

L'aigua, un bé escàs? Estudi del procés d'osmosi inversa

Student research project.

Water: a scarce resource? A study of the inverse osmosis process

Rocío Carrasco Reyes i Alba Cuadrado Santolaria / alumnes de IES Baldiri Guilera.

Emilio Llorente Pérez / IES Baldiri Guilera. El Prat de Llobregat



resum

La falta d'aigua potable és un greu problema actual. A Catalunya, com bé sabem, i encara que existeixen diferents mètodes amb la finalitat de solucionar-lo, el que s'està implementant actualment és el de la dessalació d'aigua de mar i aigua salobre en plantes dessaladores mitjançant el procés d'osmosi inversa. Aquesta tecnologia és la que hem investigat en el nostre treball.

paraules clau

Alcalinitat, clorurs, duresa, membrana semipermeable, osmosi inversa

abstract

The storage of drinking water is a serious problem today in Catalunya. Although there are many methods to solve this, the one which is currently being implemented is the desalination of seawater in desalination plants. They are using the reverse osmosis process. This is the technology that we have been investigated in our work.

key words

Alkalinity, chlorides, water hardness, semipermeable membrane, inverse osmosis

Introducció

La falta d'aigua potable és un greu problema actual, com dissortadament sabem nosaltres. Encara que s'estudien diferents mètodes per a solucionar-lo, el que sembla que ens solucionarà parcialment el problema, o si més no ens donarà una pròrroga, és el de la dessalació d'aigua de mar i d'aigua salobre mitjançant el procés d'osmosi inversa. Aquest pro-

cés es du a terme a les plantes dessaladores existents i a les de nova creació, com la que s'està construint al costat de la desembocadura del riu Llobregat.

L'objecte principal del nostre treball ha estat l'estudi d'aquest procés.

En una primera fase, hem estudiat les propietats de diferents aigües (de mar, de l'aixeta, envasada...) analitzant químicament,

mitjançant volumetries, la duresa, l'alcalinitat i els clorurs. Per a entendre el procés d'osmosi inversa hem hagut de conèixer abans el procés d'osmosi, sobre el que hem fet una sèrie d'experiències, unes amb membranes biològiques i d'altres amb un osmòmetre, en les que es posa de manifest la pressió osmòtica.

Després ens hem centrat en estudiar els factors que interve-

nen en el procés d'osmosi inversa, especialment el rendiment d'una membrana semipermeable ja que és l'element principal d'aquest procés. Quan arriba aigua a pressió a la membrana, aquesta no deixa passar els ions en dissolució. Per tant a la sortida hi ha dos tipus d'aigua, una de "rebuig" amb una concentració molt elevada de sals, que es torna al mar i l'altra amb una concentració de sals molt baixa. Les variables que hem estudiat són: el pH, la temperatura, la pressió i la concentració de sals en l'aigua a tractar. Les experiències les hem realitzat amb membranes semipermeables dels equips domèstics d'osmosi inversa, i podem concloure que s'afavoreix el rendiment de la membrana quan:

- La temperatura de l'aigua d'entrada estigui al voltant de 20° C.

- La pressió sigui elevada i així s'obté una major quantitat d'aigua osmotitzada i amb menors concentracions de sals.

- La salinitat de l'aigua d'entrada no sigui massa elevada, ja que la productivitat disminueix al augmentar la concentració.

Finalment hem estudiat com està constituïda una planta des-saladora i quins són els avantatges, tant econòmics com mediambientals, que poden tenir aquestes instal·lacions.

