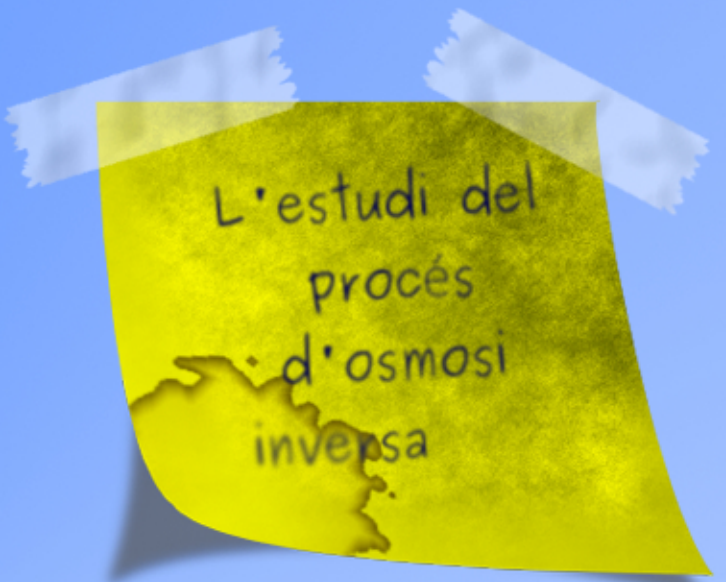


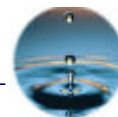
L'aigua, un bé escàs?



*Alumnes: Rocío Carrasco Reyes
Alba Cuadrado Santolaria*

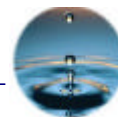
*Seminari: Física i Química
Tutor: Emilio Llorente
Curs: 2n A, Batxillerat científic
IES Baldori Guilera
El Prat de Llobregat, 2008*

*Gota a gota,
l'aigua s'esgota*

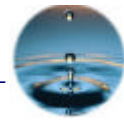


Índex

1. Introducció..	Pàg. 05
2. Objectius.	Pàg. 06
3. El aigua.	Pàg. 07
3.1. Composició química de l'aigua.	Pàg. 07
3.2. Propietats de l'aigua	Pàg. 09
3.3. Diversos tipus d'aigua.	Pàg. 10
4. Anàlisi experimental de les propietats de diverses aigües	Pàg. 11
4.1. Metodologia.	Pàg. 11
4.2 Resultats d'anàlisi d'aigües	Pàg. 19
4.3. Conclusions referents als anàlisis de les aigües	Pàg. 29
5. Osmosi inversa.	Pàg. 31
5.1. Osmosi inversa	Pàg. 31
- Osmosis.	Pàg. 31
- Concepte d'osmosi inversa.	Pàg. 32
- Demostració del procés d'osmosi en un ou de gallina.	Pàg. 32
- Pressió osmòtica..	Pàg. 32
5.2 Processos de separació	Pàg. 37
5.3. Les membranes osmòtiques	Pàg. 39
- Configuració de les membranes	Pàg. 39
- Estructura de les membranes.	Pàg. 43
- Materials constituents.	Pàg. 43
- Característiques de les membranes	Pàg. 44
- Paràmetres tècnics.	Pàg. 46



5.4.Factors que intervenen en el rendiment de la membrana.	Pàg. 47
- Descripció del nostre aparell d'osmosi domèstic	Pàg. 47
- Influència de la temperatura.	Pàg. 48
- Influència de la concentració de sals	Pàg. 52
- Influència de la pressió.	Pàg. 55
- Influència del pH..	Pàg. 58
6. Instal·lacions dessaladores.	Pàg. 59
-6.1.Introducció.	Pàg. 60
-6.2. Pretractaments físics.	Pàg. 62
-6.3. Pretractaments químics.	Pàg. 65
7. Viabilitat econòmica.	Pàg. 69
- Cost de l'aigua	Pàg. 69
- Cost elèctric	Pàg. 69
- Cost total.	Pàg. 70
8. Problemes medioambientals	Pàg. 72
9. Conclusió.	Pàg. 74
10. Bibliografia	Pàg. 76
11. Agraïments.	Pàg. 77

