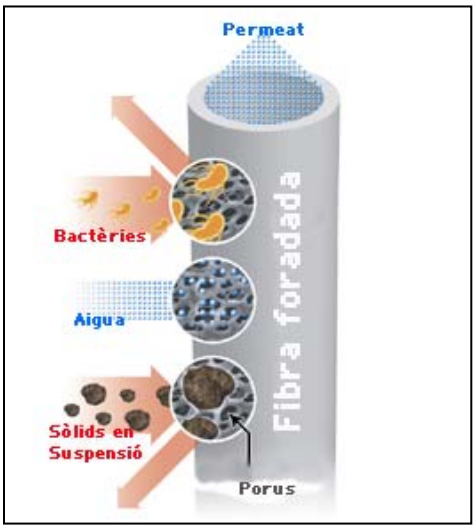

Figura 4.4. Selectivitat de la membrana d'Ultrafiltració. (Font: Zenon Environmental Inc.)

Les membranes sintètiques estan fabricades amb materials plàstics, ceràmics, metàl·lics o materials porosos impregnats amb substàncies líquides o gelatinoses. Les membranes ceràmiques i metàl·liques s'apliquen en el camp industrial, mentre que les polimèriques s'utilitzen cada cop més en tractaments de potabilització.

Les operacions de membrana mitjançant pressió són processos continus dissenyats per separar partícules en suspensió o dissoltes de diferent grandària utilitzant membranes amb el diàmetre de porus adequat. En ordre decreixent de partícules i grandària de porus es troben les tècniques de *Microfiltració* (MF), *Ultrafiltració* (UF), *Nanofiltració* (NF) i *Osmosi Inversa* (OI). En la Figura 4.4 es pot veure el rang de filtració en que treballa cada tècnica i el diàmetre dels porus de cada una d'elles.

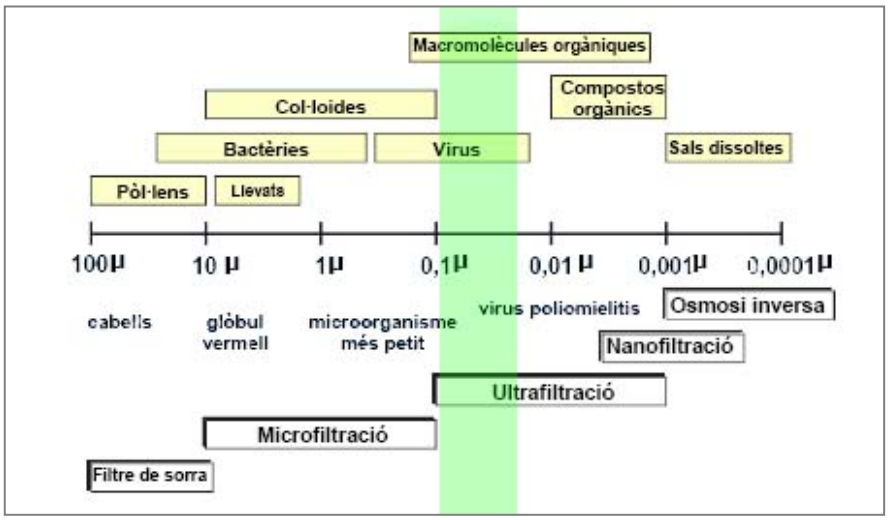

Figura 4.5. Espectre de filtració dels diferents processos de membranes a pressió. Ressaltat en verd es mostra el rang en que es troben les membranes d'UF utilitzades en l'estudi. (Font: AGBAR)

La utilització d'un procés d'UF com a pretractament de l'OI, a diferència dels pretractaments convencionals de clarificació (floculació-decantació-filtració), permet que les membranes d'OI rebin un aigua amb unes característiques pràcticament uniformes amb independència de les fluctuacions que pugui patir l'aigua bruta. Això permet millorar de forma important el funcionament de les membranes d'OI reduint la necessitat de neteja i allargant la seva vida útil, proporcionant un important estalvi econòmic. [Fariñas, 2004]

Per altra banda s'ha demostrat que la UF seguida d'una filtració per carbó actiu permet obtenir nivells de COT molt baixos [AWWARF, 1998]. el que ens permet plantejar-lo com una alternativa al sistema de clarificació actual de la planta. Si fem una comparació amb

tractaments convencionals (Taula 4.1), podem citar els següents avantatges de la UF respecte els procés actual de clarificació (decantació i filtració per sorra):

- Producció d'un aigua de molt bona qualitat per l'alimentació de l'OI degut a la seva capacitat de produir constantment un SDI inferior a 3.
- No obertura de camins, com en els medis filtrants granulars, ja que es tracta d'una barrera física
- Disseny compacte de la planta de tractament gràcies a la gran superfície de filtració que posseeixen les membranes en un espai reduït i a que no requereix un temps de retenció tan elevat per a la formació dels petits flòculs i per tant pot reduir l'espai necessari per la floculació.
- Operació continua i fàcilment automatitzable.
- Redueix el número d'etapes de la planta de tractament actual al substituir la preoxidació i la clarificació.
- La membrana d'UF no necessita que la grandària dels flòculs sigui molt gran per poder retenir-ho i per tant el procés requereix una dosis molt més petita que un procés de clarificació convencional. Això representa una disminució en els costos d'operació associada al consum de coagulant i a la producció de fang.

Taula 4.1. Eficàcia de diferents processos de tractament d'aigua per eliminar contaminants. A= excel·lent (100-90% d'eliminació); B= bona (90-60%); C= bé (60-20%); D= pobra (20-0%) (Font: AWWARF, 1998)

	Pretractament convencional	Ultrafiltració	Ultrafiltració amb coagulació	Osmosi Inversa
Coliformes	A-B	A	A	A
Virus	A-B	A	A	A
Terbolesa	A	A	A	A
TOC	C-D	D	A-B	B-C
THM	D	D	A-B	A-B
Ferro	A-C	B	B	A-B
Manganès	A-C	B	B	A-B
Color	B-C	C	C	A-B

A l'hora d'aplicar la UF com a pretractament per l'OI s'ha de tenir en compte que tot pretractament és específic de l'aigua d'alimentació i del procés emprat. Els factors que s'han de tenir en compte quan es contempla un pretractament per l'Osmosi Inversa són:

- Qualitat de l'aigua crua i de l'aigua final que es vol obtenir.
- Configuració del mòdul (en espiral, fibra buida, tubular).
- Material de les membranes.

5. MATERIALS I MÈTODES

5.1. Descripció experimental

L'estudi de la planta pilot ve marcat per un pla de control de les diferents plantes i una sèrie d'anàlisis realitzats al laboratori de Sant Joan Despí. S'han realitzat proves des de la posada en marxa de les plantes pilots al febrer del 2005 fins a finals de juliol del mateix any.

Durant el mes de febrer i la primera quinzena de març es va dur a terme l'adequació de la planta d'UF i la posada a punt de les plantes pilots d'OI i d'ozó i filtres de CAG. A partir del 15 de març la línia de tractament va començar a estar totalment operativa per realitzar les proves planificades.

Els paràmetres de control de la planta són anotats mínim un cop al dia en unes plantilles creades per poder seguir l'evolució del tractament i l'estat de la planta. L'usuari pren les dades de pressions, cabals, volums, dosificacions, hores de treball, etc. dels equips de la planta d'OI i d'UF en les seves respectives plantilles a les Figures 5.1 i 5.2.

Aigües de Barcelona

Planta pilot de Osmosi Inversa

Usuari
Mes

Hora									
Data									
Parameter									
Cabal aspiració (m^3/h)									
Totalitzador cabalím. (m^3)									
Pressió aspiració (bar)									
Pressió impulsió (bar)									
Pressió diferencial (bar)									
Cabal permeat (m^3/h)									
Totalitzador cabalím. (m^3)									
Cabal rebuig (m^3/h)									
Conversió (%)									
Consum UV1 (W/m^2)									
Consum UV2 (W/m^2)									
pH entrada rak									
conductivitat entrada rak									
dosificació dispersant									
Notes									

Pàgina

Figura 5.1. Plantilla de control de la planta pilot d'Osmosis Inversa.

Varies vegades al dia s'han d'apuntar tots els paràmetres de control de la planta pilot d'UF a la plantilla que ens mostra la Figura 5.2 (cabal d'entrada i de permeat, pressió transmembranària abans, durant i després del contrarentat, terbolesa de l'aigua crua i del permeat, hores de funcionament dels equips, dosificació de coagulant i tipus). En l'apartat d'observacions es detallaran els incidents o fets importants que tinguin lloc.

Aigües de Barcelona

Planta Pilot
Ultrafiltració

Usuari
Mes

Hour									
Date									
Parámetro									
$Q_{FeedWater}$ (gpm)									
$Q_{Permeate}$ (gpm)									
$TMP_{before\ BP}$ (psi)									
TMP_{BP} (psi)									
$TMP_{after\ BP}$ (psi)									
$NTU_{FeedWater}$									
$NTU_{Permeate}$									
Tª filtration (ºC)									
Blower pressure (psi)									
Run Hours $_{Blower}$									
Run Hours $_{Permeate\ Pump}$									
Run Hours $_{Backpulse\ Pump}$									
Run Hours $_{Coagulant\ Pump}$									
Run Hours $_{Static\ Mixer}$									
rpm coagulant pumt									
FeCl3 (mg/l)									
Notes									

Pàgina

Figura 5.2. Plantilla de control de la planta pilot d'Ultrafiltració

Durant l'operació de la planta d'OI hi ha una sèrie de paràmetres que han de ser controlats. Per tal de portar aquest control es disposa d'un col·lector de dades que enregistra cada cert temps la mitjana de 11 paràmetres diferents del tractament (com ara pH, conductivitats, etc.), tot i que existeixen altres paràmetres que han d'ésser anotats per l'usuari amb l'observació dels displays dels diferents equips. Així, en l'explotació diària de la planta pilot es prenen les dades a camp de pressions d'aspiració i impulsió de les bombes, pressió diferencial de les membranes, cabals d'alimentació, producte i rebuig, cabal de dosificació de reactius, consum dels ultraviolats i conductivitats.

La planta pilot d'Osmosi Inversa disposa, a més, d'un col·lector de dades que enregistra cada 10 minuts un total de 12 paràmetres diferents. Aquestes dades permeten fer un seguiment en continu de l'evolució de la planta d'Osmosi Inversa.

Diàriament es prenen mostres de l'aigua de diferents punts de la línia de tractament per dur-les al laboratori on són analitzades. Els paràmetres que s'analitzen són la terbolesa, la conductivitat, el carboni orgànic total i l'amoníac. Un cop a la setmana és realitza un anàlisi més exhaustiu, com podem observar a la Taula 5.1 on es determina entre altres el potencial de formació de thihalometans (PFTHM) i la composició mineralògica (cations i anions). El protocol seguit en el laboratori a l'hora de fer les anàlisi es pot trobar a l'ANNEX A.

La mostra setmanal es pren quan el procés està estabilitzat després d'unes 24 hores de treball continuat per assegurar-nos de que la mostra és representativa.

Hi ha quatre punts importants de mostreig en la planta pilot (veure Figura 4.2):

1. **Aigua crua:** aigua del riu Llobregat que alimenta la planta pilot d'UF
2. **Aigua UF:** aigua ultrafiltrada o permeat de la planta pilot d'UF
3. **Aigua UF+OI:** aigua ultrafiltrada i osmotitzada
4. **Aigua UF+O3+CAG:** l'aigua ultrafiltrada que ha passat per l'etapa d'afinament (ozonització i filtració per carbó actiu granular)

Abans d'agafar qualsevol mostra es deixa fluir l'aigua per l'aixeta durant uns 10 minuts per assegurar la renovació de l'aigua a les canonades.

Les mostres per les analítiques diàries es porten en ampolles de plàstic d'un litre. Aquest litre d'aigua serveix a més, per determinar el pH, el TAC i la composició d'anions el dia que fan les analítiques setmanals.

Per realitzar l'ICP setmanal que determina la composició mineralògica catiònica de l'aigua, es prenen les mostres en ampolles de vidre de 250 ml. L'anàlisi del potencial de formació de trihalometans necessita una altre ampolla de plàstic d'un litre. Aquestes ampolles són clorades per l'analista un cop arriban al laboratori deixant mínim 3 ppm de clor lliure residual per tal que en resti 1ppm a les 24 hores.

Taula 5.1. Llistat dels anàlisis programats i control de la periodicitat.

ANÀLISIS DIARIS	Unitats
COT	(mg C/l)
Terbolesa	(NTU)
Amoníac	(mgNH_3/l)
Conductivitat	(µS/cm)
pH	(unitats pH)
Temperatura	(ºC)
ANÀLISIS SETMANALS	
Alcalinitat (TAC)	(mg $CaCO_3$/l)
Índex de Langelier	
ICP	(µg/l ó mg/l)
Cromatografia	(mg/l)
Potencial de formació THM (24h)	(µg/l)
Bacteris aer.22ºC	(UFC/ml)
Eschericcia coli	(NMP/100ml)
ALTRES	
Recompte de partícules	(nº part./ml)
Jar Test (càlcul dosis coagulant)	(ppm)

Les mostres setmanals per les anàlisis bacteriològiques s'han de portar al laboratori en ampolles estèrils de 250 ml, entre el dilluns i el dimecres, ja que es necessiten fins quatre dies per fer el cultiu. És important no omplir les ampolles fins dalt per tal de que hi hagi oxigen, doncs volem determinar els bacteris aerobis.

La mesura de l'Índex de Fouling es realitza en la pròpia planta pilot amb l'ajuda d'un aparell que mesura l'Índex just abans d'entrar a les membranes d'OI.

L'anàlisi de recompte de partícules es va realitzar diàriament durant les dues primeres setmanes i després es va realitzar un cop al mes per controlar l'efectivitat i l'estat de les membranes.

El Jar Test s'utilitza per definir la dosificació de coagulant necessària a l'inici de la línia de tractament. Es van realitzar tres proves de floculació amb Jar Test [ANNEX B], una a l'inici de les proves amb la planta d'Ultrafiltració i les altres dues quan es va iniciar l'experiència d'afegir àcid al tanc de coagulació per disminuir el pH de l'aigua crua. Aquesta experiència va coincidir també amb el canvi d'estació i per tant un canvi en la temperatura i qualitat de l'aigua, que influeix en la dosificació de coagulant.

5.1.1. Descripció del procés d'Ultrafiltració

La planta pilot d'Ultrafiltració de l'Estació de Tractament d'Aigua Potable de Sant Joan Despí està proveïda del sistema de potabilització ZeeWeed® 500 que permet tractar uns 14 m^3/h d'aigua crua. Amb aquest procés d'Ultrafiltració és vol obtenir un aigua de gran qualitat que compleixi les especificacions de l'aigua d'alimentació de l'Osmosi Inversa.

Aquesta planta es caracteritza pel seu procés de "coagulació intensificada" patentat per Zenon Environmental Inc. Això vol dir que la planta incorpora un procés de coagulació abans de la filtració per tal de millorar la qualitat del permeat i per alleugerir o facilitar el treball de les membranes. Aquest sistema podria substituir el sistema de clarificació convencional que s'utilitza actualment a l'ETAP de Sant Joan Despí (coagulació-floculació-decantació-filtració).

La membrana d'Ultrafiltració (ZeeWeed®500) utilitzada en les proves pilot és de fibra buida reforçada amb una porositat nominal de 0,04 μm i una porositat absoluta de 0,1μm. Aquesta membrana és una barrera per la terbolesa, bacteris i virus i reté col·loides, partícules i espècies solubles d'elevada massa molecular, com quists de Giardia (6-16 μm) i ooquists de Cryptosporidium (4-7 μm). Aquestes membranes, gràcies al seu rang de filtració, proporcionen un aigua de gran qualitat (Figura 5.2)per les membranes d'Osmosi Inversa i pels filtres de CAG

Taula 5.2. Resultats típics d'un tractament d'Ultrafiltració amb coagulació intensificada.

	Resultats	Unitats
Terbolesa	< 0,1	NTU
Sòlids en Suspensió	< 1	mg/l
Ferro	< 0,05	mg/l
	Eliminació	
Bactèries	> log 5	
Quists Giardia	> log 6	
Ooquists Cryptosporidium	> log 6	
Virus	> log 2	
Bacteriòfags	> log 2,5	

Les fibres buides són elements llargs de 165 cm, flexibles i de gran duració, amb un diàmetre interior superior als 0,5 mm. La membrana i el seu revestiment estan fabricats amb el polímer hidròfob de polifluorur de vinilidè (PVDF) modificat que es caracteritza per la seva estabilitat química i tèrmica. Aquest revestiment assegura una vida útil més llarga, una gran resistència

a la ruptura i un rang de pH que permet realitzar neteges químiques utilitzant àcids, bases o oxidants.

El tanc de filtració consta d'un caset de 8 mòduls. Cada mòdul és la mínima unitat reemplaçable de la unitat de filtració i consisteix en centenars de fibres orientades verticalment i fixades per la part inferior i superior per dos capçaleres (Figura 5.3). Les fibres són lleugerament més llargues que la distancia entre capçaleres. Aquest disseny permet el moviment de les fibres quan s'aireja el mòdul i el pas de les bombolles d'aire entre les fibres per arrossegar els sòlids dipositats en la seva superfície.

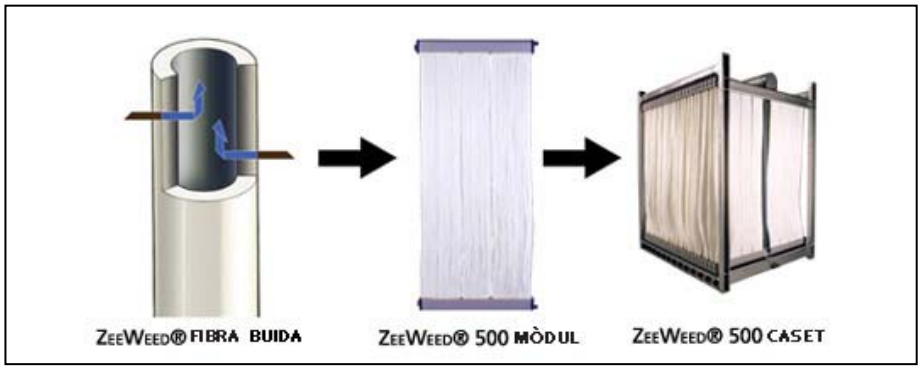

Figura 5.3. Disseny dels casets de ZeeWeed®500 utilitzats en les proves pilot d'Ultrafiltració. (Font: Zenon Environmental Inc.)