Antecedents

Som un grup d'estudiants al que sempre li ha agradat la investigació. A segon d'ESO vam realitzar una investigació sobre el moviment aparent del sol, recollida en el treball "El sol es mou?". Aquesta experiència ens va animar a continuar realitzant investigacions. Ja a 1r de Batxillerat, vam començar a estudiar aspectes relacionats amb l'aigua, i vam voler fer un petit estudi d'un dels utensilis més simples, com ho és el càntir, que encara s'utilitza

avui dia per a refrescar l'aigua. D'una forma espontània, l'estudi de les propietats poroses de les parets del recipient, ens va dur cap a l'estudi de l'escassetat de l'aigua. Vam veure que existeixen infinitat de treballs sobre el tema. A més actualment a Catalunya s'estan construint dues plantes dessaladores que utilitzen el procés de l'osmosi inversa. Una per a l'aigua de mar, situada prop de la desembocadura del riu Llobregat, que subministrerà aigua per a Barcelona, i altra, de menor envergadura, també situada al Prat de Llobregat, que dessalarà aigua de l'aqüífer i abastarà a la localitat. Per tant vivim aquesta situació d'una forma bastant directa, fet que explica les motivacions del nostre treball.

L'Ajuntament de la nostra localitat i altres organismes ens han ajudat a encaminar-nos en el tema.

Objectius

El nostre treball investiga el fenomen de l'osmosi inversa, tant pel que fa als tractaments físico-químics, com en els possibles avantatges econòmics i mediambientals. Conscients de l'actual problema d'escassetat d'aigua, que influeix en gran part al nostre país, volem estudiar com a partir d'aigua de mar o d'aigua salobre es pot obtenir aigua potable gràcies a l'osmosi inversa.

Primerament hem de conèixer les propietats químiques de diferents aigües (de mar, de l'aixeta, envasada..) estudiant la seva composició i les seves caracterís-

tiques: duresa, alcalinitat i clorurs. Per a poder entendre el procés d'osmosi inversa hem d'investigar prèviament el d'osmosi, i posteriorment estudiar les característiques i el rendiment de les membranes semipermeables, que és on es produeix el fenomen d'osmosi inversa. Volem conèixer el seu rendiment en funció de diferents variables com són la salinitat, la temperatura i la pressió de les aigües a tractar. Finalment, volem conèixer com està constituïda una planta des-saladora i quins són els avantatges, tant econòmics com mediambientals, que poden tenir aquestes instal·lacions.

Metodologia

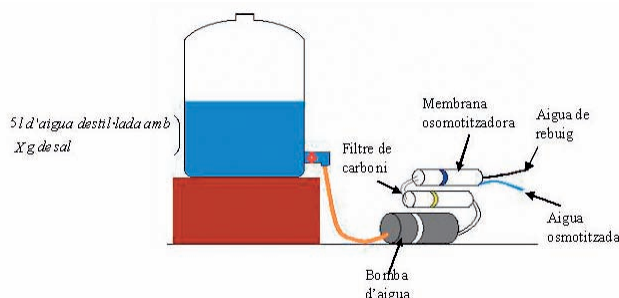
Esquema (muntatge de laboratori)
L'anàlisi química de les propietats de l'aigua, com són la duresa l'alcalinitat i els clorurs, l'hem realitzat a partir de volumetries:

- Per als **clorurs** necessitàvem: 25 mL de l'aigua a analitzar, aigua destil·lada fins a enrasar a 100 mL i indicador CrO_4^{2-} que es valorava amb AgNO_3 .

- Per a l'**alcalinitat** necessitàvem: 100 mL de l'aigua a analitzar i indicador taronja de metil que es valorava amb una dissolució de HCl 0.1M.

- Per a la **duresa**, d'una banda es valorava els ions Mg^{2+} i per una altra, els ions Ca^{2+} .

- En el cas del Ca^{2+} necessitàvem: 10 mL de l'aigua a analitzar, 40 mL d'aigua destil·lada, HCl consumit en l'alcalinitat, 5 mL de



Esquema del muntatge per osmotitzar l'aigua amb els paràmetres desitjats

NaOH (pH 12-13) i indicador Calcón Carboxílic que es valora amb EDTA 0.01M.