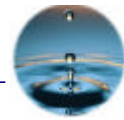


1. Introducció

Com gairebé tothom sabem, el planeta Terra és també anomenat el planeta blau, ja que aproximadament dues terceres parts de la superfície són aigua i només un terç és terra. Malgrat aquesta abundància d'aigua un 97,5% és aigua salada i només un 2,5% és aigua potable. D'aquesta última un 70% està retinguda als casquets polars i glacials, un 29,6% està emmagatzemada i només un **0.4 % està disponible per al consum humà**, del qual el 65% es utilitza per a usos agrícoles, un 27% per a industrials i només el 8% per a usos domèstics.

L'aigua potable, que prové de rius, llacs i aqüífers, només pot ser reemplaçada per les aigües provinents de la pluja, però a causa de l'escalfament atmosfèric del planeta, actualment hi ha una acusada irregularitat en el règim de les precipitacions. A causa d'això, aquest any ha sigut un dels més secs a Catalunya, i com que la població s'abasteix principalment de l'aigua embassada en les conques dels rius Llobregat i Ter, s'ha produït un descens molt notable de l'aigua potable emmagatzemada (a finals de gener de 2008 no arriba al 25%). L'aqüífer del delta del Llobregat cada cop està més salinitzat a causa de l'excés de consum de les seves aigües que provoca l'entrada d'aigua marina en zones com l'extensió del port i el nou lleure del Llobregat. Per estudis que s'han fet en els darrers anys, s'ha calculat que amb la quantitat d'aigua provinent de les precipitacions es pot renovar uns 55 hm³ de l'aqüífer; amb la qual cosa el consum que s'hauria de fer anualment no hauria de superar aquest volum, perquè baixaria el nivell d'aigua i afavoriria l'entrada de l'aigua de mar, augmentant per tant, la seva salinitat i posteriorment causant la seva inutilitat. La solució adoptada ha sigut la d'una profusa instal·lació de dessaladores. En uns anys Catalunya tindrà quatre plantes treballant, que produiran un 200 hectòmetres cúbics d'aigua per a la població, aproximadament serà dos terços de la capacitat dels embassaments del sistema Ter-Llobregat.

Encara que existeixen moltes tècniques de dessalació d'aigües, com la microfiltració, l'ultrafiltració, l'electrodiàlisi i l'osmosi inversa, és aquesta última la que s'utilitzarà en les noves dessaladores.

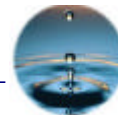


2. Objectius

Tal i com hem dit en la introducció, la manca d'aigua potable és un problema actual i encara que s'han estudiant diferents mètodes per tal de solucionar-lo, el que s'utilitza actualment és la dessalació d'aigua de mar i aigua salobre mitjançant l'osmosi inversa. **Aquesta tecnologia, l'osmosi inversa, és la que volem estudiar, tant pel que fa als tractaments físico-químics com els possibles avantatges econòmics i mediambientals.**

Primerament hem de **conèixer les propietats** dels diferents tipus d'**aigua** (de mar, d'aixeta, embassada...) estudiant la seva **composició** i les seves **característiques**, duresa, alcalinitat i clorurs. Tot seguit, ens hem de centrar en el concepte d'**osmosi** per tal de poder entendre el procés **d'osmosi inversa** i posteriorment estudiar les característiques de les **membranes semipermeables**, que són fonamentals en aquesta tecnologia. Volem conèixer el seu **rendiment** en funció de diferents paràmetres com són la salinitat de les diferents aigües a tractar, la temperatura i la pressió.

Finalment, estudiar com està constituïda una planta dessaladora i quins són els avantatges, tant econòmics com mediambientals, que poden tenir aquestes instal·lacions.