Els mòduls es troben immersos en l'aigua bruta permetent que la gran superfície membranària de cada mòdul (60m^2) estigui en contacte amb el líquid a tractar. Aquest sistema "outside-in" ens proporciona alguns avantatges:

1. Més resistència a l'embrutiment. L'aigua bruta es filtra de l'exterior cap a l'interior de la fibra buida, per tant, per l'interior només flueix aigua ultrafiltrada, i d'aquesta manera els sòlids inerts i les bactèries no embruten l'interior que seria molt més difícil de netejar.
2. Baix consum energètic. El fet d'utilitzar la succió per filtrar i de posseir una major superfície de filtració amb una elevada porositat a les membranes, permet operar sota baixa pressió (-0,14 a -0,55 bar), al contrari que les membranes tradicionals que treballen a altes pressions.
3. Vida útil més llarga. La succió permet a les membranes estar sotmeses a pressions més baixes i el fet de no embrutar-se tan sovint li permet estar menys exposada a les agressions químiques de les neteges.
4. Operació i manteniment més fàcil.

5.1.1.1. Producció d'aigua ultrafiltrada

Durant l'operació de la planta d'UF tenen lloc 3 processos: coagulació, filtració i contrarrentat, que es troben automatitzats per un PLC (Controlador Lògic Programable) des d'on es poden controlar tots els equips. L'esquema de la planta pilot es pot veure a la Figura 5.4.

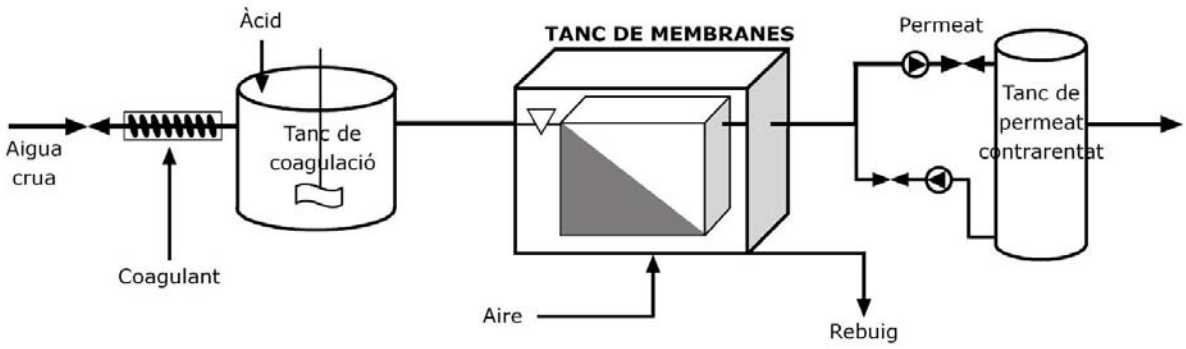

Figura 5.4. Esquema de la planta pilot d'Ultrafiltració

Les operacions són controlades automàticament pel PLC i no requereix un operador pels processos normals de funcionament. El PLC no solament controla, sinó que optimitza el rendiment del sistema. Els imputs de diversos instruments monitoritzats arriben al PLC, que realitza els ajustaments necessaris a les vàlvules automàtiques i a les velocitats de les bombes per tal de millorar el rendiment.

La pantalla HMI (Interface Home Machine), permet l'operador:

- Controlar el sistema i el seu rendiment i manteniment, mitjançant els botons de la pantalla tàctil.
- Rebre alertes i alarmes.
- Veure l'estat de l'equipament i les hores de funcionament, així com el mode d'operació

Els botons tàctils HOA (Hand-Off-Auto) permeten decidir el mode per:

- La injecció d'aire.
- La bomba de permeat.
- La bomba de retro-rentat.

Si activem *Hand* els aparells funcionaran sempre a pesar del sistema automàtic. Quan es troba en *Off* el sistema no es controlat pel PLC automàticament, tot al contrari de quan es troba en *Auto*.

1. Coagulació:

L'aigua que arriba a la planta pilot d'Ultrafiltració prové directament del riu Llobregat. Es disposa d'una bomba situada just abans de les reixes de captació de l'ETAP, que impulsa l'aigua crua del riu fins el tanc de coagulació. A l'entrada de la planta pilot hi ha una vàlvula controlada des del panell de control i que només s'obre quan la planta està en marxa. Una vàlvula de diafragma permet regular el cabal d'entrada manualment. Amb l'ajuda d'un rotàmetre es fixa el cabal en 70 gpm (15,9 m3/h).

El coagulant s'aplica directament en la canonada d'entrada d'aigua crua que es submergeix fins al fons del tanc de coagulació. Això proporciona el suficient moviment del fons del dipòsit per evitar la sedimentació i per barrejar el coagulant amb l'aigua. El coagulant és bombejat per la bomba dosificadora des d'un dipòsit de 600 litres proporcionat per l'empresa proveïdora, fins la canonada d'entrada al tanc de coagulació, dins de la qual hi ha un agitador estàtic. Amb l'ajuda de l'agitador que posseeix el tanc, es garanteix una barreja homogènia, permetent la formació dels petits flocs. El pH de l'aigua es pot regular amb l'addició d'àcid mitjançant una bomba dosificadora que és controlada per un sensor de pH situat dins del tanc de coagulació. La bomba està acoblada al dipòsit d'àcid de 500 litres de capacitat i injecta l'àcid directament al tanc de coagulant.

L'afluent flueix, per un sobreeixidor que hi ha al tanc de coagulació, cap el tanc on les membranes es troben submergides.

2. Filtració

La filtració dura 15 minuts i comença quan el nivell del tanc de membranes arriba al nivell mínim per poder operar. La bomba de succió es posa en marxa i comença la producció de permeat degut al buit creat. El buit generat per la bomba està limitat en -8 psi (-0,552 bar) per tal de protegir la integritat de les membranes.

La bomba de permeat crea el buit suficient per tal que el permeat travessi la membrana passant a l'interior de la fibra, on és conduït cap a la capçalera superior de cada mòdul i d'aquí és recol·lectat per una canonada que porta el permeat cap el tanc de contrarentat (o

tanc de permeat). Aquest posseeix una vàlvula de diafragma que, juntament amb un rotàmetre, ens permet regular el cabal de producció que sòl ser el 90% del cabal d'aigua bruta. El permeat del tanc de contrarentat, un cop arriba fins el nivell del sobreeixidor, flueix cap el tractament posterior.

3. Contrarentat

Durant el procés de filtració, tots els sòlids queden acumulats a l'exterior de la fibra restringint el pas del flux. Per mantenir el rendiment de la membrana, es fa necessari un sistema periòdic de neteja: el procés de contrarentat.

El contrarentat és un procés controlat automàticament pel PLC on el flux passa en sentit invers al de la filtració (de l'interior a l'exterior de la fibra). L'aigua de contrarentat prové del tanc de contrarentat i és impulsat per la bomba de contrarentat cap als mòduls pels mateix conductes per on es recol·lecta el permeat.

El tanc està equipat amb una sonda de nivell mínim que posa en marxa una alarma. En el cas de que aquesta alarma romangui durant més de 10 min, el sistema es para per evitar que la bomba d'impulsió funcioni en sec i que entri aire en les membranes.

L'operador controla l'interval entre els contrarentats i la duració d'aquests. Els rangs més comuns són:

- Interval temps: 10 a 30 minuts
- Durada: 15 a 30 segons

Durant tota l'experimentació, aquest dos paràmetres han estat fitxats en un interval de 15 minuts i una durada de 30 segons.

El cicle de contrarentat només opera quan el tanc de membranes es troba per sobre del nivell d'operació i les membranes estan treballant, i si el nivell del tanc de contrarentat està per sobre del nivell mínim. La bomba de contrarentat es posa en marxa una vegada es para automàticament la bomba de permeat (després de l'interval de temps de filtració fitxat), s'ha tancat la vàlvula de permeat i obert la de contrarentat.

Durant el procés de filtrat i contrarentat fem ús d'un sistema d'injecció de baixa pressió d'aire que ens proporciona la turbulència necessària al voltant de les fibres per arrossegar les partícules que es van acumulant i per agitar el contingut del tanc. A més, per evitar

l'excessiva acumulació de sòlids, el tanc de les membranes està equipat amb un sobreeixidor que suposa un rebuig del 10% durant la filtració.

La planta pilot té dos terbolímetres, un ens dona la lectura de terbolesa de l'aigua crua just abans de la vàlvula d'entrada a planta i l'altre ens informa de la terbolesa de l'aigua permeada que sobreïx del tanc de permeat. Si es dona el cas que la terbolesa del permeat es superior a 1NTU, el PLC pararà la planta automàticament.

Hi han un protocol a seguir amb la planta pilot d'UF:

- Comprovació del bon funcionament dels equips directes de la unitat (vàlvules, bombes, compressor d'aire, nivell del tanc de membranes…)
- Comprovació del bon funcionament dels equips de dosificació dels reactius (coagulant i àcid), del nivell dels reactius i de la correcta formació de flòculs en el tanc de barreja. En cas de detectar aire en el sistema de dosificació, es procedeix a purgar-ho mitjançant la vàlvula posterior de la bomba. Controlant el pH del tanc de coagulació i del tanc de membranes es comprova que la dosificació d'àcid funciona correctament.
- En cas de tenir una concentració massa elevada de sòlids dins del tanc de membranes, es procedeix al seu drenatge, parcial o total segons la gravetat.
- Verificació del bon funcionament dels terbolímetres d'entrada i de sortida, comprovant que el cabal que arriba a cada un sigui el correcte:
    - 600-800 ml/min en el terbolímetre d'entrada d'aigua crua
    - 300-500 ml/min pel de permeat

5.1.1.2. Neteja de les membranes

La neteja de les membranes es necessària quan la pressió transmembranaria (PTM) arriba a les condicions d'alarma del valor PTM. Aquest valor es de -8 psi en condicions de producció i de 8 psi en el contrarentat.

Un cop parada la planta es drena el tanc de membranes obrint la vàlvula de bola situada sota el quadre de control. Un cop buit, s'omple el tanc amb aigua de xarxa fins que les membranes estiguin submergides. Mentre s'està omplint es pot anar afegint el producte químic.

Es poden realitzar dos tipus de neteges, la bàsica i l'àcida. Per una neteja més efectiva es realitza una neteja bàsica seguida d'una d'àcida.

- Per la neteja bàsica fem ús d'hipoclorit sòdic. Es recomana que el pH estigui al voltant de 8 per tal que la neteja sigui efectiva. Es pot arribar fins a un contingut màxim de 1000 ppm de clor, que equival a uns 32 litres d'hipoclorit sòdic comercial tenint en compte la capacitat del tanc de membranes.
- En el cas de la neteja àcida, s'ajusta a pH 2-2'2 amb àcid clorhídric, que normalment equival a uns 10 litres de producte comercial.

Per barrejar la solució química en el tanc es posa el sistema d'injecció d'aire en marxa durant uns 10-15 s.

Les membranes es deixaran submergides en la solució durant un mínim de 5 hores per tal que la neteja sigui efectiva, podent-se deixar submergides durant tota la nit sense cap problema. Un cop finalitzada la neteja bàsica, s'aireja el tanc per remoure les partícules i es drena la solució de neteja.

Si es vol realitzar la neteja àcida, s'esbandeixen les membranes i el tanc amb aigua de xarxa i es tornar a omplir el tanc amb aigua de xarxa, s'afegeix l'àcid i es segueix el mateix procediment que per la neteja bàsica.

Després d'una neteja, és molt important que abans de començar a produir s'esbandeixi bé el tanc per evitar el pas de clor a les membranes d'OI. Per esbandir s'omple el tanc amb aigua de xarxa o bé aigua crua, s'aireja el tanc i posteriorment es drena totalment.

5.1.1.3. Inertització de les membranes d'Ultrafiltració

Per tal de conservar les membranes mentre no s'està utilitzant la planta pilot, és necessari deixar-les submergides en una solució amb un contingut mínim de clor residual que impedeixi la reproducció bacteriana dins del tanc de membranes.

Per realitzar la solució d'inertització s'utilitza hipoclorit sòdic i aigua de xarxa, seguint el mateix procediment que per una neteja. L'única diferencia resideix en que no és necessària una dosis de clor tan elevada com en una neteja. Es tracta de mantenir uns nivells mínims de clor residual (3-7 mg Cl_2/l), podent escollir la dosis de clor fins un màxim de 1000 ppm en funció dels dies que volem deixar la planta parada.

Es recomana realitzar una neteja bàsica abans d'inertitzar si la intenció es deixar la planta més de 24 hores sense funcionar. En aquest cas, després de la neteja s'esbandeix

el tanc amb aigua de xarxa i es torna a omplir amb aigua de xarxa i hipoclorit fins uns 500 ppm de clor, d'aquesta manera garantim la presencia mínima de clor residual durant uns dies.

Per assegurar-se que la concentració de clor lliure residual es troba dins dels límits mínims acceptables, es realitzen periòdicament tests de l'aigua amb un colorímetre. Una altra opció es comprovar que el pH es manté al voltant de 8 i en cas contrari, rectificar-ho amb l'addició de més solució clorada.

Si la planta roman apagada molts dies, es recomana airejar periòdicament per tal d'evitar que es desenvolupin condicions anòxiques o anaeròbies en el tanc (és convenient engegar manualment l'aire durant 10 min cada 24 h).

5.1.2. Descripció del procés d'Osmosi Inversa

El procés d'operació de la planta pilot d'Osmosi Inversa de l'Estació de Tractament d'Aigua Potable de Sant Joan Despí va destinat a reduir el contingut en sals i a millorar en general la qualitat de l'aigua potabilitzada.

5.1.2.1. Producció d'aigua osmotitzada

Durant l'operació de la planta es distingeixen dues fases bàsiques: un pretractament de l'aigua i l'Osmosi Inversa pròpiament dita (Figura 5.5).

1. Pretractament

El pretractament de l'aigua té com a finalitat l'adequació d'aquesta a les condicions d'entrada de les membranes, per tal d'impedir o mantenir sota control les obturacions, evitar danys en les mateixes i dur a terme el tractament de l'aigua de manera correcte i així garantir una vida útil de les membranesmés llarga.

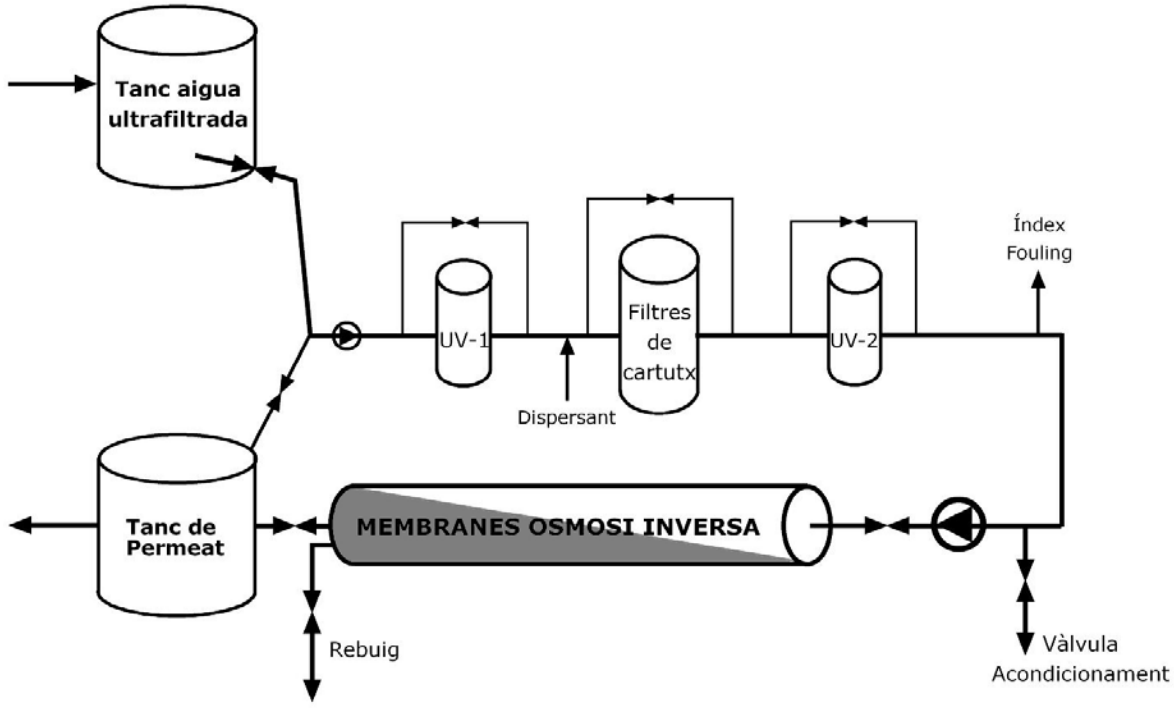

Figura 5.5. Esquema de la planta pilot d'Osmosi Inversa

En la concepció del pretractament d'una planta d'Osmosi Inversa és molt important la procedència de l'aigua. Una aigua superficial necessitarà en general, un pretractament més complex que un aigua subterrània. Per les condicions de l'aigua d'entrada a la planta i la capacitat de tractament de la mateixa, el pretractament que es realitza a l'aigua d'entrada a la planta pilot consta de les fases següents:

- Desinfecció amb equip ultraviolat
- Addició de reactius
- Filtració per cartutxos
- Desinfecció amb equip ultraviolat

Primerament, l'aigua a tractar arriba a un dipòsit situat a l'entrada de la Planta Pilot d'OI procedent de la Planta Pilot d'Ultrafiltració. L'aigua flueix per gravetat cap aquest dipòsit, anomenat dipòsit d'aigua bruta, des del sobreeixidor del tanc d'aigua ultrafiltrada.

L'aigua és bombejada cap a un equip de radiació ultraviolada. La seva finalitat és l'esterilització de la línia de tractament de l'aigua i l'eliminació de la matèria orgànica dissolta

en l'aigua (àcids húmics,…). També és important la protecció que representa enfront a la degradació microbiològica en les següents etapes del tractament.

Després d'aquesta desinfecció, s'addiciona el dispersant o antiincrustant per tal d'aconseguir adequar encara més l'aigua a les condicions d'entrada a les membranes. Aquest reactiu és imprescindible pel tractament ja que té com a funció principal reduir la formació de sals insolubles de calci, magnesi i bari, i retardar la formació d'incrustacions provocades per aquests compostos en els mòduls de membranes.