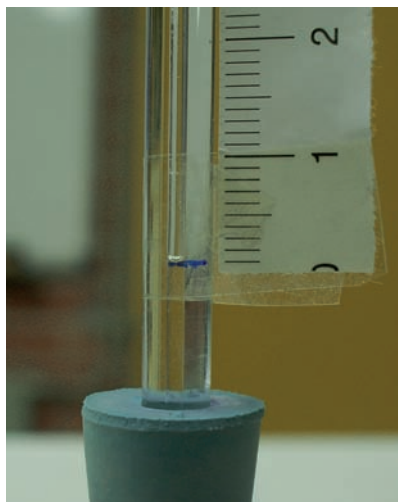
- En el cas del Mg^{2+} necessitem: 10 mL de l'aigua a analitzar, 40 mL d'aigua destil·lada, HCl consumit en l'alcalinitat, mL de EDTA utilitzats en la valoració del Ca^{2+} , 2 mL del Tampó pH 10 i indicador Negre d'Eriocrom T que es valora amb EDTA.

Per conèixer el procés d'osmosi inversa, primer hem estudiat el procés d'osmosi, realitzant una sèrie d'experiències on es posava de manifest la pressió osmòtica.

Per conèixer el procés d'osmosi inversa, primer hem estudiat el procés d'osmosi, realitzant una sèrie d'experiències on es posava de manifest la pressió osmòtica.



Osmometre emprat per veure l'efecte de l'osmosi.

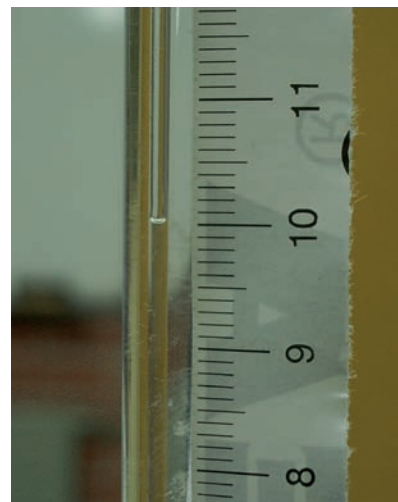


Osmometre en el moment inicial

Per realitzar-les hem utilitzat un osmòmetre, on se separen dues dissolucions de diferent concentracions amb paper de cel·lofana, que actua com membrana semi-permeable, i s'observa com al llarg del temps, va ascendint líquid pel capil·lar, a causa de la pressió osmòtica.

Per veure com influeix el rendiment d'una membrana semipermeable d'un aparell domèstic d'osmosi inversa, variàvem la temperatura, la pressió i la conductivitat, independentment una respecte de les altres.

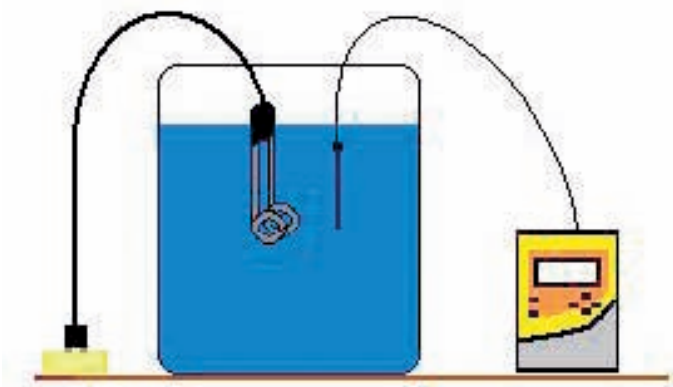
En el cas de la temperatura, vam escalfar l'aigua a tractar, amb variacions de 5 en 5 °C, i vàrem mesurar la seva conducti-



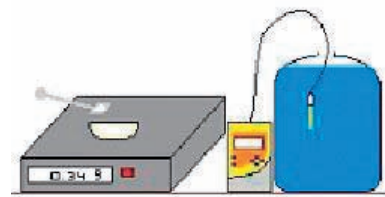
Osmometre al cap d'una estona. L'aigua a pujat pel capilar

vat amb el pH-metre de l'enregistrador Multilog, abans de passar-la per l'aparell d'osmosi inversa. Després tornem a mesurar la conductivitat de l'aigua de rebuig i de l'aigua osmotitzada, reduint tots els valors mesurats als que tindrien a 20° C, per així poder comparar els resultats.

Per a veure la influència de la conductivitat vam afegir quantitats de sals conegudes a l'aigua destil·lada, obtenint aigües a tractar amb diferents concentracions, mantenint sempre la temperatura i la pressió constants. Després del procés es mesuren les conductivitats de l'aigua osmotitzada i la de rebuig i les comparem amb la inicial.