3. L'aigua

3.1 Composició química de l'aigua

L'aigua està formada per una gran varietat de substàncies que són les causants de la salinitat d'aquesta. Aquestes sals no es troben en les mateixes proporcions, de tal manera que hi ha unes substàncies principals, que són les més abundants, i unes secundàries que es troben en petites proporcions i que poden ser perjudicials tant per als éssers vius com per a les membranes de dessalinització.

Els ions principals són:

- **EL sodi(Na)**

Aquest ió és el material alcalí més freqüent en la composició de les aigües i l'únic present significativament en aigües naturals.

En l'aigua de mar és un dels ions metàl·lics més abundants i es pot trobar en forma de clorur, carbonat, bicarbonat sòdic sense formar part de la duresa d'aquesta.

- **Calci i Magnesi**

Aquests ions es troben en totes les aigües, especialment en les aigües subterrànies.

Formen part de nombroses sals, amb la qual cosa, les seves característiques depenen segons el tipus de sals que estan presents.

El calci i el Magnesi són el causant de la duresa de l'aigua

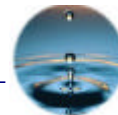
- **Clorur**

El Clorur és el ió més abundant en l'aigua de mar, on pot arribar a uns 20.000mg/l

- **Sulfats**

Aquests ions es troben amb més freqüència com a sulfat de sodi i sulfat de magnesi. Aquest contribueix en la salinitat de l'aigua on a vegades pot arribar a concentracions molt elevades al voltant de 2.000 mg/l

- **Carbonats i Bicarbonats.**



Aquests ions es troben en totes les aigües i a vegades en proporcions molt elevades.

Com que les membranes de l'osmosi inversa tenen un elevat rebuig d'aquests ions, es concentren en el rebuig i poden precipitar.

Substàncies secundàries:

- **Nitrat**

Aquests ions no es troben en les mateixes proporcions en totes les aigües. El nitrat procedeix de plantes lluminoses, de residus de plantes o animal i de fertilitzants del terra.

Per poder separar aquests ió de l'aigua només es pot a partir de les membranes, no per evaporació.

- **Ferro**

Aquest ió es troba en totes les aigües i és perjudicial per determinats usos domèstics o industrials.

Troben dos tipus de ions de ferro, el ferrós i el fèrric. El primer és inestable en presència d'aire i canvia al estat fèrric.

El ferro i els carbonats formen precipitats sobre les membranes reduint així l'eficàcia d'aquestes, encara que són precipitats que s'eliminen fàcilment.

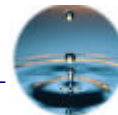
- **Manganès**

El manganès es presenta en les mateixes condicions que el ferro, encara que, al reaccionar amb l'oxigen el manganès provoca taques més intenses i difícils d'eliminar que les ocasionades pel ferro.

- **Sílíce**

El sílice és un compost que el podem trobar en algunes de les aigües subterrànies en 20 ppm normalment.

És una substància rebutjada totalment per les membranes i és una part molt important de les incrustacions formades per les aigües.



3.2. Propietats de l'aigua

A més de tots els ions que hem analitzat de forma individual també hi ha uns altres paràmetres que són importants a l'hora d'analitzar les aigües.

Com ho són el pH, l'alcalinitat i la duresa.

- **PH**

El potencial d'hidrogen (pH) és el logaritme de la concentració de ions d'hidrogen de l'aigua i ve donat a conseqüència de les sals dissoltes a la solució. Ens ajuda a valorar les característiques de l'aigua.

El pH va de 0 a 14 en solució aquosa, sent àcides les solucions amb pH menors a 7, i bàsiques les que tenen pH majors a 7. El pH = 7 indica la neutralitat de la solució

- **Alcalinitat**

L'alcalinitat és la capacitat de l'aigua per a neutralitzar un àcid.

L'aigua amb un pH lleugerament inferior a 7 pot tenir al mateix temps algunes sals que neutralitzen l'àcid i manifestar, per tant, una alcalinitat mesurable.

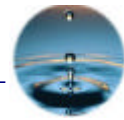
Són els ions carbonats i els bicarbonats els que contribueixen a l'alcalinitat.