Per altra banda, també a la sortida de l'equip de radiació ultraviolada, la planta està preparada per una possible dosificació d'àcid, en cas de que es faci necessària l'acidificació de l'aigua. Tot i això, no s'ha precisat per les condicions de l'aigua d'entrada.

Un cop l'aigua ha estat esterilitzada i s'han afegit els reactius, la següent etapa de la que consta el pretractament és la filtració per filtres de cartutxos. Aquesta etapa té com a objectiu retenir les partícules majors a 5 μm presents en l'aigua i evitant que aquestes arribin a les membranes d'Osmosi Inversa. La filtració per cartutx és bàsicament una mesura de prevenció, una última barrera física que ha de passar l'aigua abans d'entrar a les membranes

Aquest filtre va equipat amb un manòmetre diferencial entre el col·lector d'entrada i de sortida per tal de determinar el seu grau de colmatació i la necessitat de neteja o canvi d'algun o alguns dels 6 cartutxos filtrants que es troben en l'interior.

Per últim, després de la filtració sobre cartutxos, l'aigua passa per un segon equip de radiació ultraviolada com a mesura de seguretat biològica, protegint les membranes de l'acció bacterioestàtica de possibles germicides i virus. Aquesta segona desinfecció protegeix dels possibles cultius que s'hagin pogut generar als filtres de cartutx.

L'aigua de sortida d'aquest equip és l'aigua d'entrada al tub de pressió que conté les membranes, per tant, és de gran importància controlar el pH, calcular l'índex de Fouling i mesurar el contingut en clor lliure, per tal de determinar si el tractament d'Osmosi Inversa es pot o no dur a terme.

Si un dels paràmetres que es mesura no compleix les especificacions desitjades per l'aigua d'entrada a les membranes, aquesta és desviada cap al sistema de desguàs que té la pròpia instal·lació i no passa per aquestes. Si els paràmetres mesurats compleixen els rangs prefixats, aquesta aigua ja passa a la filtració per OI.

2. Osmosi Inversa

Aquest procés permet la concentració i la separació de les diferents espècies químiques en funció de la seva grandària i forma moleculars mitjançant l'ús de la pressió i de membranes semipermeables especialment dissenyades per tal fi. En l'OI el diàmetre dels porus de la membrana és molt petit, permetent només el transport en l'aigua de petites quantitats de soluts amb baixos pesos moleculars. És el fenomen que es produeix quan l'aigua travessa una membrana semipermeable impedint el transport de sals o d'altres soluts a través d'ella. En l'Osmosi el flux pot ser parat o ser invertit aplicant la pressió externa en el costat de la concentració més alta, en tal cas el fenomen s'anomena Osmosi Inversa, l'utilitzat en la planta pilot.

Després de pretractar l'aigua s'impulsa mitjançant una bomba d'alta pressió cap al tub de pressió. Aquesta bomba pot ser by-passada per tal de realitzar altres tasques importants que requereix el tractament com ara el desplaçament i inertització de les membranes. També s'ha instal·lat a l'aspiració de la bomba un manòmetre de pressió, un transmissor de cabal i un presostat de baixa pressió que fa aturar automàticament la bomba si la pressió del fluid d'entrada és inferior a 2 kg/cm^2.

Pel que fa a la impulsió de la bomba, disposa d'un altre manòmetre de pressió així com d'un altre presostat, en aquest cas, d'alta pressió, que atura la bomba per una pressió superior als 12 kg/cm^2, ja que a aquesta pressió es podrien fer malbé les membranes.

Assegurades totes les condicions d'entrada de l'aigua al tub de pressió, es regula el treball realitzat pel conjunt format per la bomba i tub de pressió mitjançant la vàlvula de volant situada al col·lector de sortida de l'aigua de rebuig. Segons el grau de tancament d'aquesta vàlvula s'incrementa o es disminueix la conversió de les membranes, que augmentarà amb el seu tancament. De tota manera, i degut a que la planta pilot únicament disposa d'un tub de pressió, la conversió màxima per tal d'obtenir una bona qualitat en l'aigua permeada és aproximadament del 50-60 %.

Un dels paràmetres més importants del procés de filtració per Osmosi Inversa és el valor de la pressió diferencial entre l'entrada i la sortida del tub de pressió. L'augment pronunciat d'aquesta pressió és signe inequívoc d'un embrutiment dels mòduls de membranes, per tant, és necessari realitzar un control exhaustiu de la pèrdua de carrega obtinguda per procedir a

realitzar les neteges de les membranes. Per aquesta raó, es disposa d'un transmissor de pressió diferencial.

També és important la col·locació d'un pH-metre i sobretot d'un conductivímetre al col·lector de sortida de l'aigua permeada degut a que aquest últim és el que ens indicarà l'efectivitat en l'eliminació de sals mitjançant la filtració per Osmosi Inversa realitzada.

A la sortida del tub de pressió també s'ha instal·lat un cabalímetre per la mesura de l'aigua permeada i un rotàmetre per l'aigua de rebuig. El permeat del procés és conduït i emmagatzemat al dipòsit d'aigua osmotitzada. Posteriorment aquest aigua podrà ser utilitzada per diferents tasques:

- desplaçament de membranes.
- neteja de membranes.
- inertització de les membranes.

Per altra banda, l'aigua de rebuig obtinguda en l'Osmosi Inversa és canalitzada i extreta de la planta mitjançant un sistema de desguàs i és enviada cap el col·lector de les aigües residuals de l'ETAP.

Hi han un protocol a seguir amb la planta pilot d'OI:

- Comprovació del bon funcionament dels equips directes de la unitat (vàlvules, bombes, , pressions, cabals…)
- Comprovació del bon funcionament de l'equip de dosificació de dispersant, del nivell del reactiu. Es prepararà una nova dissolució de dispersant en cas de no tenir suficient nivell de reactiu. En cas de detectar aire en el sistema de dosificació, es procedirà a purga-ho mitjançant la vàlvula posterior de la bomba.
- Comprovació de l'Índex de Fouling de l'aigua d'entrada a les membranes per assegurar la integritat d'aquestes.
- Gravar les dades enregistrades en un disquet periòdicament.
- Calibrar setmanalment els sensors de pH amb patrons de 4 i 7 unitats de pH.

5.1.2.2. Requisits de l'aigua d'entrada a les membranes d'Osmosi Inversa

El reemplaçament de les membranes d'Osmosi Inversa (OI) resulta molt car. El disseny d'un pretractament efectiu pot ser l'alternativa als reemplaçaments regulars, ja que un bon pretractament pot allargar la vida útil de les membranes i estalviar-nos costos d'operació.

Els mòduls de membranes FILMTEC®BW30LE-440 utilitzats en la planta pilot OI de Sant Joan Despí són de tipus espiral. Estan formats per dues capes de membranes enrotllades al voltant d'un tub perforat per on circula el corrent de permeat, denominades membranes en espiral. Una malla de plàstic és enrotllada dins del mecanisme per mantenir el canal d'alimentació separat. Les membranes d'Osmosi Inversa que s'utilitzen en l'assaig pilot són de poliamida (tipus de polímer)

Els paràmetres més importants que cal tenir presents per tal de determinar si l'aigua és apte o no per entrar a les membranes, per tal que treballin de forma òptima durant més queden reflectits en la taula següent:

Taula 5.3. Condicions de l'aigua d'entrada a les membranes d'OI durant el procés de producció continua i límits d'operació donats pel fabricant de membranes (Font: DOW)

	Operació continua	Límits d'operació
Conversió	60%	70%
Pressió d'entrada (bar)	7-12	41
Temperatura (ºC)	40	45
pH aigua entrada	7-7,5	2-12
Conductivitat (mS/cm)	3	-
Terbolesa (NTU)	1	-
Índex de Fouling (SDI)	3	5
Concentració Cl lliure (ppm)	0,1	0,1
Concentració sals Fe (ppm)	0,1	-

L'objectiu del pretractament és aconseguir que l'aigua d'entrada al tub de pressió tingui una qualitat química desitjada dins del paràmetres recomanats pel fabricant.

L'índex de Fouling o índex de densitat salina (IDS) ens indica la tendència de l'aigua bruta a embrutar les membranes. És molt important que l'aigua d'alimentació de les membranes tingui un SDI per sota de 3 per minimitzar l'embrutiment de les membranes que afecta a les freqüències de neteja, els requeriments del pretractament, les condicions d'operació, cost i rendiments.[AWWARF, 1998]

5.1.2.3. Desplaçament

El desplaçament de les membranes és una operació manual que s'ha de realitzar després d'una parada de la planta. L'objectiu del desplaçament és substituir l'aigua a tractar que s'ha quedat retinguda en el tub de pressió quan s'ha donat la parada, per aigua permeada. Així, s'aconsegueix disminuir la possibilitat de precipitació de sals en els mòduls de membranes. A

més, per mantenir les propietats de les membranes cal que estiguin completament submergides en aigua o en una solució específica.

Un mòdul de membranes d'Osmosi Inversa ha de desplaçar-se amb aigua osmotitzada o, en absència d'aquesta, amb aigua exempta de clor (aigua que arriba de l'ETAP), ja que el clor lliure malmet seriosament les membranes.

Durant el desplaçament, la bomba aspira aigua del dipòsit d'aigua osmotitzada i la impulsa a través de la línia de tractament fins al mòdul de membranes by-passant tots els equips del pretractament i la bomba d'alta pressió. Durant el desplaçament tant la vàlvula de permeat com la de rebuig estan totalment obertes, d'aquesta manera, al no forçar les membranes tota l'aigua d'entrada es recull pel rebuig, el qual s'envia al sistema de desguàs de la pròpia planta pilot ja que pot arrossegar substàncies com carbonats, sulfats i d'altres compostos nocius. Hi ha una petita quantitat d'aigua però, que es recull pel conducte del permeat i és retornada al tanc d'aigua osmotitzada.

Aquest procés es realitza a baix cabal d'alimentació (de 6 a 7 m^3/h) i a baixa pressió (entre 2 i 3 kg/cm^2), durant uns 30 minuts, d'aquesta manera assegurarà l'extracció de les substàncies que disminueixen les propietats de les membranes, allargant així la seva vida útil. Amb el desplaçamentl, les membranes poden estar parades unes 48 hores. A partir d'aquest temps, es recomana posar-la en funcionament o bé realitzar una inertització.

5.1.2.4. Inertització de les membranes d'Osmosi Inversa

Tot i el procés de desplaçament al que es sotmeten les membranes periòdicament, no tots els microorganismes són desplaçats dels mòduls de membranes, per tant si no es té cura, durant períodes en els que el tub de pressió no es troba en funcionament, aquests microorganismes poden degradar l'estructura de les membranes, creant així problemes molt greus a les mateixes.

Per tal d'evitar aquest desenvolupament microbacteriològic durant períodes inactius de les membranes superiors a les 24 hores, aquestes es protegeixen amb una solució inertitzant. El procés pel qual es protegeix les membranes amb aquesta solució rep el nom d'***inertització*.**

La inertització de les membranes sempre ve precedida del desplaçament en una acció conjunta dels dos processos força efectiva en el manteniment tant de les propietats físiques com de les químiques de les pròpies membranes.

El procés d'inertització és molt similar al procés de desplaçament en quant s'ha de by-passar tot el pretractament, així com la bomba d'alta pressió. Les condicions de treball de cabal i pressió són iguals al cas del desplaçament: entre 6 i 7 m^3/h i de 2 a 3 kg/cm^2.

La diferencia resideix en que s'utilitza una solució d'aigua permeada amb bisulfit sòdic al 1% o amb biocida al 0,01%, que es prepara en el tanc de neteja i que es fa recircular a través de les membranes en un circuit tancat. Així, tots dos corrents que s'obtenen després de fer passar la solució pel tub de pressió ("permeat" i "rebuig") es recirculen al tanc de neteja inicial, creant així un circuit tancat amb aquesta solució.

En el moment d'aturar el procés, com a mínim ha d'estar funcionant 45 minuts, es tanquen tant la vàlvula d'entrada de solució al tub de pressió com les dues de recirculació per tal de deixar les membranes completament submergides en aquesta solució.

Cal tenir present que quan el tub de pressió es posi un altre cop en funcionament, la primera aigua que surt d'ell ha d'anar completament al desguàs, ja que la solució d'inertització pot ser perjudicial pel consum humà.

5.1.3. Descripció del procés d'afinament

El procés d'ozonització i filtració per Carbó Actiu Granular (CAG) de la planta pilot pretén simular el procés d'afinament de l'ETAP de Sant Joan Despí. Això vol dir, que a la planta pilot es reprodueixen les mateixes condicions que a l'ETAP respectant els temps de contacte de l'aigua amb l'ozó i el CAG, segons els càlculs de l'ANNEX B.

Aquesta línia de tractament té la capacitat de tractar uns 1,2 m^3/h d'aigua ultrafiltrada. L'aigua a tractar prové del dipòsit situat a l'entrada de la planta pilot d'OI. Aquest dipòsit on s'emmagatzema l'aigua ultrafiltrada, serveix per proveir a les dues línies de tractament paral·leles: Osmosi Inversa i afinament per ozó i filtre de CAG (veure Figura 4.2).

5.1.3.1. Producció

Una bomba impulsa l'aigua cap a les quatre columnes de contacte amb ozó connectades entre sí tal i com mostra l'alçat de la Figura 5.6. Cada columna disposa d'un difusor d'aire ozonitzat i d'una vàlvula per regular la seva dosificació. L'aire ozonitzat que es dosifica a la planta pilot és el que ha estat generat als ozonitzadors de l'ETAP de Sant Joan Despí, i que es canalitza fins la planta pilot.

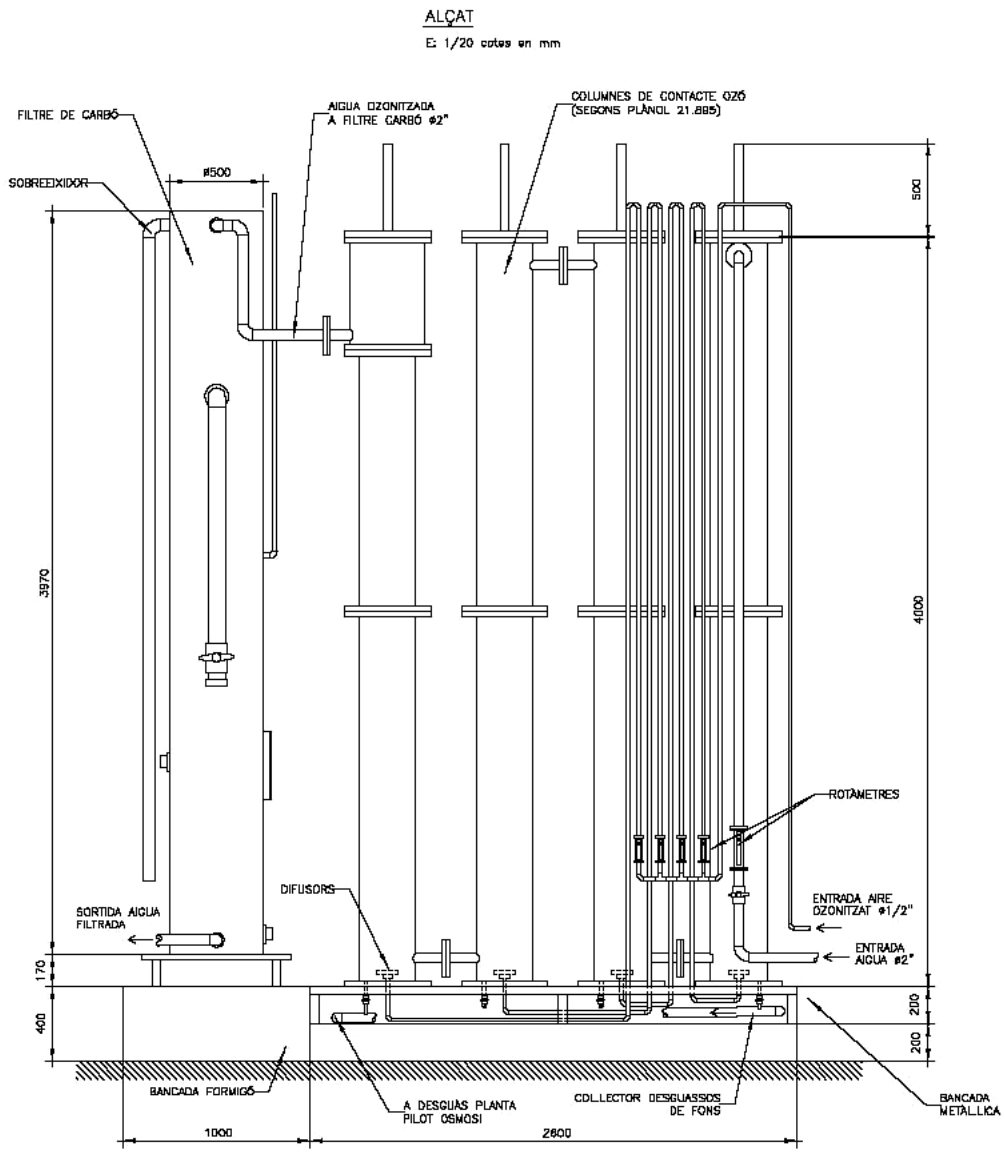

Figura 5.6. Alçat de la planta pilot d'afinament, amb la columna del filtre de CAG i les quatre columnes de contacte d'ozó (d'esquerra a dreta).

El cabal d'aigua es regula mitjançant una vàlvula situada a l'entrada i un rotàmetre ens permet fixar-lo en 1,5 m^3/h. Amb aquest cabal només necessitem dues columnes de contacte per simular el mateix temps de contacte que l'aigua i l'ozó tenen a l'ETAP de Sant Joan Despí. L'aigua està en contacte amb l'ozó durant el temps que tarda en passar per les cambres de contacte d'ozó i en recórrer la distancia que les separa del filtres de CAG . Es a dir, dosifiquem l'aire ozonitzat a la tercera columna per tal que estigui en contacte durant el recorregut que l'aigua fa des de que entra a la tercera columna i surt de la quarta columna cap al filtre de CAG.

L'aigua entra en una cinquena columna que conté el filtre de carbó per la seva part superior. Dins de la columna hi ha un llit de CAG de 70 cm d'espessor. Per assegurar-nos de que estem filtrant bé, es a dir, que el filtre està totalment inundat, regulem el cabal de filtrat en 1,2 m^3/h amb la vàlvula situada a la sortida del filtre en la seva part inferior. D'aquesta manera sempre vessa aigua pel sobreeixidor, indicatiu de que el filtre esta inundat.