Muntatge per variar la temperatura de l'aigua a tractar.



Muntatge per calcular la conductivitat de l'aigua a tractar.

Per a detectar com influeix la pressió, l'hem anat disminuint gràcies a un regulador de pressió, i que ens ha permès veure com aquest factor és molt important en el rendiment de la membrana.

Per a estudiar la viabilitat econòmica d'una instal·lació d'osmosi inversa domèstica, hem realitzat un càlcul del preu mig per litre d'aigua osmotitzada, tenint en compte el cost de l'aigua de l'aixeta consumida i el cost elèctric, i posteriorment, ho comparem amb un litre d'aigua envasada.

$$\frac{\text{€}_{\text{electricitat}}}{L} + \frac{\text{€}_{\text{aigua}}}{L} = \frac{\text{€}_{\text{totals}}}{L}$$

Resultats

Els resultats obtinguts a l'anàlisi química de les propietats diferents aigües es mostren a la taula 1.

En les experiències realitzades per a veure com influeix la temperatura en el rendiment de la membrana, els resultats obtinguts es mostren a la taula 2: Aquesta informació es pot representar gràficament, destacant les gràfiques de conductivitat de l'aigua osmotitzada, ja reduïda a 20° C, i el rendiment de la membrana ambdues en funció de la temperatura.

	$\rho / \frac{\text{mg Cl}^-}{L}$	Alcalinitat $\frac{\text{mg HCO}_3^-}{L}$	$\rho / \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{L}$	$\rho / \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{L}$	$\rho / \frac{\text{mg CaCO}_3}{L}$
Aigua de l'aixeta El Prat	705,2	402,6	260	116,6	1130
Aigua de l'aixeta osmotitzada	203,2	32,53	12	41	206
% de neteja de l'aigua osmotitzada respecte a l'aigua de l'aixeta	71,2	91,9	95,4	69,6	81,1
Aigua rebutjada per osmosi	880,4	556,9	287	189,5	1497
Aigua envasada (Ribes)	56,8	137,9	42,4	24,3	206
Aigua del llac de Sanabria	29,8	7,32	22,4	32,32	189
Aigua del Mediterrani	43594	176,9	463	1462,2	7176
Aigua del Pou 14 ¹	700,4	335,2	276,4	107,1	1131
Aigua del Pou 15	733,0	272,2	233,9	82,7	924

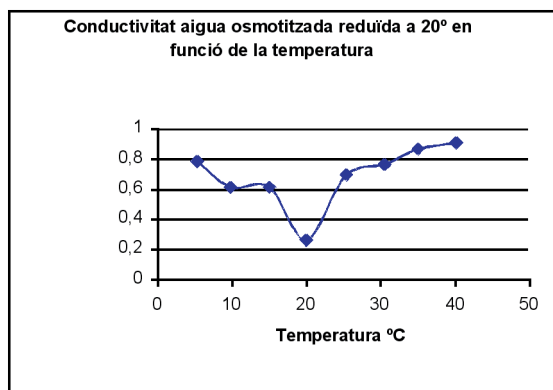
Taula 1. Resultats de l'anàlisi de clorurs, alcalinitat, calci, magnesi i duresa.

¹ Las últimas dos filas de la taula ("aigua dels pous 14 y 15") són els resultats obtinguts pel laboratori "Aigües del Prat". Aquests resultats han estat enregistrats el dia 12 de novembre del 2007.