- **Duresa**

La duresa de l'aigua és la concentració de compostos minerals, causada en particular, per sals de magnesi i calci.

Aquesta duresa pot ser de dos tipus:

- Carbonatada: Causada pels carbonats de l'aigua que inclou la proporció de calci i magnesi combinats amb el bicarbonat i les petites proporcions de carbonats presents. Es denomina també temporal ja que al bullir l'aigua desapareix.
- No Carbonatada (o permanent): Causada per nitrats, clorurs i sulfats de calci i magnesi.



3.2 Diversos tipus d'aigua

Aigua potable

L'aigua potable és l'aigua que pot ser consumida per les persones i animals sense risc de contraure cap mena de malaltia. Per tal d'assegurar la seva potabilitat hi ha establerts uns valors màxims i mínims per al contingut de minerals, com ho són els clorurs, nitrats calci, magnesi. A més a més el pH ha d'estar comprès entre 6,5 y 8,5.

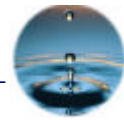
Aigua salobre:

L'aigua salobre és aquella que té més sal dissolta que l'aigua potable, però menys que l'aigua de mar. Tècnicament es considera com aigua salobre la que posseeix entre 0.5 i 30 grams de sal per litre. És típica dels estuaris, la part més ampla i més profunda en la desembocadura dels rius, i és el resultat de la mescla d'aigua de riu i aigua de mar.

Per aquest motiu l'aigua salobre varia considerablement al llarg del temps i del lloc.

El aigua de mar

Més del 70% de la Terra està ocupada per aigua d'oceans i mars. Aquest tipus d'aigua conté sals minerals dissoltes (aproximadament un 3,5% en massa de mitjana) que són les causants de l'alta salinitat. D'aquestes sals, la predominant és el clorur sòdic, també coneguda com la sal comuna. Evidentment, les aigües marines, no són potables.

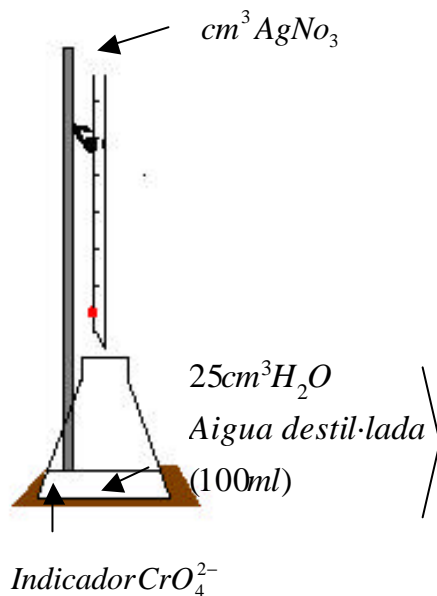


4. Anàlisi experimental de les propietats de diverses aigües

4.1. Metodologia

- **Clorurs**

Per veure quina és la quantitat de clorurs que té l'aigua l'hem mesurat amb l'ajut d'una volumetria:

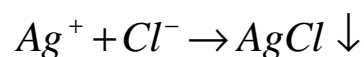


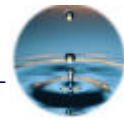
David fent una de les volumetries

Per aquesta volumetria es necessita: nitrat de plata 0'1 M, 25 cm³ de la mostra (l'aigua que volem analitzar), aigua destil·lada i unes gotes de cromat, que actua com indicador.

Inicialment s'introdueix 25 cm³ de la mostra en un erlenmeyer de capacitat 100 cm³, aigua destil·lada fins enrasar-lo a 100 cm³ i s'hi afegeixen unes gotes de cromat. Aquest tenyeix la mostra d'un color groguenc.

En aquesta volumetria, es forma la reacció del ió plata i el ió clorur formant un precipitat (clorur d'argent) de color blanc.





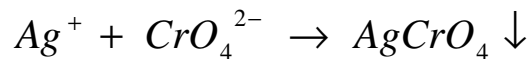
De tal manera que per mesurar la quantitat de clorurs que hi ha en la mostra necessitem saber la quantitat de nitrat d'argent necessari per fer reaccionar tots el clorurs de l'aigua per formar el precipitat clorur d'argent.