L'estat del llit filtrant es controla amb una tub vertical que ens marca la pèrdua de càrrega del llit. Si la pèrdua excedeix els 2 m.c.a. és necessàri un rentat.

5.1.3.2. Rentat del filtre de Carbó Actiu Granular

Es realitza una neteja del filtre de CAG un cop per setmana com a mínim per evitar l'excessiu embrutiment del llit filtrant. El rentat consisteix en injectar aire per remoure les partícules i posteriorment fer passar aigua en el sentit contrari al de la filtració per emportar-nos la brutícia.

Abans de començar la neteja es tanquen l'entrada d'aigua i ozó a les columnes d'ozonització, juntament amb la sortida de l'aigua filtrada i s'obre la vàlvula de bola d'un sobreeixidor situat per sobre del llit filtrant. Amb l'ajuda d'un compressor s'injecta aire durant uns 15 minuts. Aquest s'injecta des de la part inferior del llit obrint la vàlvula d'entrada d'aire.

Després de tancar la vàlvula de l'aire, s'obre la vàlvula de l'aigua de xarxa que entra a contra corrent per la mateixa canonada per la que abans injectàvem l'aire. El cabal de rentat no ha de ser molt elevat per tal d'evitar que s'emporti els grans de carbó. Això es pot controlar mirant l'aigua del sobreeixidor i observant si porta grans de carbó, en aquest cas reduiríem el cabal d'aigua.

El temps de rentat amb aigua varia entre 20 i 40 en funció de l'estat del filtre. Quan l'aigua que surt pel sobreeixidor és completament neta, es pot tancar la vàlvula de l'aigua i donar per finalitzada la neteja.

Hi ha un protocol a seguir amb la planta pilot d'ozonització i filtració per CAG:

- Comprovació del bon funcionament dels equips directes de la unitat (vàlvules, bombes, , pèrdua de carrega del filtre, cabals d'aigua i ozó…)
- Comprovar que hi ha un cabal mínim d'aigua pel sobreeixidor.

5.2. Material (reactius i dissolucions)

5.2.1. Reactius per la planta pilot d'Ultrafiltració

Els reactius utilitzats en la planta d'UF durant el procés de producció, coagulant i àcid clorhídric, són proveïts per l'empresa química *Barcelonesa de Drogas y Productos Químicos S.A.* que realitzen recàrregues en els dipòsits de la planta pilot. Els reactius per les neteges, hipoclorit sòdic i àcid clorhídric, venen en garrafes de 25 litres que distribueix *Apliclor S.A.* i *Barcelonesa* respectivament.

5.2.1.1. Coagulant

El coagulant escollit per realitzar les proves de "Coagulació intensificada amb Ultrafiltració" és el clorur fèrric ($FeCl_3$). El sulfat d'alumina o el policlorur d'alumini utilitzats a l'ETAP com a coagulants es van descartar degut l'impacte negatiu de l'alumini sobre les membranes d'OI en cas de que per excés de dosificació passés de la planta d'UF a la d'OI.

El coagulant s'utilitza per neutralitzar les carregues electrostàtiques del mateix signe de les substàncies col·loïdals que es repelen, actuant també en suspensions fines, substàncies dissoltes, per formar substàncies més grans o flòculs a partir d'agrupacions d'aquestes més petites.[Cantó, 1983]. La gran concentració de flòculs incrementa l'àrea superficial disponible per l'adsorció de matèria orgànica i el temps de retenció dels flocs en el tanc, donant més temps als flocs per adsorbir més impureses. Això millora l'eficàcia de les membranes que no es colmaten amb aquestes impureses que en el cas de no utilitzar coagulant haurien estat adsorbides per les membranes[Best, 1999].

La dosis de coagulant necessària per la coagulació de l'aigua d'alimentació de la planta d'UF (taula 5.4) es determina a partir del resultat d'un Jar Test [ANNEX A] que es duu a terme en el laboratori seguint les indicacions de Zenon Environmental Inc.

Taula 5.4. Característiques del coagulant clorur fèrric comercial i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'UF.

	Unitats	Valors
Característiques del Coagulant		
Densitat	mg/l	$1{,}42 \cdot 10^6$
Puresa	% $FeCl_3$	40
Dipòsit	l	600
Dosificació		
Cabal coagulant	l/h	0,65
Cabal aigua a tractar	m^3/h	15,9
Concentració coagulant comercial	ppm	57,9
Concentració $FeCl_3$	ppm	23,2
Consum mensual	l/mes	466,5

5.2.1.2. Àcid clorhídric

L'àcid clorhídric s'afegeix per reduir el pH del tanc de coagulació de la UF i millorar així l'eficàcia del coagulant. La bomba dosificadora d'àcid esta controlada per un sensor de pH que acciona la bomba quan el pH es superior a 6,5 unitats. Els valors mitjans de dosificació es poden veure a la següent taula.

Taula 5.5. Característiques de l'àcid clorhídric comercial i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'UF.

	Unitats	Valors
Característiques de l'Àcid		
Densitat	mg/l	$1{,}16 \cdot 10^6$
Puresa	% HCl	33
Dipòsit	l	500
Dosificació		
Cabal àcid	l/h	2,72
Cabal aigua a tractar	m^3/h	15,9
Concentració àcid comercial	ppm	198,35
Concentració HCl	ppm	65,45
Consum mensual	l/mes	1957

5.2.1.3. Reactiu neteja bàsica

Les neteges bàsiques de les membranes d'UF es realitzen submergint les membranes en una solució d'aigua de xarxa i hipoclorit sòdic (NaOCl). Les membranes poden exposar-se a concentracions inferiors a 1000 ppm de clor i a un rang de pH de 2 a 11. En les neteges bàsiques sempre s'afegeix el màxim possible d'hipoclorit (Taula 5.6) per arribar als 1000ppm de concentració de clor i a pH superiors a 8 unitats de pH.

Els càlculs realitzats per determinar la dosi d'hipoclorit sòdic màxima a aplicar en les neteges bàsiques es poden trobar a l'ANNEX A.

Taula 5.6. Característiques de l'hipoclorit sòdic (NaOCl) comercial i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'UF.

	Unitats	Valors
Característiques del NaOCl		
Densitat	mg/l	$1{,}25 \cdot 10^6$
Clor actiu	mg/l	0,15
pH	unitats pH	11-13
Envàs	litres	25
Dosificació		
Contingut màx. de clor	ppm	1000
pH màxim	unitats pH	11
Rang de pH desitjat	unitats pH	8-9
Consum per neteja	l/neteja	32
Volum aigua de dilució	l	6000

5.2.1.4. Reactiu neteja àcida

Les neteges àcides de les membranes d'UF es realitzen submergint les membranes en una solució d'aigua de xarxa i àcid clorhídric. S'afegeix àcid a l'aigua fins que el pH estigui entre 2 i 2,3 (Taula 5.7).

La neteja àcida es realitza després de la neteja bàsica quan és necessari una neteja més intensiva. La neteja àcida permetrà obtenir una major recuperació de les membranes d'Ultrafiltració.

Taula 5.7. Característiques de l'àcid clorhídric comercial i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'UF.

	Unitats	Valors
Característiques de l'Àcid		
Densitat	mg/l	$1{,}16 \cdot 10^6$
Puresa	% HCl	33
Envàs	l	25
Dosificació		
pH mínim	unitats pH	2
Rang de pH desitjat	Unitats pH	2-2,3
Consum per neteja	l/neteja	10-12

5.2.2. Reactius per la planta pilot d'Osmosi Inversa

Els reactius utilitzats a la planta d'OI, tant en l'estabilització de l'aigua d'entrada com en les neteges o inertitzacions, pertanyen a la gamma de productes específics per a membranes d'Osmosi de l'empresa NALCO.

Tots aquests productes s'han d'utiltzar seguint les indicacions del fabricant de membranes en quant a temperatura i pH i els consells de NALCO en quant als temps de neteja i dosificacions.

5.2.2.1. Dispersant

Durant el procés normal de producció, la planta d'Osmosi Inversa consumeix dispersant que és dosificat abans d'entrar a les membranes per prevenir la precipitació de sals minerals, insolubles o poc solubles de ions com Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, …, dins del mòdul de membranes. El dispersant *PermaTreat PC-191* incrementa la solubilitat relativa d'aquestes sals actuant com antiincrustant i minimitzant l'embrutiment.

Degut a la ràpida degradació d'aquest reactiu cal diluïr-lo i preparar-lo en quantitats petites que es puguin consumir abans dels 10 dies, que és la vida òptima del reactiu dissolt. Concentracions pròximes i menors al 10% presentaran problemes de ràpida degradació i, per tant, és recomanable treballar amb dilucions pròximes o superiors al 20%.

La dosificació òptima es calcula mitjançant el programa informàtic *Permacare*, que amb les dades de concentració de certes substàncies de l'aigua a tractar (en aquest cas, aigua superficial del riu ultrafiltrada), i les condicions de treball, realitza una simulació i determina la

dosificació necessària d'aquest reactiu pel tipus de membrana emprada, que es mostra a la Taula 5.8 juntament amb característiques del dispersant.

Taula 5.8. Característiques del dispersant Permatreat PC-191 i de la seva dosificació en continu en la planta pilot d'OI.

	Unitats	Valors
Característiques del PC-191		
Densitat	mg/l	$1{,}36 \cdot 10^6$
pH		10,5
Envàs	l	25
Dilució amb aigua xarxa	%	25
Dosificació		
Cabal PC-191 diluït	l/h	0,2
Cabal aigua a tractar	l/h	9500
Concentració a l'aigua de PC-191	ppm	7
Consum mensual de PC-191	l/mes	35,9

Els càlculs de l'aforament de la bomba dosificadora de dispersant de la planta d'Osmosi Inversa i de la dilució realitzada d'aquest, es troben a l'ANNEX A.

5.2.2.2. Reactiu neteja biològica

Les neteges biològiques es realitzen periòdicament com a mesura preventiva per evitar el desenvolupament dels llits biològics dins del mòdul de membranes. S'utilitza el producte *PermaClean PC-11* de la gamma *Permacare* en concentracions molt petites com podem observar a la Taula 5.9.

Taula 5.9. Característiques del biocida PermaClean PC-11 i de la seva dosificació en les neteges biològiques de les membranes d'OI.

	Unitats	Valors
Característiques del PC-11		
Densitat	mg/l	$1{,}28 \cdot 10^6$
pH	unitats pH	2-3,5
Envàs	l	25
Dosificació		
Concentració	% Volum	0,025
Consum per neteja	l/neteja	0,17
Volum aigua de dilució	l	680
Consum mensual (2 neteges)	l/mes	0,34

Aquest reactiu s'utilitza diluït amb aigua permeada per la pròpia planta d'OI que ens assegura un aigua de bona qualitat per poder netejar les membranes. El volum d'aigua de

dilució és de 680 litres: 500 litres del tanc de neteja i 180 litres de l'aigua de desplaçament que hi ha en el tub de pressió que conté les membranes.

5.2.2.3. Reactiu neteja bàsica

Les neteges bàsiques es realitzen utilitzant una combinació de dos reactius que millora l'eficàcia de la neteja: PermaClean PC-33 i PC 99 en diferents concentracions, tal i com es mostra a la Taula 5.10. i diluïts en aigua permeada.

El PermaClean PC-33 és un netejador de membranes basat en sals sòdiques d'EDTA desenvolupat per ajudar a eliminar sulfats de calci, bari i estronci, insolubles en àcid, així com el fluorur càlcic. També és eficaç a l'hora d'eliminar òxid i hidròxid de ferro i carbonat càlcic.

El PC-33 s'utilitza en combinació amb detergents netejadors a pH alt, com el PC-99, per ajudar a eliminar substàncies orgàniques i llims microbiològics. El PC-99 és una barreja de dispersants i compostos inorgànics amb un detergent anfotèric especialment desenvolupat com a fórmula de neteja alcalina.

Taula 5.10. Característiques dels reactius de neteja bàsica PermaClean PC-33 i PC-99 i de la seva dosificació segons sigui neteja forta o normal de les membranes d'OI.

Característiques dels Reactius	Unitats	Valors			
Densitat PC-33	mg/l	$1{,}3 \cdot 10^6$			
Densitat PC-99	mg/l	$1{,}16 \cdot 10^6$			
pH del PC-33	unitats pH	13			
pH del PC-99	unitats pH	11			
Envàs	l	25			
Dosificació		**Neteja Normal**		**Neteja Forta**	
Reactiu		PC-33	PC-99	PC-33	PC-99
Concentració	% Volum	2	2	1	4
Consum per neteja	l/neteja	13,6	13,6	6,8	27,2
Volum aigua de dilució	l	680		680	

5.2.2.4. Reactiu neteja àcida

El reactiu per neteja àcida que s'utilitza per les membranes d'OI és el PermaClean PC-77. Aquest reactiu és un netejador de membranes específic per l'eliminació de ferro, encara que també és efectiu a l'hora d'eliminar incrustacions de carbonat càlcic. Aquest reactiu es dilueix en aigua osmotitzada per arribar a la concentracions indicada a la taula 5.11 aconsellada pel fabricant.

Taula5.11. Característiques del reactiu de neteja àcida PermaClean PC-77 i de la seva dosificació en les neteges de les membranes d'OI.

	Unitats	Valors
Característiques del PC-77		
Densitat	mg/l	$1{,}19 \cdot 10^6$
pH	unitats pH	3,5
Envàs	l	25
Dosificació		
Concentració	% Volum	4
Consum per neteja	l/neteja	27,2
Volum aigua de dilució	l	680

5.2.2.5. Reactiu per les inertitzacions

Les inertitzacions es realitzen amb el biocida PermaClean PC-55 que intervé en la prevenció de creixements de biopel·lícules en la superfície de les membranes. Es tracta d'un producte antimicrobià no iònic i no oxidant, molt adequat per la conservació de les membranes a llarg termini. El període de temps que les membranes poden estar submergides en la solució d'inertitzció depèn de la concentració de PC-55 a la solució, variant de 0,01% per dos dies a 0,05% per a uns 6 mesos.

Les membranes d'OI es deixen durant una setmana submergides en la solució de PC-55 i aigua osmotitzada indicada a la Taula 5.12, solució que es renovada cada setmana per assegurar la integritat de les membranes i evitar qualsevol proliferació biològica..

Taula 5.12. Característiques del reactiu d'inertització PermaClean PC-55 i de la seva dosificació per realitzar inertitzacions d'una setmana de les membranes d'OI.

	Unitats	Valors
Característiques del PC-55		
Densitat	mg/l	$1{,}16 \cdot 10^6$
pH	unitats pH	2,7
Envàs	l	25
Dosificació		
Reactiu per a 7 díes	% Volum	0,025
Consum per inertització de 7 dies	ml	170
Volum aigua de dilució	l	680

5.3. Discussió de Resultats

Per determinar l'eficiència de la línia de tractament es compararan diversos aspectes com són paràmetres físico-químics, orgànics, trihalometans, composició mineralògica i microbacteriològica dels diferents punts de mostreig.

Per altra banda es vol veure l'eficàcia de la utilització d'àcid clorhídric en la capçalera de la UF i la seva influència en la qualitat de l'aigua obtinguda.

5.3.1. Paràmetres físico-químics

Dins d'aquest grup els paràmetres que més rellevància tenen en el tractament de l'aigua per Osmosi Inversa són: pH, conductivitat i terbolesa.

5.3.1.1. pH

El pH del riu Llobregat durant aquests mesos ha oscil·lat entre 7,5 i 8 unitats de pH. La reducció de pH que pateix l'aigua amb la UF no és significativa, només durant els mesos en que s'ha utilitzat HCl el pH al permeat de la UF s'ha acostat a 7 unitats de pH. Això es deu a la dificultat que suposa reduir el pH d'un aigua tan tamponada com és la del riu Llobregat.

Amb l'Osmosi l'aigua permeada arriba a pH's de 5,8, inferiors a 6,5 unitats que és el límit de potabilitat marcat pel R.D.140/2003. En canvi la línia d'afinament manté el pH en un rang de 7,2 i 7,6 quan s'utilitza àcid a la UF i quan no, respectivament.

5.3.1.2. Terbolesa

Gràcies a la UF, la terbolesa no representa cap problema per les membranes d'OI, ja que, segons les recomanacions del fabricant de les membranes, aquesta ha d'ésser inferior a 1 NTU, fet que sempre es compleix.

Tal i com es pot observar a les Taules 5.13 i 5.14, s'ha arribant a valors màxims de 0,76 NTU a la sortida del procés d'UF i a 0,36 NTU en el cas d'utilitzar HCl. Tenint en compte que durant l'època en que es va dur a terme l'experiència amb àcid, la terbolesa del riu era molt més elevada i tot i així els valors de terbolesa a la sortida de la UF van disminuir, podem dir

que l'àcid ha afavorit l'eliminació de terbolesa. Aquesta influència però, no es veu reflectida en els tractaments posteriors d'OI i O3+CAG.

Taula 5.13. Valors màxims, mínims i mitjans de terbolesa a l'aigua dels diferents punts de mostreig, juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard.

	Terbolesa				
	[NTU]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	17,00	45,44	99,60	21,8	46
Aigua UF	0,08	0,25	0,76	0,16	45
Aigua OI	0,07	0,12	0,30	0,04	44
Aigua O3+CAG	0,11	0,29	1,02	0,17	44

Taula 5.14. Valors màxims, mínims i mitjans de terbolesa a l'aigua dels diferents punts de mostreig, juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard. (*Utilització d'àcid clorhídric)

	Terbolesa				
	[NTU]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	8,70	72,83	135,00	31,76	21
Aigua UF*	**0,12**	**0,19**	**0,36**	0,06	21
Aigua OI	0,09	0,12	0,17	0,03	21
Aigua O3+CAG	0,13	0,34	1,02	0,22	21

Si comparem aquest valors de terbolesa amb els valors obtinguts a l'aigua filtrada per sorra de l'ETAP que arriben com a mitja a 0,98 NTU i en dies puntuals poden superar els 1 NTU arribant fins a valors de 2 NTU, sembla imprescindible un pretractament més complex per a l'OI.

El comportament de la UF en els casos en que la terbolesa del riu ha arribat a 1000 NTU ha estat molt satisfactòria doncs ha continuat mantenint la seva efectivitat produint un aigua amb terboleses dins de la mitja.