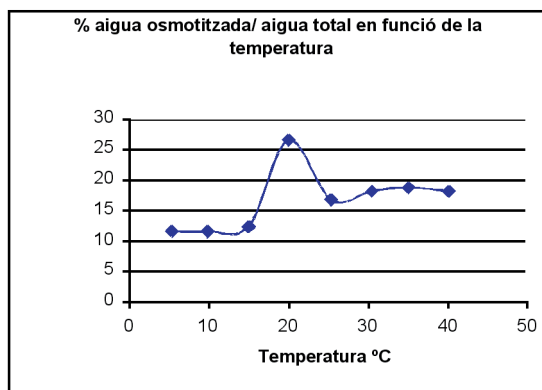
Temperatura inicial / °C	Conductivitat inicial / mS cm ⁻¹	Conductivitat inicial reduïda a 20° / mS cm ⁻¹	Conductivitat aigua osmotitzada / mS cm ⁻¹	Conductivitat osmotitzada reduïda a 20° / mS cm ⁻¹	Conductivitat aigua de rebuig / mS cm ⁻¹	Conductivitat aigua de rebuig reduïda a 20° / mS cm ⁻¹	% aigua osmotitzada / aigua de rebuig	% aigua osmotitzada / aigua total
5,35	2,03	2,8	0,63	0,78	2,45	3,02	13	12
9,8	2,26	2,8	0,52	0,61	2,54	2,96	13	12
15	2,54	2,8	0,56	0,61	2,78	3,04	14	12
20	2,80	2,8	0,26	0,26	3,45	3,45	36	26
25,37	3,08	2,8	0,73	0,69	3,3	3,12	20	17
30,48	3,35	2,8	0,86	0,76	3,52	3,11	22	18
35,05	3,59	2,8	1,04	0,86	3,69	3,1	23	19
40,2	3,86	2,8	1,13	0,9	3,91	3,1	22	18

Taula 2. Resultats de les mesures de conductivitat de diferents mostres d'aigua.

Aquesta informació es mostra al gràfics 1 i 2.



Gràfic 1. Conductivitat de l'aigua osmotitzada en funció de la temperatura.



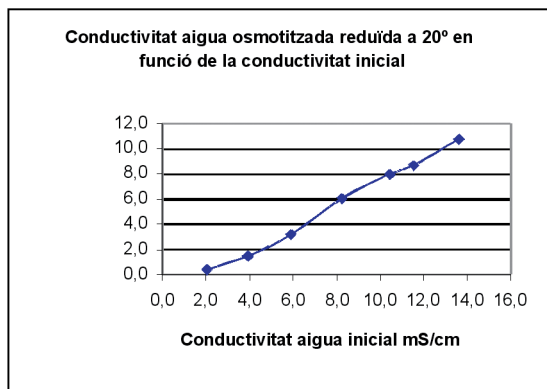
Gràfic 2. Rendiment de la membrana en funció de la temperatura

Els resultats obtinguts en les experiències realitzades per estudiar com influeix la concentració en el rendiment de la membrana es mostren a la taula 3.

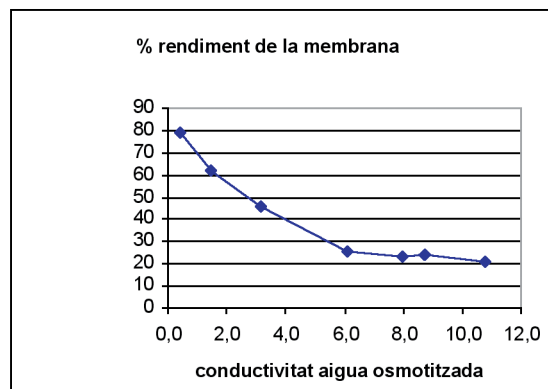
Conductivitat inicial / mS cm ⁻¹	Temperatura inicial / °C	Conductivitat aigua osmotitzada / mS cm ⁻¹	Temperatura de sortida osmotitzada °C	Conductivitat aigua osmotitzada reduïda / mS cm ⁻¹	Conductivitat aigua de rebuig mS cm ⁻¹	Temperatura aigua rebuig / °C	Conductivitat aigua reduïda a 20°C / mS cm ⁻¹	mL de aigua osmotitzada / 100mL aigua de rebuig
2,02	20,50	0,26	19,50	0,26	2,60	20,2	2,59	40
3,91	20,10	1,45	19,00	1,48	4,10	19,3	4,15	12
5,89	20,30	3,13	19,01	3,19	5,86	19,48	5,92	10
8,21	20,30	6,13	20,45	6,08	8,26	20,3	8,21	4
9,89	20,60	6,50	19,84	6,52	9,80	20,5	10,50	3
11,97	20,50	7,07	18,53	7,27	11,80	19,36	11,94	3
13,60	19,60	10,76	19,96	10,77	13,47	19,72	13,54	3

Taula 3. Resultats de l'estudi de la influència de la concentració en el rendiment de la membrana

Els gràfics 3 i 4 mostren la conductivitat de l'aigua osmotitzada, reduïda a 20°C i el rendiment de la membrana, ambdues en funció de la concentració.