Aquesta quantitat l'obtenim a partir de deixar caure gota a gota el nitrat de plata en la mostra, fins que veiem que l'aigua ha virat, és a dir, a canviat de color de groc a vermell.

Aquest canvi és degut a la reacció que es dona al reaccionar el ió plata amb el ió cromat formant un precipitat de color vermell (Fig.4).



Fig.4. Viratge de groc a vermell.

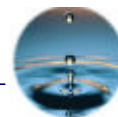


Així doncs, quan ja no hi ha clorurs al medi, el ió argent no pot reaccionar amb aquests i reacciona amb el ió cromat formant el precipitat que és el responsable del tenyiment de la mostra. Llavors en el mateix moment que ha virat la mostra, deixem de posar nitrat d'argent i mirem quina és la quantitat que hem hagut d'utilitzar perquè canviï el color de l'aigua.

A partir d'aquest resultat calculem la quantitat de ions clorurs que havien en l'aigua mitjançant una sèrie de factors de conversió.

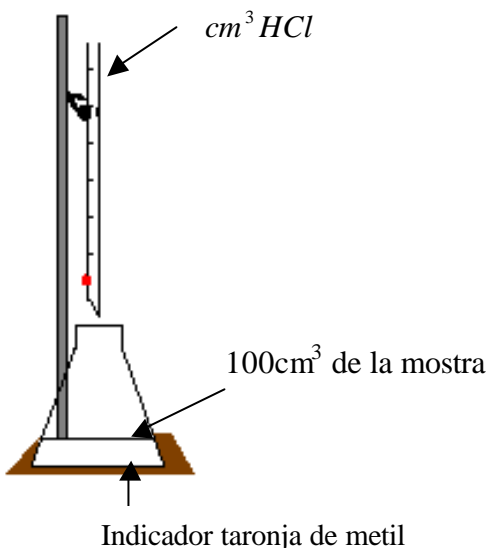
$$X \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0.1 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35.5 \text{ g Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg Cl}^-}{1 \text{ g Cl}^-} = X \text{ mg Cl}^-$$

$$[Cl^-] = \frac{X \text{ mg Cl}^-}{0,025 \text{ L mostra}} = X \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{L}}$$



- **Alcalinitat**

Com ja hem dit, l'alcalinitat de l'aigua es pot definir com la seva capacitat per a neutralitzar àcids. Aquesta propietat és deguda a la presència de carbonats, bicarbonats i hidròxids dissolts en l'aigua que es poden mesurar a partir d'una volumetria:



Fent les volumetries

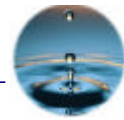
Per aquesta volumetria es necessita àcid clorhídric de 0.1 M, 100 cm³ de la mostra (l'aigua que volem analitzar), aigua destil·lada i unes gotes de l'indicador taronja de metil.

S'introdueix 100 cm³ de la mostra en un erlenmeyer afegint-hi també, unes gotes de l'indicador taronja de metil que tenyeix la mostra d'un color taronja-groguenc.

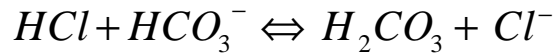
Valorem aquesta dissolució amb HCl que es deixa caure, gota a gota, fins que vira a un color taronja-vermellós (*Fig.5*).



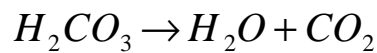
Fig.5. Viratge de taronja-groguenc a taronja vermellós



Aquest canvi de color és degut a la reacció que es produeix al reaccionar l'àcid clorhídric amb els carbonats:



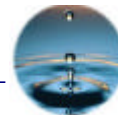
Com que la mostra conté carbonats, al afegir-hi HCl obtenim H_2CO_3 juntament amb els clorurs. El H_2CO_3 és un àcid molt inestable i passa a ser aigua i diòxid de carboni que passa a formar part de l'aire.