5.3.1.3. Conductivitat

L'elevada conductivitat de l'aigua del riu Llobregat és un dels grans problemes de l'ETAP ja que el tractament actual no redueix el contingut de sals, que persisteixen a la sortida de la planta, potenciant el mal gust del clor residual de l'aigua que arriba al consumidor. El mal gust de l'aigua produïda a l'ETAP genera desconfiança en el consumidor tot i ser un aigua de molt bona qualitat química sempre dins de la normativa.

L'OI és una solució per aconseguir un aigua de millors condicions organolèptiques i de més bona qualitat química. Les membranes d'Osmosis Inversa, tal i com mostra la Taula 5.15, redueixen les sals en més d'un 98%. La conductivitat de l'aigua osmotitzada queda per sota de 30 μS/cm.

Taula 5.15. Valors màxims, mínims i mitjans de conductivitat a l'aigua crua i a l'osmotitzada, juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i el tant per cent d'eliminació de conductivitat en el procés d'OI.

	Conductivitat a l'Aigua Crua				
	[μS/cm]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
mar-05	1450	1615	1804	83,96	16
abr-05	1490	1640	2619	280,34	15
may-05	1243	1546	1635	104,87	12
jun-05	1473	1556	1633	54,66	11
jul-05	1542	1650	1801	72,67	11

	Conductivitat del Permeat de l'OI					%Eliminació
	[μS/cm]					
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mitja
mar-05	17,0	22,4	30,0	4,30	9	98,62
abr-05	13,0	15,6	28,0	3,88	14	99,04
may-05	12,0	16,8	22,0	2,96	12	98,90
jun-05	16,0	23,0	30,0	3,95	11	98,57
jul-05	18,0	20,8	24,0	1,83	11	98,77

Les etapes d'Ultrafiltració i afinament no redueixen la conductivitat. Les membranes d'UF deixen passar les sals degut a la seva porositat. El procés d'Ultrafiltració eleva en alguns μS/cm la conductivitat de l'aigua degut a que se li està afegint sals a l'hora de realitzar la coagulació intensificada, cosa que resulta totalment normal.

5.3.1.4. Amoníac

La Ultrafiltració, tal i com s'havia previst, no redueix massa l'amoníac ja que li manca una etapa prèvia de digestió microbiològica (cas d'un bioreactor a membrana) que millori l'eliminació. L'Osmosi Inversa és la que ajuda més en aquesta eliminació, produint un aigua amb un 0,04 ppm d'amoníac de mitja durant els mesos freds (Taula 5.16) i un 0,02 ppm en els mesos més càlids en que la presencia d'amoníac al riu tendeix a disminuir (Figura 5.7).

Taula 5.16. Valors màxims, mínims i mitjans d'amoníac juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja dels ppm d'amoníac eliminats en les diferents etapes.

	Amoníac					ppm
	[$mgNH_3/l$]					
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mitja
Aigua Crua	0,05	0,73	3,80	0,76	46	
Aigua UF	0,03	0,57	3,88	0,78	46	0,15
Aigua OI	0,02	0,04	0,60	0,09	44	0,53
Aigua O3+CAG	0,02	0,12	0,83	0,20	38	0,19

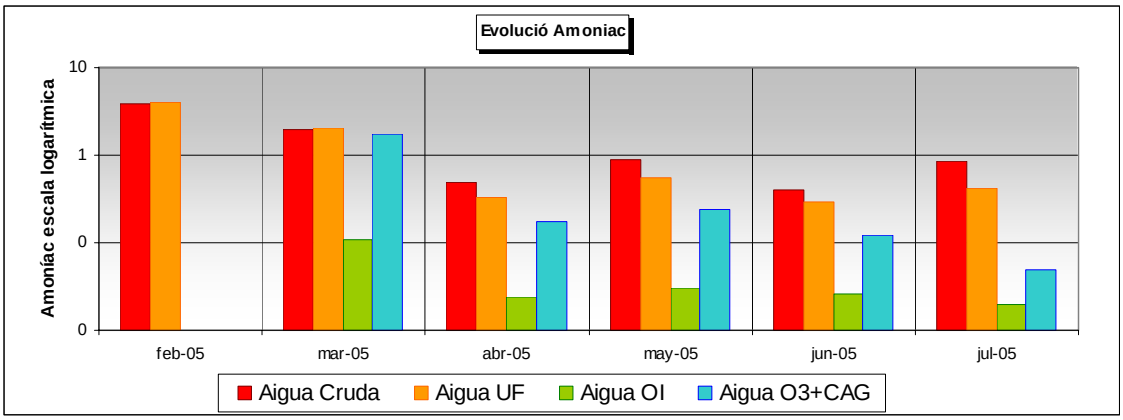

Figura 5.7. Evolució de l'amoníac durant els mesos d'experimentació.

La utilització d'àcid en la UF ha augmentat la mitjana d'eliminació d'amoníac i a més ha reduït la concentració mitjana d'aquest en l'aigua ultrafiltrada, provocant una disminució en les etapes següents d'Osmosi Inversa i afinament.

Taula 5.17. Valors màxims, mínims i mitjans d'amoníac juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja dels ppm d'amoníac eliminats en les diferents etapes. (*Utilització d'àcid clorhídric)

	Amoníac					ppm
	[$mgNH_3/l$]					
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mitja
Aigua Crua	0,11	0,51	1,20	0,38	21	
Aigua UF*	0,06	0,23	0,71	0,22	21	0,27
Aigua OI	0,02	0,02	0,09	0,02	21	0,21
Aigua O3+CAG	0,02	0,05	0,21	0,05	20	0,19

5.3.1.5. Índex de Fouling

L'eficiència de la UF com a pretractament queda reflectida en una disminució substancial tant de l'índex de Fouling com de la terbolesa ja que d'això depèn l'embrutiment de les membranes i per tant les hores de treball entre neteges.

L'índex de Fouling (índex d'embrutiment o *Silt Density Index*, SDI) és un valor que expressa la facilitat d'embrutiment d'una membrana a causa de l'existència de partícules, precipitats o matèria orgànica en una determinada solució aquosa [Fariñas, 1999].

El fabricant de membranes d'OI limita l'índex de Fouling en 5 SDI a l'entrada del rack de membranes i recomana un índex inferior a 3 SDI en l'operació continua de les membranes per tal de disminuir la freqüència de les neteges. El procés de coagulació intensificada amb UF assegura un índex per sota de 3 SDI, amb valors mitjans de 2 SDI (Taula 5.18).

Taula 5.18. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Fouling juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua que entra a les membranes d'OI.

	Índex de Fouling				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua d'entrada a membranes OI	0,5	2,0	3,2	0,8	22

Aquest valors poden ser millorats disminuint el pH de l'aigua crua a 6,5 unitats de pH amb la dosificació de HCl, permet obtenir un índex de Fouling de fins 1,6 SDI de mitja tal i com mostra la Taula 5.19.

Taula 5.19. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Fouling juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua que entra a les membranes d'OI. Utilitzant àcid clorhídric al procés de coagulació de l'etapa d'UF.

	Índex de Fouling				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua d'entrada a membranes OI	0,7	1,6	2,8	0,6	11

En el gràfic de l'evolució de l'índex de Fouling que es mostra a continuació en la Figura 5.8 es pot observar com, gràcies a la dosificació d'àcid, a més de disminuir l'índex d'embrutiment, els valors de l'índex esdevenen molt més constants.

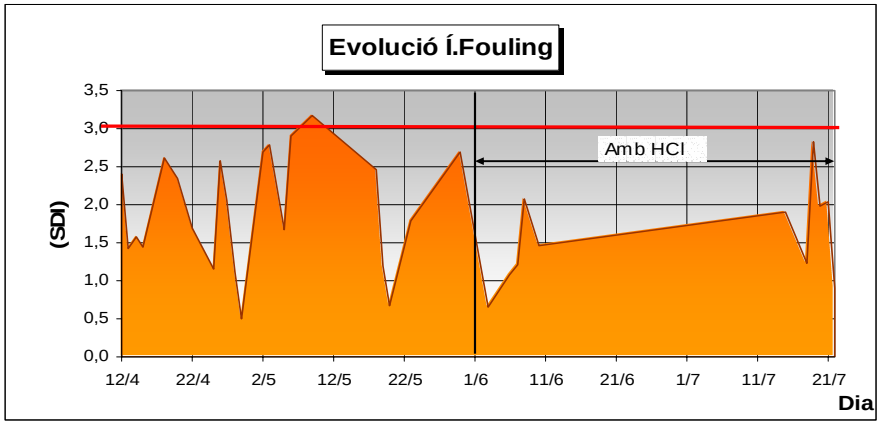

Figura 5.8. Valors de Índex de Fouling obtinguts al llarg de l'estudi.

5.3.1.6. Índex de Langelier

L'Índex de Langelier (*Langelier Saturation Index*, LSI) s'utilitza per determinar el caràcter agressiu o incrustant de l'aigua [ANNEX A]:

- un LSI negatiu indica que l'aigua té una tendència corrosiva,
- un LSI positiu indica que l'aigua té una tendència incrustant,
- un LSI igual a zero indica que l'aigua posseeix un equilibri químic.

Segons el R.D. 140/2003 l'aigua en cap moment pot ser agressiva o incrustant, el resultat de l'índex de Langelier ha d'estar entre -0,5 i 0,5. En les Taules 5.20 i 5.21, els valors compresos en aquest interval són ressaltats en verd. Quan estigui per sota del límit inferior, serà necessari incrementar el pH i/o l'alcalinitat i el contrari quan estigui per dalt del límit superior. En aquestes taules es pot comprovar el caràcter corrosiu de l'aigua osmotitzada, degut al seu baix pH, per sota de 6, fora dels límits de 6,5 i 9,5 marcats pel R.D. com a aigua potable, i a la mínima presencia de minerals, que fa que sigui un aigua d'una alcalinitat i duresa quasi nul·les. Aquest aigua per tant, necessita incrementar el seu pH i ser remineralitzada. Una altra opció és barrejar el producte de la línia d'OI i el de la línia d'afinament amb ozó i CAG per compensar el desequilibri, ja que aquesta última posseeix un alt contingut en sals i calci.

Taula 5.20. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Langelier juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua dels diferents punts de mostreig. En verd es mostren aquells valors dins del rang d'aigua amb un balanç ideal.

	Índex de Langelier				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	0,69	1,07	1,40	0,25	7
Aigua UF	0,60	0,78	1,28	0,23	7
Aigua OI	-6,44	-5,36	-4,19	0,72	7
Aigua O3+CAG	**0,27**	**0,48**	0,85	0,19	7

L'ús de l'àcid a la UF influeix en l'Índex de Langelier de l'aigua produïda en els diferents processos donant lloc a valors mitjos més baixos.

Taula 5.21. Valors màxims, mínims i mitjans de l'índex de Langelier juntament amb el nombre de mostres analitzades i la seva desviació estàndard de l'aigua dels diferents punts de mostreig. En verd es mostren aquells valors dins del rang d'aigua amb un balanç ideal. (* Utilització d'àcid clorhídric)

	Índex de Langelier				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	**0,48**	0,71	1,02	0,22	5
Aigua UF*	-0,69	**0,06**	0,75	0,66	5
Aigua OI	-5,86	-5,66	-5,34	0,28	3
Aigua O3+CAG	-0,58	**-0,04**	**0,35**	0,39	5

5.3.1.7. Recompte de partícules

El recompte de partícules, en funció de la seva grandària (diàmetre), és útil per al coneixement de la composició i qualitat de les aigües, així com per als estudis dels processos del seu tractament i en el seguiment de la seva eficàcia una vegada són aplicats.

L'efectivitat de les membranes d'UF es pot determinar per la seva capacitat d'eliminació de partícules. Realitzant un anàlisis de recompte de partícules als diferents punts de mostreig podem determinar la quantitat de partícules que hi ha en l'aigua i la grandària d'aquestes. En la Figura 5.9 es troba representat en escala logarítmica la quantitat de partícules, que hi ha per ml d'aigua de cadascun dels punts de mostreig, en funció de la grandària del seu diàmetre. Cada punt mostra el número de partícules amb diàmetre major al senyalat, mostrant els resultats fins a un diàmetre de 23 μm, ja que a partir d'aquest la presencia de partícules és insignificant.

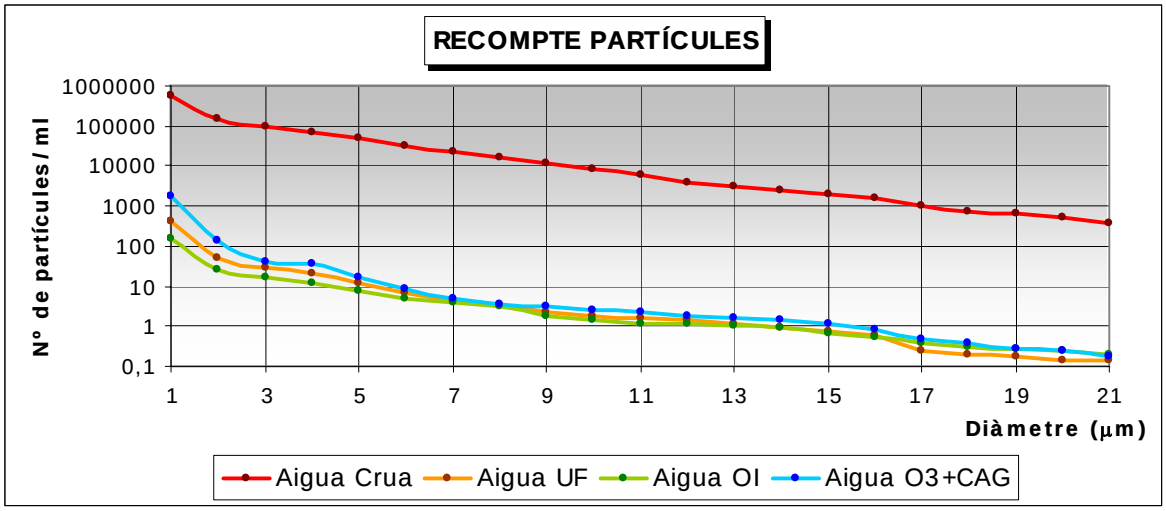

Figura 5.9. Representació del número de partícules (per ml) de diàmetre superior a cadascun dels límits de diàmetre representats (de 1 a 21µm), presents en els diferents punts de mostreig.

Amb la Ultrafiltració s'arriben a eliminar fins a 3 unitats logarítmiques de partícules per mililitre d'aigua crua, això permet obtenir una aigua de gran qualitat per alimentar l'Osmosi Inversa, on es redueix el nombre de partícules en mitja unitat logarítmica més, obtenint una aigua quasi pura.

5.3.2. Paràmetres orgànics

5.3.2.1. Carbó Orgànic Total Dissolt (COT)

El COT reflexa la concentració de carbó (mg C/l) present en l'aigua que forma part de les substàncies orgàniques, sense informar de la naturalesa d'aquestes ni del grau d'oxidació La quantitat de carbó orgànic continguda a l'aigua ens dona una mesura global de la matèria orgànica present, i per tant, de la contaminació de l'aigua. [Salvatella, 1974]. La matèria orgànica natural (NOM) està formada en gran part per substàncies húmiques (àcids fúlvics i húmics) que a més de ser les responsables del color a l'aigua, actuen de precursors dels subproductes de la desinfecció com són els trihalometans. [Rodríguez, 1999]

L'acidificació de l'aigua crua a la UF fa que l'eliminació de COT sigui un 10% més efectiva en la UF, arribant en alguns casos prop del 50% d'eliminació. El tant per cent d'eliminació de COT en l'aigua crua es pot dir que és més alt si es té en compte que les mostres d'aigua crua han estat filtrades al laboratori a l'hora de mesurar el COT degut a l'alt contingut de

matèria en suspensió, per tant la presencia de COT a l'aigua crua és en realitat més elevada del que determina l'analítica. Es podria afirmar que les l'eficiència de la UF és millor del que marquen les dades de les Taules 5.22 i 5.23.

Taula 5.22. Valors màxims, mínims i mitjans de COT juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes.

	COT dissolt					%Eliminació		
	[mgC/l]							
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mínim	Mitja	Màxim
Aigua Crua	4,8	6,0	8,9	0,8	29			
Aigua UF	2,8	4,3	6,0	0,7	32	15,1	26,9	40,4
Aigua OI	0,2	0,3	0,9	0,2	30	78,0	92,4	95,9
Aigua O3+CAG	2,0	2,7	3,6	0,4	30	12,5	36,0	55,1

Es pot observar en la següent taula, que mostra un resum dels resultats de COT de l'experiment amb HCl, que els nivells de COT al producte final de O3+CAG han disminuït lleugerament, fet que es tradueix en un millora de la qualitat d'aigua.

Taula 5.23. Valors màxims, mínims i mitjans de COT juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes.(* Utilització d'àcid clorhídric)

	COT dissolt					%Eliminació		
	[mgC/l]							
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mínim	Mitja	Màxim
Aigua Crua	5,0	5,9	7,0	0,5	20			
Aigua UF*	3,1	3,7	5,0	0,4	20	28,6	37,8	46,7
Aigua OI	0,2	0,3	0,6	0,1	20	85,7	93,2	95,0
Aigua O3+CAG	1,5	2,3	3,0	0,4	20	25,0	38,8	51,6

5.3.2.2. Potencial de Formació de Trihalometans

El control dels trihalometans ha anat adquirint una importància creixent en els darrers anys com a conseqüència de la Directiva europea 98/83/CE la qual marca com límit màxim de THM totals en aigües destinades a consum 150 µg/l des de gener del 2004 i 100 µg/l a partir de gener del 2009 [ANNEX A].

Diversos factors influeixen en la formació dels subproductes de la cloració: origen de l'aigua (superficial/subterrània), concentració de la matèria orgànica, quantitat de clor afegit, pH, temperatura, tipus de desinfectant utilitzat, etc. [Garcia-Villanova, 1997]

L'ús de clor en la desinfecció de l'aigua origina la formació de subproductes, entre ells els THM, ja que el clor és un dels seus precursors. En la preoxidació de l'ETAP, degut al contingut de matèria orgànica, amoníac i compostos reductors a l'aigua del riu Llobregat, la demanda de clor és molt elevada, generant un gran quantitat de subproductes de desinfecció. La cinètica de formació de THM és lenta i per tant no és suficient mantenir la concentració de THM a la sortida de la planta per sota dels límits legislats, ja que experimentaran un augment important en la xarxa de distribució. Per aquest motiu, el control dels THM en l'ETAP de Sant Joan Despí és d'una importància cabdal. [Armenter, 2003]

La línia de tractament proposada té la característica de no oxidar l'aigua abans d'iniciar el tractament, per tant l'aigua no té THM, en aquest cas s'ha d'estudiar el potencial de formació de THM per poder valorar l'eficiència dels diferents processos. L'evolució del potencial de formació de THM en 24 hores es pot veure en les Taules 5.24 i 5.25, on es pot comparar el resultat del tractament sense o amb ajuda d'àcid respectivament.