Gràfic 3. Conductivitat de l'aigua osmotitzada en funció de la conductivitat inicial



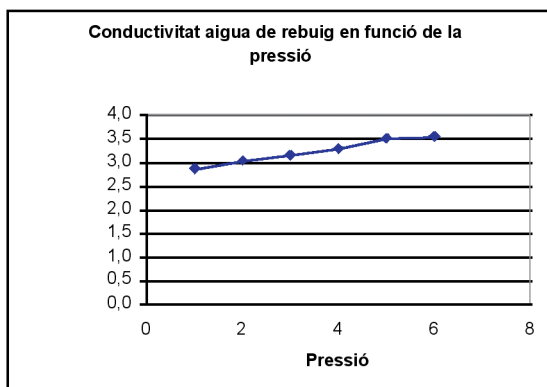
Gràfic 4. Rendiment de la membrana en funció de la conductivitat.

Els resultats obtinguts en les experiències realitzades per estudiar com influeix la pressió en el rendiment de la membrana es mostren a la taula 4

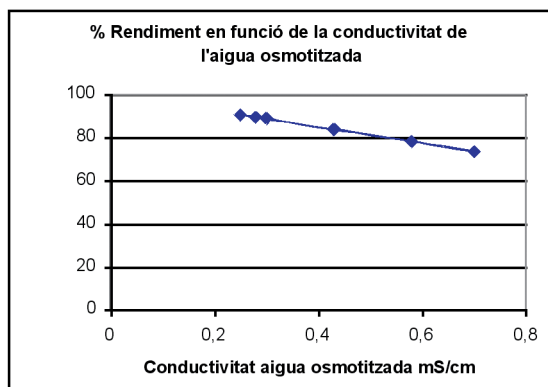
Pressió / bar	Conductivitat inicial / mS cm ⁻¹	Temperatura inicial / °C	Conductivitat aigua osmotitzada / mS cm ⁻¹	Temperatura de sortida osmotitzada / °C	Conductivitat aigua osmotitzada reduïda / mS cm ⁻¹	Conductivitat aigua de rebuig / mS cm ⁻¹	Temperatura aigua rebuig / °C	Conductivitat reduïda aigua rebuig 20°C / mS cm ⁻¹	mL d'aigua osmotitzada 100 mL aigua de rebuig
6	2,65	0,21	18,30	0,22	3,47	18,89	3,49	34	89,43
5	2,65	0,25	17,74	0,26	3,32	17,23	3,50	30	90,57
4	2,65	0,3	17,82	0,31	3,13	17,47	3,29	25	88,68
3	2,65	0,43	18,2	0,45	3,01	17,58	3,15	17	83,77
2	2,65	0,58	18,84	0,59	2,93	18,18	3,03	10	78,11
1	2,65	0,7	18,56	0,72	2,8	19,01	2,85	4	73,58

Taula 4. Resultats de l'estudi de la influència de la pressió en el rendiment de la membrana

Els gràfics 5 i 6 mostren la conductivitat de l'aigua osmotitzada, ja reduïda a 20° C, i el rendiment de la membrana, ambdues en funció de la pressió.



Gràfic 5. Conductivitat de l'aigua de rebuig en funció de la pressió



Gràfic 6. % rendiment en funció de la conductivitat de l'aigua osmotitzada

Conclusions

Al finalitzar el nostre treball, hem après el funcionament d'una planta dessaladora i especialment, el procés d'osmosi inversa. És un procés complex que requereix conèixer prèviament quins són les propietats de l'aigua a tractar i com són les membranes semipermeables que s'utilitzen per a eliminar les sals.