Taula 5.24. Valors màxims, mínims i mitjans del potencial de formació de THM juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes.

	Potencial de Formació de THM [μg/l]					%Eliminació
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mitja
Aigua Crua	192,3	255,3	302,0	50,6	4	
Aigua UF	143,5	206,9	266,5	48,7	8	19,1
Aigua OI	1,8	5,8	14,8	4,4	8	97,9
Aigua O3+CAG	65,2	104,7	156,0	28,4	10	51,5

S'ha de fer notar que la millora en l'eliminació de COT que s'aconsegueix amb l'acidificació de l'aigua d'entrada a la UF, augmenta el tant per cent d'eliminació de PFTHM en el procés d'UF en quasi un 10%, però això no es reflecteix en els PFTHM al final de les línies de tractament. Tant en l'aigua osmotitzada com en l'aigua ozonitzada i filtrada per CAG, els valors de PFTHM no varien molt quan s'afegeix àcid per millorar la coagulació a la UF i per tant l'eliminació de matèria orgànica. Tenint en compte que la matèria orgànica i per tant el COT present en l'aigua reacciona amb el clor formant THM, la disminució dels nivells de

COT amb l'ús d'àcid no és suficientment gran com per obtenir uns resultats de PFTHM tan bons que justifiquin el cost afegit que suposa l'ús d'àcid en aquest cas.

Els valors de PFTHM al final de les dues línies de tractament es troben al voltant de 6 μg/l per la línia d'UF+OI i de 100 μg/l per la línia d'UF+O3+CAG. Per tant, una barreja d'aigües d'aquestes dues línies ens assegurarà uns nivells de THM per sota del límit de 100 μg/l marcat pel RD 140/2003, ja que els PFTHM de les barreges són proporcionals (s'ha comprovat al laboratori).

Com es pot veure a la següent taula, el PFTHM de l'aigua crua durant l'experiment amb HCl és més elevat. Això es pot deure a que aquest experiment coincideix amb el període de juny i juliol on les temperatures elevades (entre 25 i 30 ºC) afavoreixen les reaccions químiques de formació de subproductes de la cloració i l'augment de matèria orgànica a l'aigua, fent que els nivells de PFTHM siguin més elevats.

Taula 5.25. Valors màxims, mínims i mitjans del potencial de formació de THM juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard i la mitja del tant per cent d'eliminació en les diferents etapes.(* Utilització d'àcid clorhídric)

	Potencial de Formació de THM [μg/l]					%Eliminació
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres	Mitja
Aigua Crua	213,0	293,8	353,0	65,1	5	
Aigua UF*	157,0	208,7	270,0	49,4	5	28,4
Aigua OI	5,0	5,9	8,3	1,4	5	97,2
Aigua O3+CAG	60,2	100,8	146,0	35,7	6	47,7

La presència de bromurs en l'aigua crua determina l'especiació o proporció dels subproductes. Cal esmentar que la concentració de ions bromur és significativa degut a les aportacions salines de la part alta de la conca hidrogràfica pel que les espècies bromades són less més presents. L'ió bromur en presència de clor s'oxida a àcid hipobromós (HOBr), que quan es troba a l'aigua amb l'àcid hipoclorós (HOCl) en concentracions similars, afavoreix la formació de les espècies organobromades en front de les organoclorades [Villanueva, 2003]. Els trihalometans més freqüents són:

- Cloroform: $CHCl_3$
- Diclorobromometà: $CHCl_2Br$
- Clorodibrometà: $CHClBr_2$
- Bromoform: $CHBr_3$

Les Taules 5.26 i 5.27 mostren l'especiació de THM a cada una de les etapes, notant la seva evolució. Podem destacar l'eliminació de compostos clorats en la línia d'afinament, i com el bromoform persisteix degut a que la presencia de bromurs és molt elevada.

Taula 5.26. Valors mitjans del potencial de formació dels derivats bromats i clorats juntament amb el tant per cent d'eliminació de les dues línies paral·leles del tractament.

	Potencial de Formació de THM [µg/l]					%Eliminació de la línia
	$CHCl_3$	$CHCl_2Br$	$CHClBr_2$	$CHBr_3$	**Total**	
Aigua Crua	38,3	64,8	**94,9**	57,4	255,3	
Aigua UF	15,6	32,7	72,0	**88,5**	206,8	
Aigua UF+OI	**3,3**	1,1	1,0	1,4	5,8	97,73
Aigua UF+O3+CAG	5,6	9,3	29,0	**61,9**	104,6	59,03

Taula 5.27. Valors mitjans del potencial de formació dels derivats bromats i clorats juntament amb el tant per cent d'eliminació de les dues línies paral·leles del tractament. (* Utilització d'àcid clorhídric)

	Potencial de Formació de THM [µg/l]					%Eliminació de la línia
	$CHCl_3$	$CHCl_2Br$	$CHClBr_2$	$CHBr_3$	**Total**	
Aigua Crua	33,2	71,8	**121,2**	67,6	293,8	
Aigua UF*	12,2	34,8	**86,0**	75,7	208,7	
Aigua UF*+OI	**2,5**	0,8	1,2	1,8	5,9	98,01
Aigua UF*+O3+CAG	7,2	6,5	27,2	**61,1**	100,8	65,71

Normalment, en aigües amb una gran concentració de bromurs en l'aigua, s'observa una disminució del cloroform format i un augment de la concentració en mono-bromats i di-bromats [Mosquera, 1987]. L'OI al eliminar els bromurs de l'aigua i la matèria orgànica, redueix el potencial de formació dels derivats bromats i del cloroform. En la línia de tractament convencional (O3+CAG) la disminució del potencial de formació ve donada principalment per l'eliminació de matèria orgànica, que permet reduir els compostos organoclorarts i sense alterar pràcticament el valor de potencial de formació del bromoform.

5.3.3. Composició mineralògica

L'eliminació de minerals aniònics es duu a terme bàsicament en el procés d'Osmosi Inversa, entre un 85 i un 95 %. El problema dels bromurs del riu es resol aplicant OI. Els cations com l'alumini i el ferro són els que la UF elimina més eficaçment, tal i com podem veure a la Figura 5.10, ja que proporciona eliminacions del 97 i 99 % respectivament. S'obté un aigua amb una composició per sota dels valors límits recomanats per tal de poder ser tractada amb

membranes d'OI (50 μg Al/l i 100 mg Fe/l). Això redueix el risc de precipitacions de ferro i alumini, grans enemics per les membranes d'OI. Cal esmentar que a la UF es dosifica clorur de ferro i, tal i com mostren els resultats, el ferro acaba precipitant en el tanc de membranes sense passar al permeat.

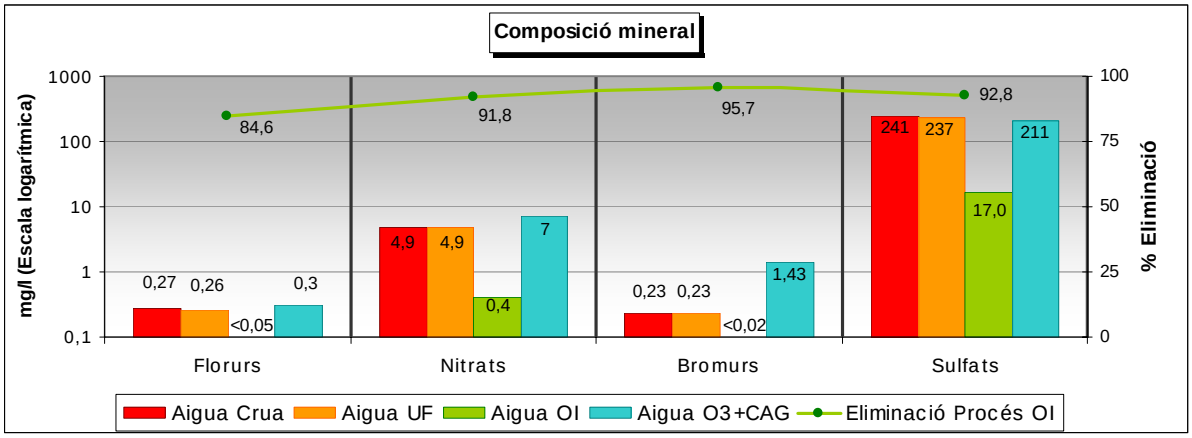

Figura 5.10. Anions Florurs, Nitrats, Bromurs i Sulfats presents en l'aigua dels diferents punts de mostreig en mg/l i percentatge de rebuig d'aquests en el procés d'OI.

Entre determinats metalls pesants, el níquel es un paràmetre important ja que el riu Llobregat té moltes vegades una elevada concentració de níquel que obliga a parar l'ETAP de Sant Joan Despí degut que aquest no s'elimina durant el procés i el RD 140/2003 marca un límit de 20 μg Ni/l en l'aigua potabilitzada pel consum humà. Quan la concentració de níquel al riu és superior a 20 μg Ni/l, l'ETAP deixa de captar aigua del riu, reduint la seva producció. A la Figura 5.11 podem observar l'evolució del níquel en la nova línia de tractament proposada, on un 30% s'elimina en la UF i un 72% en l'OI obtenint una mitja de 3μg Ni/l a la sortida de l'OI i 9μg Ni/l a la sortida de filtres de carbó quan els valors de níquel al riu es troben al voltant de 14μg Ni/l. S'ha tractat aigua del riu amb UF quan aquesta tenia nivells de níquel superiors a 20μg Ni/l i s'ha observat que en aquests casos l'eliminació arribava al 60% obtenint valors per sota de 9 μg Ni/l. Això ens permet assegurar que aquest tractament podrà tractar aigua del riu, produint aigua de molt bona qualitat, en aquests casos en que l'actual tractament no ho podria fer.

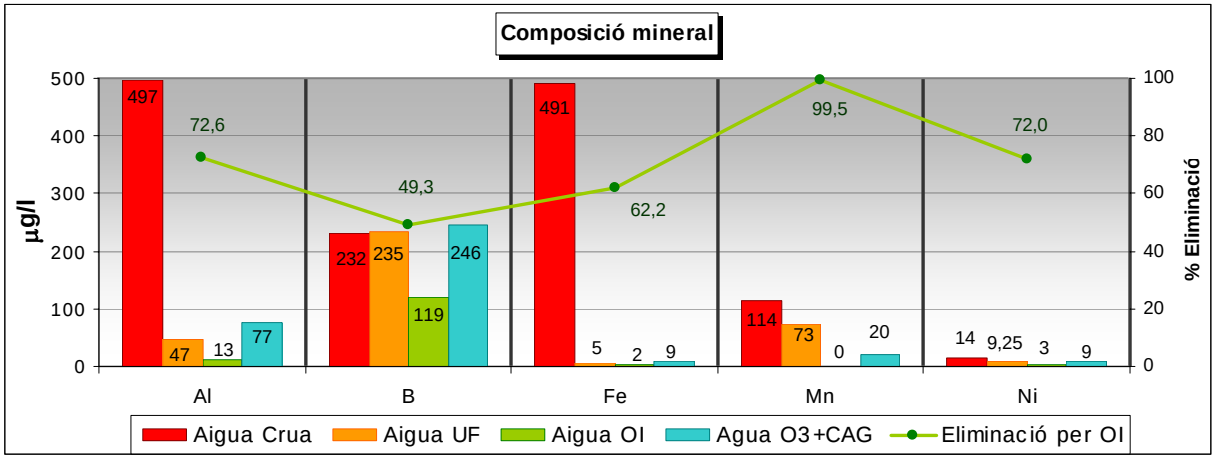

Figura 5.11. Composició mineral mitjana en Alumini, Bor, Ferro, Manganès i Bari de l'aigua dels diferents punts de mostreig en µg/l i percentatge de rebuig dels cations amb l'OI.

La Figura 5.12 mostra l'evolució del Sodi (Na), Potassi (K), Calci (Ca) i Magnesi (Mg) en el tractament, essent l'OI l'únic procés capaç reduir la seva concentració. L'Osmosi Inversa arriba a valors propers al 100% d'eliminació.

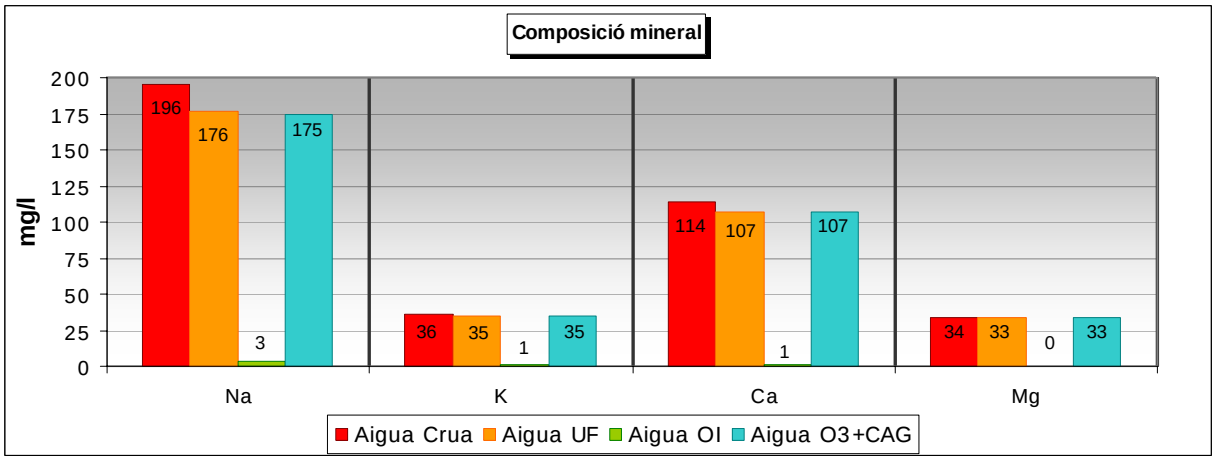

Figura 5.12. Composició mineral en Sodi, Potassi, Calci i Manganès de l'aigua dels diferents punts de mostreig en mg/l.

5.3.4. Parametres microbiològics

5.3.4.1. Bacteris aerobis a 22 ºC

La presencia de bacteris a l'aigua osmotitzada està per sota del límit de 100 UFC/ml marcat pel R.D.140/2003 per l'aigua de consum humà, i si tenim en compte que encara no ha estat clorada, podem dir que la qualitat microbiològica d'aquest aigua (Taules 5.28 i 5.29) és molt bona. Pel contrari, els filtres de CAG augmenten la presencia de bacteris al final del seu procés. Els filtres ofereixen a la seva superfície unes condicions òptimes per la colonització bacteriana, que gràcies a la ozonització prèvia que sobresatura d'oxigen el llit filtrant, es reprodueix l'escenari perfecte per la degradació orgànica.[González, 1996]

Taula 5.28. Valors màxims, mínims i mitjans dels bacteris aerobis a 22 ºC juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de mostreig.

	Bacteris aerobis a 22 ºC				
	[UFC/ml]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	13000	37220	123000	35168	10
Aigua UF	330	5483	38000	11595	10
Aigua OI	4	37	74	26	7
Aigua O3+CAG	160	4963	11700	4961	6

L'ús d'àcid ha millorat l'eliminació de bacteris, degut probablement a l'acció directa de l'àcid, reduint la mitja de bacteris en l'aigua ultrafiltrada (Taula 5.29) respecte a l'experiment sense àcid (Taula 5.28). La presencia de bacteris al final de la línia d'afinament ha augmentat, tot i la menor presencia en l'aigua d'alimentació (aigua UF), això es deu a que els filtres porten molts mesos sense ser regenerats i probablement els llits biològics han proliferat.

Taula 5.29. Valors màxims, mínims i mitjans dels bacteris aerobis a 22 ºC juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de mostreig. (* Utilització d'àcid clorhídric)

	Bacteris aerobis a 22 ºC				
	[UFC/ml]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	35000	291000	618000	241803	4
Aigua UF*	170	1490	3040	1220	4
Aigua OI	8	44	75	30	4
Aigua O3+CAG	470	5870	16400	7212	4

La figura següent mostra d'una manera més visual el comportament de la UF en l'eliminació de bacteris aerobis. Es pot comprovar que les membranes d'UF normalment eliminen uns 2 logaritmes, però poden arribar a eliminar fins 3 logaritmes en aquelles setmanes en que la presencia de bacteris a l'aigua crua és molt més elevada de l'habitual, mantenint uns valors d'UFC/ml dins de la mitja.

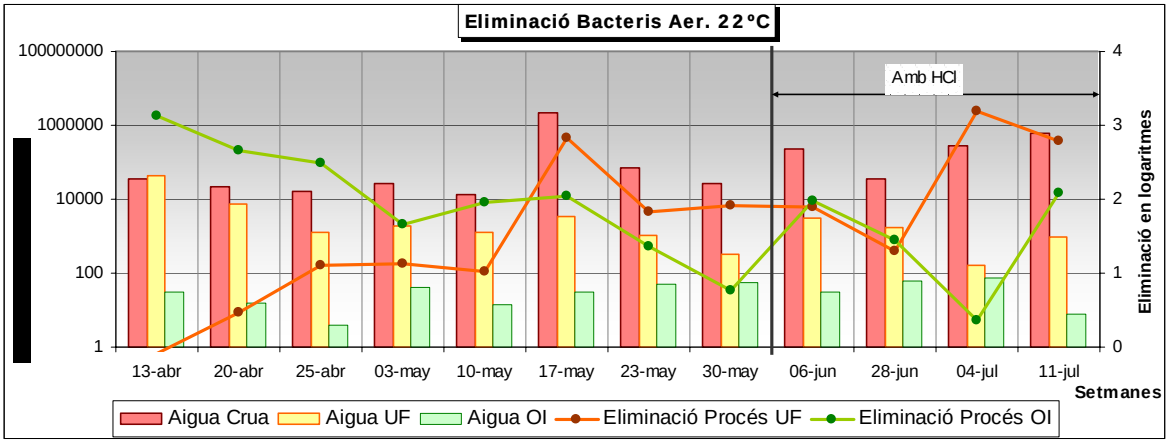

Figura 5.13. Colònies de bacteris aerobis a 22 ºC presents en l'aigua crua, ultrafiltrada i osmotitzada expressats en escala logarítmica d'UFC/ml , juntament amb l'eliminació obtinguda en els processos d'UF i OI (expressat en unitats logarítmiques eliminades)

També es pot notar la tendència de l'aigua crua a empitjorar a mesura que avança la primavera i augmenta el calor, però la Ultrafiltració manté la seva eficàcia tal i com s'esperava.

5.3.4.2. Eschericcia Coli

L'eliminació per part de la UF d'eschericcia coli (E. coli) ha estat del tot satisfactòria, ja que la presència estadística (NMP/100ml o nombre més probable d'espècies en 100ml) en el producte ha estat nul·la en tots els casos. La UF es una barrera per aquestes espècies bacterianes tot i la gran concentració d'E. coli present a l'aigua crua. Gràcies a la completa eliminació per part de la UF i a les làmpades d'UV de la línia d'OI i a la ozonització de la línia d'afinament, aquest bacteris no s'han desenvolupat en la resta de la línia de tractament. Els filtres de carbó actiu han mostrat en algun cas aïllat, i per tant no es pot considerar significatiu, alguna presencia bacteriana d'eschericcia coli.

Els valors més significatius d'aquest paràmetre al llarg del temps de funcionament de la planta es troben resumits en la següent taula, on no s'ha fet distinció d'ús de àcid o no, ja que l'eliminació és total en tots dos casos.

Taula 5.30. Valors màxims, mínims i mitjans d'eschericcia coli juntament amb el nombre de mostres analitzades, la seva desviació estàndard en l'aigua dels diferents punts de mostreig al llarg del temps d'experimentació.

	Eschericcia Coli				
	[NMP/100ml]				
	Mínim	Mitja	Màxim	σ	Mostres
Aigua Crua	76	10513	93000	24960	13
Aigua UF	0	0	0	0	14
Aigua OI	0	0	0	0	11
Aigua O3+CAG	0	1	4	1	10

5.3.5. Comportament de la línia de tractament en cas de riuada

El riu Llobregat es caracteritza per ser un riu mediterrani i per tant torrencial. Això vol dir que pot passar de portar un cabal de 2 a 60 m^3/s, arribant fins valors de més de 1000 m^3/s en les grans riuades. Normalment el riu porta molt poc cabal i s'aprofita gairebé tota l'aigua que arriba a la captació de l'ETAP, essent el cabal, moltes vegades, inferior a la concessió que te l'ETAP de 5,3 m^3/s .

Quan l'aigua supera els enclavaments que l'ETAP té en qüestió de qualitat d'aigua de captació, s'ha de recórrer a l'aigua subterrània de l'aqüífer del Llobregat. Aquestes circumstàncies són degudes a episodis de contaminació natural del riu, a pluges localitzades que netegen el clavegueram o fan retornar al riu els cabals derivats del riu Anoia i de la riera de Rubí, tots dos molt contaminats. [Rodríguez, 1995]

El problema de les riuades és que, tot i la disponibilitat d'aigua per poder captar, l'aigua que porta el riu no es tractable. Es tracta d'un aigua amb una gran quantitat de matèria en suspensió, massa elevada, que podria col·lapsar els decantadors i la planta de fangs. A més coincideix amb nivells d'amoníac molt elevats degut a que normalment les riuades trenquen la presa de la riera de Rubí, vessant les seves aigües, fruit d'una depuració deficient i amb una presencia molt important d'amoníac, en el riu Llobregat [FNCA-ACA, 2004].

La Ultrafiltració segons l'estudi realitzat podria ser una solució a les pèrdues de producció degudes a la impossibilitat de tractar l'aigua del riu. Com es pot veure en la Taula 5.31, la planta d'UF es comporta amb gran eficàcia:

- manté els seus nivells d'eliminació de COT en 20-30%
- la terbolesa de l'aigua ultrafiltrada es troba per sota de 1NTU
- hi ha una presencia de bacteris que entra dins de la mitja normal (veure Taula 5.28 i 5.29), arribant a valors propers a 3 logaritmes d'eliminació.

Taula 5.31. Valors de COT, terbolesa, amoníac, conductivitat, bacteris i E. coli de l'aigua de la planta pilot funcionant en dos dies de riuada (17 de maig i 11 de juliol).

	Crua	UF	UF + OI	UF+O3+CAG	Eliminació amb UF	Eliminació amb OI
COT dissolt (mgC/l)					%	
17-maig	9,15	7,3	0,3	3	20,22	95,89
11-juliol	9,35	6,4	0,2	3,3	31,55	96,88
TERBOLESA (NTU)						
17-maig	1030	0,65	0,09	0,37		
11-juliol	415,0	0,11	0,11	0,22		
AMONÍAC (ppm)					ppm	
17-maig	5,68	4,31	0,02	4,57	1,37	4,29
11-juliol	4,52	4,2	0,02	1,8	0,32	4,18
CONDUCTIVITAT (µS/cm)					%	
17-maig	948	818	13	1231		98,41
11-juliol	940	1064	13	1018		98,78
BACTERIS AER. 22 ºC (UFC/ml)					logarítmes	
17-maig	2280000	3350	30	1950	2,83	2,05
11-juliol	618000	990	8	16400	2,80	2,09
ESCHERICCIA COLI (NMP/100ml)						
17-maig	460000	0	0	0		
11-juliol	129970	2	0	1		

Hi ha un gran problema a l'hora de tractar aigua tan carregada amb amoníac, la presencia d'amoníac al final de la línia d'afinament és massa elevat, fent necessària una cloració en dosis molt elevades per poder eliminar-lo. Altre problema és la presència de E. Coli que no compleix les expectatives posades en la planta en quant a tractar aigües de riuades.

La conductivitat de l'aigua de riu disminueix en quasi un 60% els dies de riuada degut a l'augment de cabal. Això ens proporciona una menor càrrega per les membranes d'OI i una disminució de la conductivitat final de la barreja degut a la baixa conductivitat de l'aigua de la línia d'afinament.

Durant les riuades el potencial de formació de bromoform és molt baix i pel contrari, el de cloroform és molt elevat. La disminució de bromurs a l'aigua es veu reflectida en els trihalometans bromats i per tant en el PFTHM resultant, tal i com mostrem en la Taula 5.32.

Taula 5.32. Especiació de PFTHM mitjans de l'aigua de la planta pilot funcionant en la riuada del 17 de maig de 2005.

	Potencial de Formació de THM [µg/l]					%Eliminació de l'etapa	%Eliminació de la línia
	$CHCl_3$	$CHCl_2Br$	$CHClBr_2$	$CHBr_3$	**Total**	Mitja	Mitja
Aigua Crua	85,0	63,3	37,4	6,6	192,3		
Aigua UF	53,0	52,3	31,4	6,8	143,5	25,38	
Aigua OI	<0,5	1,3	1,7	2,4	5,7	96,03	97,04
Aigua O3+CAG	22,0	21,6	16,0	5,6	65,2	54,56	66,09

L'augment de cloroform en l'aigua a la és deguda elevada d'amoníac en l'aigua (de 4,57 ppm). L'elevada dosis de clor que requereix l'aigua per eliminar aquest amoníac no té una importància directa en la formació de cloroform, però sí el clor lliure.[Mosquera, 1987]

La presencia de minerals en general és menor en l'aigua de la riuada, encara que hi han alguns valors elevats com poden ser l'alumini, ferro o silici, que són eliminats normalment en el procés obtenint valors dins de la mitja. A la Taula 5.33 podem veure com la UF assegura l'eliminació d'aquells metalls que inusualment estan en una concentració més elevada a l'aigua crua.

Taula 5.33. Composició mineral de l'aigua tractada per la planta pilot d'UF en un dia de riuada i mitja de la composició dels dies amb aigua normal. En negreta aquells valor més alts de lo normal en l'aigua crua.

		Riuada				Mitja díes normals			
		Crua	**UF**	**OI**	**CAG**	**Crua**	**UF**	**OI**	**CAG**
Alumini	µg/l	**793**	20	4	11	497	47	12,9	77
Bor	µg/l	144	138	46	162	232	235	119	246
Estronci	mg/l	0,69	0,72	0,01	0,56	1,8	1,8	0,0	1,8
Sodi	mg/l	102,5	101	2	87,3	196	176	3,0	175
Potassi	mg/l	18,2	18,3	0,4	16,1	36	35	0,6	35
Calci	mg/l	65,5	77,2	0,5	75,6	114	107	0,6	107
Magnesi	mg/l	15,5	14,8	0,1	12,6	34	33	0,2	33
Silici	mg/l	**2,05**	1,19	0	1,19	0,5	0,2	0	0,3
Ferro	µg/l	**742**	8	0	7	491	5	1,9	9
Manganès	µg/l	**177**	254	0	15	114	73	0,4	20
Bari	µg/l	62	56	0	40	60	44	0,3	39

5.3.6. Evolució de les membranes durant l'estudi

La utilització de la UF permet captar i tractar aquell aigua que per l'actual tractament de l'ETAP seria impossible potabilitzar i que per altra banda es desaprofitaria en el mar. A més, el fet de no haver de parar la captació d'aigua superficial, permetrà mantenir més temps les reserves hídriques de l'aqüífer del Llobregat.

La variable més indicativa de l'embrutiment de les membranes és la pressió transmembranària (PTM) o pressió mitja a traves de la membrana filtrant.

Al representar gràficament l'evolució al llarg del temps la PTM d'un mòdul d'UF, s'obté una corba similar a les mostrada a la Figura 5.14.

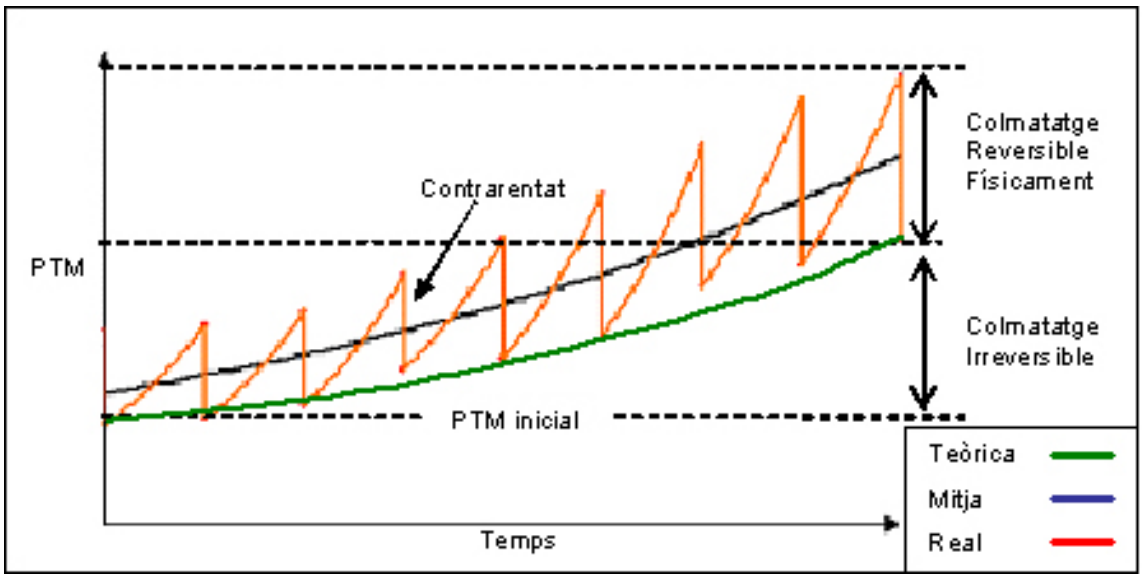

Figura 5.14. Evolució de la pressió transmembranaria (PTM) amb el temps.

La corba de color vermell, en forma de dents de serra, mostra l'evolució real de la PTM del mòdul que es sotmet a una sèrie de neteges periòdiques. Així, aquestes neteges permetran obtenir un corba d'augment mitjà de pressió lleugerament inferior a la corba teòrica.

La realització de les neteges ha de basar-se, doncs, en la pèrdua de càrrega. Un increment exponencial d'aquesta en poc temps, així com un augment progressiu durant el tractament, fa que es requereixi una neteja dels mòduls. Degut a la gran importància de la PTM, aquest paràmetre ha estat durant l'explotació de la planta d'UF especialment controlat, anotant diàriament el seu valor (abans, durant i desprès del contrarentat) per detectar possibles

irregularitats en el tractament. El disposar d'un control permet veure l'evolució d'aquest paràmetre amb el temps i poder determinar si el comportament de les membranes es correcte i així poder preveure les neteges.

Representant gràficament els valors de la pressió obtinguts des de la posada en marxa de la planta d'Ultrafiltració al gener fins a mitjans de juliol (període de realització del present estudi) s'obté la Figura 5.15. En aquesta figura es pot observar el moment en que es van realitzar les diferents neteges del mòdul de membranes, així com les dades de les riuades durant les quals la planta d'UF va funcionar.

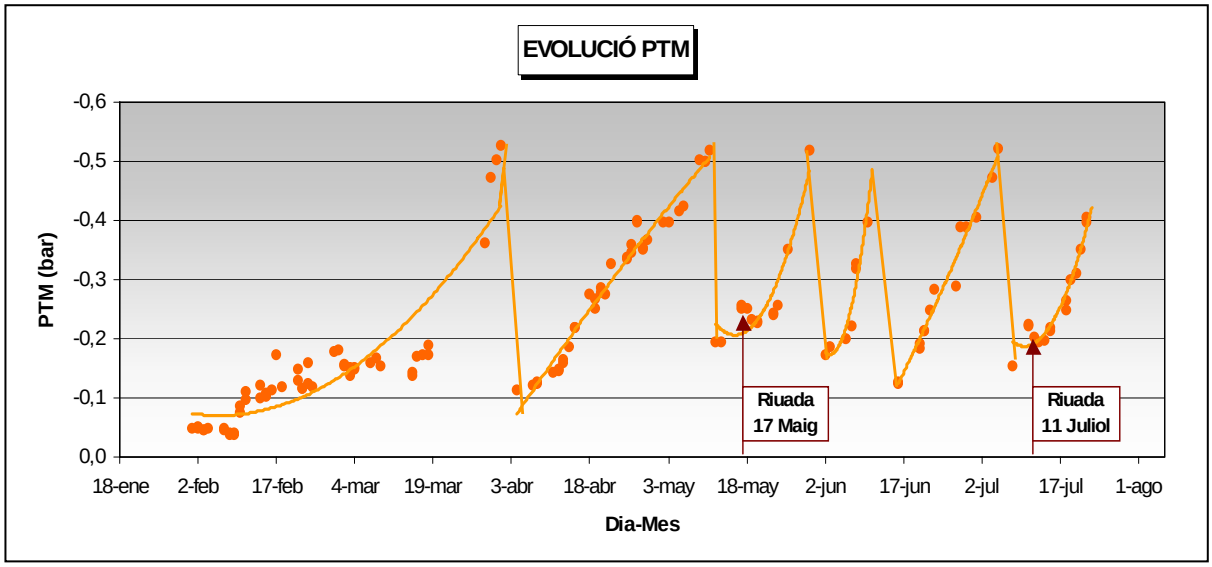

Figura 5.15. Evolució de la PTM al mòdul d'Ultrafiltració.

També es pot observar com a partir de la primera riuada la recuperació de les membranes amb les neteges no ha estat tan satisfactòria com en un primer moment. La primera neteja no va ser necessària fins passat dos mesos i la segona es va dur a terme passat més d'un mes. Desprès de la riuada del 17 de maig, on la planta va produir permeat a partir d'aigua crua del riu Llobregat amb terboleses que van arribar a superar els 5000 NTU; la pressió va començar a augmentar exponencialment fins als valors límits PTM (-8 psi o 0,552 bar) fent necessari realitzar neteges molt més sovint i molt més fortes.

La riuada del 17 de maig va provocar un greu embrutiment de les membranes, fent molt difícil la seva recuperació. Es van començar a realitzar neteges més fortes que consistien en realitzar una neteja àcida després de la neteja bàsica. Les dates de les diferents neteges que

s'han realitzat durant tot el període d'explotació de la planta d'UF es troben en la Taula 5.34, on es detallen el tipus de neteja, el pH a l'inici i al final de la neteja, la dosificació de reactius i la PTM abans i després de cada neteja.

Taula 5.34. Descripció de les neteges realitzades en la planta d'UF i les PTM obtingudes.

	Tipus neteja	pH		Dosificació		PTM	
Data		inici	final	litres	reactiu	abans neteja	després neteja
01/04/05	Bàsica			32	Hipoclorit sòdic	-0,484	-0,112
11/05/05	Bàsica			32	Hipoclorit sòdic	-0,520	-0,195
30/05/05	Bàsica			32	Hipoclorit sòdic	-0,519	
	Àcida	2,2		10	Àcid clorhídric		-0,172
13/06/05	Bàsica	8,7	8,3	32	Hipoclorit sòdic		
	Àcida	2,2	2,2	10	Àcid clorhídric		-0,128
06/07/05	Bàsica	8,4	7,84	32	Hipoclorit sòdic	-0,536	
	Àcida	2,2	2,7	8	Àcid clorhídric		-0,155
26/07/05	Bàsica	8,66	7,94	32	Hipoclorit sòdic	-0.414	
	Àcida	2,2	2,45	18	Àcid clorhídric		
28/07/05	Inertització	7,43		10	Hipoclorit sòdic		-0,100

A la taula anterior també es pot trobar les dades de la inertització realitzada al final de l'estudi per conservar les membranes.

L'evolució de la pressió diferencial del mòdul de membranes d'Osmosi Inversa es troba representada en la Figura 5.16. La pressió s'ha mantingut per sota de 2,8 bars i no s'han hagut de realitzar substitucions dels mòduls durant el període de 5 mesos que ha durat l'estudi. S'ha obtingut per tant un augment important de la vida útil de les membranes d'OI, ja que durant els estudis realitzats amb aigua ozonitzada, filtrada per sorra i filtrada per CAG de l'ETAP de Sant Joan Despí, la pressió diferencial va superar els 3 bars, fent malbé alguns dels mòduls que van haver de ser substituïts abans dels 4 mesos, amb l'elevat cost que això suposa.