Hem après a analitzar químicament les propietats de l'aigua, com són la duresa, l'alcalinitat i els clorurs utilitzant volumetries. En resum, l'aigua del mar és la qual té unes concentracions més elevades en totes les propietats, excepte en l'alcalinitat, que és major en el cas de l'aigua de l'aixeta del Prat. En canvi, l'aigua del llac de Sanabria és la qual té unes concentracions menors de totes les propietats. L'aigua de l'aixeta del Prat una vegada osmotitzada, té unes concentracions de sals molt inferiors a la inicial, encara que manté unes concentracions un poc majors en els clorurs i en la duresa respecte de l'aigua envasada, no així en l'alcalinitat en la qual és inferior. Respecte a l'estudi de l'estructura de les membranes semipermeables, vam veure que havia una gran varietat de configuracions, com són les de tipus pla, les tubulars, les de fibra buida i les d'espiral, les utilitzades en els nostres experiments. Cadascuna d'aquestes membranes té les seves pròpies característiques i capacitat de producció. Aquestes propietats són les que influeixen perquè siguin destinades a un sector o altre. Dels resultats de l'estudi sobre els factors que intervenen en el seu rendiment d'una membrana d'osmosi inversa d'un aparell domèstic, hem arribat a les següents conclusions que:

- La temperatura idònia per a obtenir una major productivitat i amb millor qualitat és al voltant de 20°C.

- A major pressió de l'aigua d'entrada major productivitat en el cabal de sortida i també menor salinitat.

- Al augmentar la salinitat de l'aigua d'entrada, la productivitat disminueix i la salinitat de l'aigua osmotitzada augmenta, arribant a un moment on ja no és rendible el procés. Per a una conductivitat d'entrada superior a 8mS/cm, l'aigua osmotitzada ja no és potable.

També hem estudiat els processos de depuració de l'aigua en les plantes d'osmosi inversa utilitzades per a dessalar l'aigua de mar, aprenent que hi ha dos tipus de pretractaments, els físics i els químics.

Finalment, hem calculat el temps d'amortització econòmica d'una osmosi domèstica. I Podem afirmar que en poc menys de mig any ja hem amortitzat el seu cost amb els diners estalviats diàriament si s'utilitzen l'aigua osmotitzada en lloc de l'aigua envasada. Si les nostres conclusions es poguessin extrapolar respecte les plantes industrials d'osmosi inversa, la seva construcció, encara que el seu cost és més elevat, s'acabaria amortitzant. A més, els impactes mediambientals semblen menors que en altres solucions, com el transvasament dels rius o altres.

Bibliografia

- ARROYO, FRANCESC: "Cuatro desalinizadoras contra la sequía". El País, Diumenge 13 de gener de 2008
- BOLAÑOS, ALEJANDRO: "¿La apuesta por las desaladoras hace aguas?". El País, Dilluns 21 de gener 2008
- GRAY B, HAIGHT, JR P. (1969): *Basic Principal of chemistry*. Reverté. Barcelona
- MEDINA SAN JUAN, J A (2000): *Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis inversa*. Barcelona: Mundi-prensa,
- CULTURAL S.A "El agua recurso necesario para la vida". Madrid, Polígono Industrial

Arroyomolinos Calle ©, núm.15: Equipo Cultural.

"En construcció les plantes que milloraran l'aigua del Prat."

Revista El Prat, Desembre 2007.



Emilio Llorente Pérez, llicenciat en Ciències Físiques per la Universitat de Saragosa i catedràtic de Física i Química de l'IES Baldiri Guilera del Prat de Llobregat. Col·labora en la formació del professorat de física i química en els cursos de les aules de noves tecnologies i ha presentat diversos tallers en el marc del Seminari de professors de Física i Química. Un dels seus principals interessos en les activitats educatives del seu centre és la tutorització de treballs de recerca d'alumnes de batxillerat, activitat a la qual dedica moltes hores i que ha fet mereixedors de premis a molts dels seus alumnes. ellorente@xtec.cat



Alba Cuadrado
alumna de l'IES Baldiri Guilera



Rocío Carrasco
alumna de l'IES Baldiri Guilera