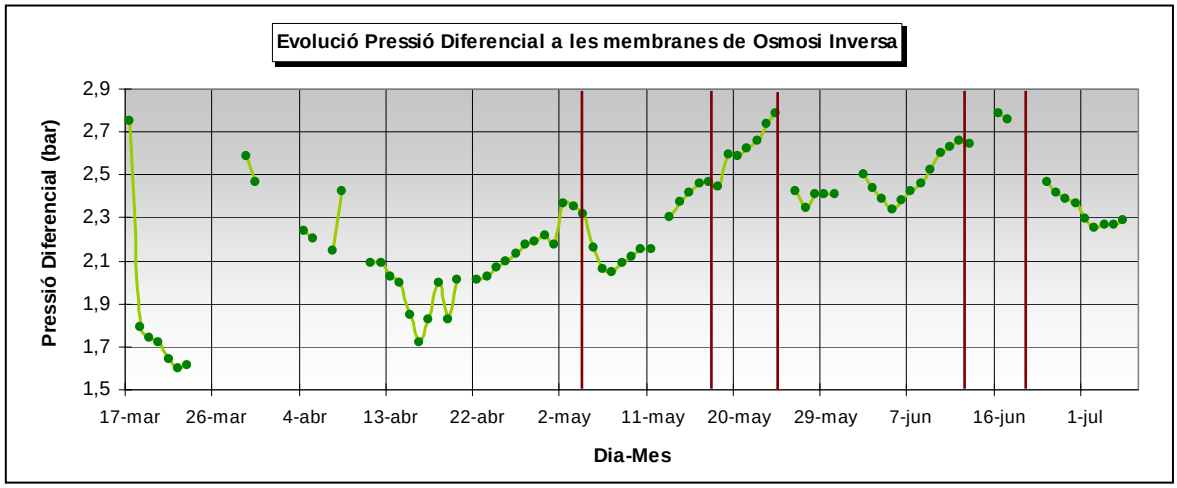

Figura 5.16. Evolució de la pressió diferencial de les membranes d'OI

S'han realitzat diverses neteges biològiques periòdiques com a mesura de prevenció, algunes vegades combinades amb neteges bàsiques o àcides per netejar-les més a fons i eliminar les possibles incrustacions (veure Taula 5.35). Al final de l'estudi, es va realitzar una inertització de les membranes per tal de conservar-les. Aquesta inertització es convenient repetir-la periòdicament per assegurar la seva eficàcia.

Taula 5.35. Descripció de les neteges realitzades en la planta d'UF i les PTM obtingudes.

	Tipus neteja	Dosificació		P_{Dif} (bar)	
Data		litres	reactiu	abans neteja	després neteja
4/05/05	Biològica	0,17 l	PC-11	2,32	2,16
18/05/05	Biològica	0,17 l	PC-11	2,44	2,59
25/05/05	Bàsica	10 l +10 l	PC-33 PC-99	2,78	
	Biològica	0,16 l	PC-11		
26/05/05	Àcida	20 l	PC-70		2,42
13/06/05	Biològica	0,18 l	PC-11	2,64	2,79
20/06/05	Bàsica Forta	5 l +20 l	PC-33 PC-99	2,76	
21/06/05	Biològica	0,17 l	PC-11		2,46
21/7/05	Inertització	0,25 ml	PC-55	2,26	

6. PRESSUPOST DEL PROJECTE

El cost del projecte es mostra a continuació tot diferenciant entre les diferents plantes pilots i els set mesos que ha durat:

	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	TOTAL
PLANTA PILOT ULTRAFILTRACIÓ								
Cost lloguer planta pilot UF a ZENON	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	10.500
Transport des de Canadà	3.000							3.000
Muntatge i desmuntatge planta	1.561							1.561
Equips perifèrics	1.877	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	8.393
Lloguer bomba alimentació a TFB-Flyght	1.743	1.743	1.743	1.743	1.743	1.743	1.743	12.201
Plataforma estructural per GARCIA FAURA	10.035	2.837						12.872
Alimentació elèctrica	2.350	1.375						3.725
Muntatge bomba d'alimentació	6.382							6.382
Instal·lació punts xarxa elèctr. y aigua aux. per ATI		2.780						2.780
Reactius	750	750	750	750	750	750	750	5.250
Equip de càlcul de SDI		1.185						1.185
Cost consum energètic	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	14.700
PLANTA PILOT OSMOSI INVERSA								
Reactius	800	800	800	800	1.500	1.500	1.500	7.700
Cost consum energètic	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	11.900
PLANTA PILOT OZÒ+FILTRACIÓ PER CAG								
Instal·lació - PIMAN	2.900	1.600	2.100					6.600
Cost de personal								
Seguiment Tècnic	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	18.200
Analítiques paràmetres qualitat de l'aigua	22.498	22.498	22.498	22.498	9.074	9.074	9.074	117.214
	61.796	**44.554**	**36.877**	**34.777**	**22.053**	**22.053**	**22.053**	**244.163**

A continuació es mostra en detall el cost dels anàlisis realitzats durant tots els mesos de l'estudi, diferenciant entre els primers mesos (de gener a abril) en que es feia un anàlisi més exhaustiu i els darrers mesos (de maig a juliol) on es van reduir les analítiques i la seva freqüència.

Gener - Abril	Punt de mostreig				Anàlisis		Cost dels Anàlisis	
	Crua	UF	OI	O3+CAG				
Paràmetres	nº anàlisis /Setmana				nº /Setm.	nº /mes	€/anàlisis	€/mes
Terbolesa	5	5	5	5	20	80	9,36	748,8
Conductivitat	5	5	5	5	20	80	7,28	582,4
COD	5	5	5	5	20	80	33,28	2.662,4
NH_3	5	5	5	5	20	80	14,04	1.123,2
Color	5	5	5	5	20	80	9,36	748,8
UV -254	5	5	5	5	20	80	12,48	998,4
pH	5	5	5	5	20	80	7,28	582,4
TAC	5	5	5	5	20	80	12,48	998,4
ICP	5	5	5	5	20	80	12,48	998,4
Recompte Partícules	5	5	5	5	20	80	66,04	5.283,2
Potencial formació	5	5	5	5	20	80	83,2	6.656
Coli. Totals	1	1	1	1	4	16	18,72	299,52
Bacteris aer.22ºC	1	1	1	1	4	16	13,52	216,32
Altres proves realitzades per completar l'estudi								600
Total Mensual						**912**		**22.498 €**

Maig - Juliol	Punt de mostreig				Anàlisis		Cost dels Anàlisis	
	Crua	UF	OI	O3+CAG				
Paràmetres	nº anàlisis /Setmana				nº /Setm.	nº /mes	€/anàlisis	€/mes
Terbolesa	5	5	5	5	20	80	9,36	748,8
Conductivitat	5	5	5	5	20	80	7,28	582,4
COD	5	5	5	5	20	80	33,28	2.662,4
NH3	5	5	5	5	20	80	14,04	1.123,2
pH	5	5	5	5	20	80	7,28	582,4
TAC	1	1	1	1	4	16	12,48	199,68
ICP	1	1	1	1	4	16	12,48	199,68
Potencial formació	1	1	1	1	4	16	83,2	1.331,2
Coli. Totals	1	1	1	1	4	16	18,72	299,52
Bacteris aer.22ºC	1	1	1	1	4	16	13,52	216,32
Recompte Partícules						8	66,04	528,32
Altres proves realitzades per completar l'estudi								600
Total Mensual						**488**		**9.074 €**

En el següent llistat es detalla el cost dels recursos tècnics, materials i humans, així com el càlcul final del pressupost.

INVENTARI EQUIPS I APARELLS

Concepte	€
Cost lloguer planta pilot UF a Zenon Environmental Inc.	10.500
Transport des de Canadà	3.000
Equips perifèrics	8.393
Lloguer bomba alimentació a TFB-Flyght	12.201
Plataforma estructural per GARCIA FAURA	12.872
Alimentació elèctrica	3.725
Equip de càlcul de SDI	1.185
SUBTOTAL	**51.876**

MATERIALS

Concepte	€
Reactius UF	5.250
Cost consum energètic UF	14.700
Reactius OI	7.700
Cost consum energètic OI	11.900
SUBTOTAL	**39.550**

PERSONAL NO TITULAT

Tasques	€
Muntatge i desmuntatge planta	1.561
Muntatge bomba d'alimentació	6.382
Instal·lació punts xarxa elèctr. y aigua aux. per ATI	2.780
Instal·lació línia ozó-carbó actiu	6.600
SUBTOTAL	**17.323**

Concepte	€
Recursos tècnics i materials	
Equips	51.876
Materials	39.550
Recursos Humans	
Titulats	18.200
No titulats	17.323
Analítiques	117.214
TOTAL ACTIVITATS	**244.163**
DESPESES GENERALS (7% activitats)	**17.091**
ALTRES (consum aigua, elèct., paper...)	**100**
SUBTOTAL PROJECTE	**505.517**
I.V.A (16%)	80.883
TOTAL PROJECTE	**586.400 €**

7. GESTIÓ DELS RESIDUS

7.1. Residus urbans

L'ETAP està dotada amb contenidors adequats per gestionar els residus que es poden assimilar com a urbans: cartró, plàstics, vidre, metalls, etc., no contaminats amb productes químics. També existeixen contenidors per reciclar els toners de les impressores i piles.

7.2. Residus especials

Els residus especials que comporten les plantes pilots són els següents:

1. Bidons i dipòsits de reactius.
2. Cabal de rebuig i diferents cabals de neteja: dels filtres de CAG, dels filtres de cartutxos i de les membranes.

1. Bidons de reactius

Pel transport dels reactius fins a la planta s'utilitzen bidons de plàstic de 25 litres,. Aquests bidons no requereixen ser tractats de manera especial dins la planta degut a que són recollits i gestionats pel propi proveïdor.

Els bidons buits són emmagatzemats en un magatzem de productes químics fins que el proveïdor vingui a recuperar-los; tenint com a condició que els bidons estiguin en bon estat i que conservin el seu tap.

Els dipòsits de 600 i 1000 litres són recarregats per l'empresa proveïdora que ens els lloga. Aquesta s'encarrega de recollir-los i gestionar-los un cop que ja no facin falta.

L'empresa proveïdora dels reactius s'encarrega doncs de netejar i reutilitzar aquests dipòsits o bidons, aconseguint un ús molt més sostenible.

2. Cabal de rebuig i cabals de neteja

L'aigua de rebuig obtinguda en les plantes pilot d'UF i d'Osmosi Inversa és canalitzada i extreta de la planta pilot, mitjançant una canalització existent dins de la pròpia ETAP, cap a la planta de frangs.

La planta de tractament de fangs depura l'aigua residual de l'etapa de clarificació de l'ETAP (purga dels decantadors i rentat dels filtres de sorra), evitant l'abocament de fangs que poden arribar a ser nocius per l'entorn natural del riu Llobregat. L' aigua un cop tractada és retornada a la capçalera del tractament i entra una altra vegada al procés de potabilització, mentre que els fangs que s'han extret són reutilitzats per la indústria cimentera.

Els cabals de neteja dels filtres de cartutxos i de les membranes, així com el cabal de neteja del filtre de CAG, són tractats, jntament amb el rebuig de les plantes pilot, a la planta de fangs. Aquests cabals suposen una aportació mínima comparats amb els 16.000 m^3 de fangs generats a l'ETAP.

CONCLUSIONS

Basant-se en els resultats, s'ha arribat a les següents conclusions:

- Les membranes d'Ultrafiltració són un tractament excel·lent previ a les membranes d'Osmosi Inversa, proporcionant aigua amb terboleses inferiors a 0,5 NTU i amb un Índex de Fouling al voltant de 2, independentment de les condicions de l'aigua crua provinent del riu Llobregat. Avui en dia , encara que les membranes d'UF tenen un cost inicial de la instal·lació molt més alt que el d'un pretractament convencional, són un excel·lent pretractament per les membranes d'OI permetent reduir tant el consum de reactius com el d'energia elèctrica.

- La utilització d'àcid en la UF no ha resultat tant satisfactòria com s'esperava, ja que si bé és cert que ha millorat l'eliminació de COT en un 10%, aquesta no s'ha vist reflectida en una disminució del PFTHM. El cost tan elevat que suposa baixar el pH d'un aigua tan tamponada com la del riu Llobregat, no compensa la millora obtinguda.

- La Ultrafiltració amb coagulació intensificada permet tractar l'aigua crua del riu directament sense necessitat d'una preoxidació, evitant la formació de THM a l'entrada de la planta, que un cop formats resulten molt difícils d'eliminar. La formació de THM només té lloc, doncs, a la sortida de l'ETAP, en el procés de postcloració, una vegada s'han eliminat gran part dels precursors.

- L'aigua osmotitzada barrejada amb l'aigua tractada per ozonització i CAG permetrà obtenir uns valors de PFTHM en 24 hores inferiors al límit de 100 ppm marcat pel R.D.140/2003 a partir de gener del 2009 i reduir la conductivitat de l'aigua millorant la qualitat química i organolèptica de l'aigua.

- La utilització de la UF permet captar i tractar aquell aigua que per l'actual tractament de l'ETAP seria impossible potabilitzar i que per altra banda es desaprofitaria en el mar. A més, el fet de no haver de parar la captació d'aigua superficial, permetrà mantenir més temps les reserves hídriques de l'aqüífer del Llobregat.

- La UF es capaç de substituir l'actual etapa de clarificació de l'ETAP de Sant Joan Despí i prescindir de la preoxidació. Encara que la UF ha demostrat que pot treballar sense necessitat d'una decantació prèvia, aquesta etapa podria alleugerir el treball de les membranes d'UF en cas de terboleses molt elevades i evitar un embrutiment excessiu.

BIBLIOGRAFIA

Referències biogràfiques

AIGÜES DE BARCELONA (AGBAR). *L'aigua, el llarg camí de la natura a casa.* Barcelona, ACV Edicions, 2003

AMERICAN WATER WORKS ASOCIATION RESEARCH FOUNDATION (AWWARF), LYONNAISE DES EAUX (LdE) I WATER RESEARCH COMMISSION (WRC). *Tratamineto del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones.* Madrid, Ediciones McGraw-Hill, 1998.

ARMENTER, J.L., MESA, J. *Reducción de trihalometanos. Tratamientos con dióxido de cloro y ozono. Caso de la planta de tratamiento de Sant Joan Despí.* Sociedad General de Aguas de Barcelona, S.A. Barcelona, AGBAR, 2003.

BEST, G. [et al.]. *Application of immersed ultrafiltration membranes for color and TOC removal.* Conferència de AWWA a Chicago, Juny 1999.

BREHANT, A., BONNELYE, V., PEREZ, M. *Comparison of MF/UF pretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination.* Desalination. Vol. 144, 2002, p. 353-360.

CANTÓ, J. *Tratamiento de aguas con destino al consumo humano.* Seminari "Abastecimiento de agua potable". Theknos. Sitges, Septiembre 1983.

Conveni Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) i Agencia Catalana de l'Aigua (ACA). *Alternatives per una gestió sostenible de l'aigua a Catalunya.* Cap. 4. 2004. [http://www.unizar.es/fnca/docu/docu48.pdf, Novembre 2005]

FARIÑAS, M. *La desalación en el mundo: perspectivas de futuro.* Tecnolgía del Agua. Vol. 251, 2004, p. 52-61

FARIÑAS, M. *Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones.* Madrid, Ed. McGraw Hill, 1999

GARCÍA-VILLANOVA, R.J. [et al.]. *Formation, evolution and modeeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: I. At the municipal treatment utilities.* Water Research, Vol. 31(6), 1997a, p 1298-1308.

GARCÍA-VILLANOVA, R.J. [et al.]. *Formation, evolution and modeeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: Ii. At the municipal treatment utilities.* Water Research, Vol. 31(6), 1997b, p. 1405-1413.

GONZÁLEZ, M.A. *Implementación ozono i C.A.G. ETAP Zamora.* I Congreso Regional del Agua, 1996.

MOSQUERA, J., SOLER, M.A. Origen , formación y eliminación de los trhialometanos en las aguas de suministro público. Tecnología del agua. Vol 33,1987,p. 35-48.

MOURATO, D. *Aplicaciones de las membranas de microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*. Canadá, Zenon Environmental Inc, 1998.

RAMBIÉ, S., BEST, G., KROLL, S. *Immersed ultrafiltration membranes for treatment of organically laden surface water.* Zenon Environmental Inc, Canada, 2003.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm.45, 2003.

RODRÍGUEZ, R. *La evolución del tratamiento del agua en la ETAP de Sant Joan Despí en la perspectiva del 2005.*, Barcelona, AGBAR, 1995

RODRIQUEZ, F.J. [et al.]. *Caracterización de la materia orgànica natural del agua superficial. Su separación secuencial y análisis por espectrometría ultravioleta infraroja.* Tecnología del agua. Vol. 191, 1999, p. 20-26

SALVATELLA, N., RIBAS, F., OROMÍ, J. *El contenido en carbono orgánico total (T.O.C.) como parámetro para el control de polución y tratamiento de aguas.* Documentos de Investigación Hidrológica,1974

SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE BARCELONA, S.A. (SGAB). *Planta de Tratamiento del río Llobregat en Sant Joan Despí*. Barcelona, 1999.

VIDAL-AISAIN, L. *Las técnicas de filtración tangencial y el medio ambiente.* Revista Econoticias . Vol. 3, 1999. [http://www.asiain-asesores.com/rev3/econum3.htm, setembre 2005]

VILLANUEVA, C. *Subproductes de la desinfecció de l'aigua potable i càncer de bufeta urinària.* [Tesi Doctoral]. Universitat Autònoma de Barcelona, 2003.

Bibliografia Complementaria

LOW, S. *Maximizing the Benefits of Pilot Studies using Membrane Technology*, Zenon Environmental Inc.

Zenon Environmental Inc. *Design and Submittal Maintenance and service manual. ZeeWeed® Modula Drinking Water Unit MDW-08.* Ontario, Octubre 2004.

DEGREMONT. *Planta Piloto de Membranas de Osmosi Inversa para ensayos rales en al Estación de tratamient de Agua Potable de Sant Joan Despí, Barcelona. Oferta Técnico Económica P0/00/029-MA.* Barcelona, 2000

POSADES, P. *Estudi experimental de la planta pilot d'osmosi inversa a baixa pressió dissenyada per complementar i millorar l'actual tractament d'aigua potable del riu Llobregat.* AGBAR, Barcelona, 2003.