Per això, quan l'HCl ja ha reaccionat amb tots els carbonats i cau la primera gota restant, aquests varia el pH de la mostra i el tampó ho detecta canviant-la de color.

$$X \text{ cm}^3 HCl \cdot \frac{0.1 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ cm}^3 HCl} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = X \text{ mg HCO}_3^-$$

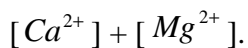
$$[HCO_3^-] = \frac{X \text{ mg HCO}_3^-}{0,1 \text{ L mostra}} = X \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$$



- **Duresa**

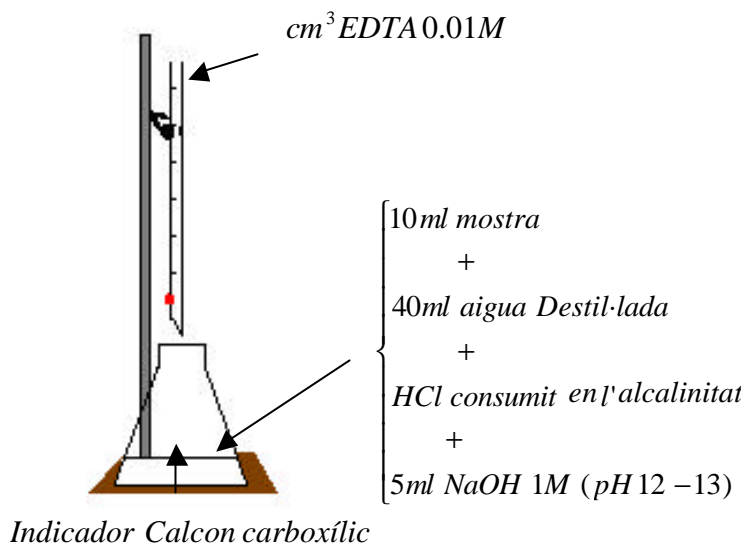
La duresa de l'aigua indica la quantitat total de ions alcalinoterris presents a l'aigua i constitueix un paràmetre de qualitat d'interès domèstic i industrial.

A les aigües naturals, la concentració de calci i magnesi és habitualment molt superior a la de la resta d'alcalinoterris, pel que la duresa és pràcticament igual a:



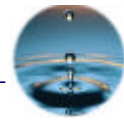
Per aquest motiu, hem de calcular inicialment aquestes dues concentracions per tal de saber la duresa total de l'aigua analitzada.

- **Calci**



Per mesurar la duresa càlcica es necessita l'aigua de mostra, aigua destil·lada, àcid clorhídric, NaOH i el indicador calcón carboxílic, valorant-lo amb EDTA.

Per la preparació de la pràctica, inicialment, s'introdueix en un erlenmeyer 10 mL de l'aigua que es vol analitzar i 40mL d'aigua destil·lada. Tot seguit es fiquen els mL d'àcid clorhídric que s'han emprat prèviament per valorar l'alcalinitat, per tal d'aconseguir que reaccionin els bicarbonats presents i no intervinguin a l'hora de mesurar la duresa càlcica. S'introdueix, també, 5 mL de NaOH, fent així que la valoració es produeixi a un pH entre 12 i 13, i unes gotes de l'indicador.



Per valorar aquesta dissolució, utilitzem una dissolució d'àcid etilendiaminotetraacètic (EDTA) amb una concentració de 0,01M.

Aquest és un agent que tendeix a agafar els ions metàl·lics del medi ja que posseeix una gran afinitat per la quantitat d'electrons lliures que té la seva estructura (*Fig.1*) i funciona com un pinça molecular per a atrapar aquest tipus de ions.

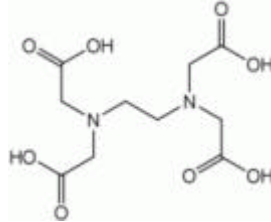


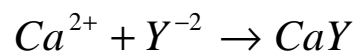
Fig.1 EDTA

Es deixa caure, gota a gota, fins que vira d'un color lila a un color blau (*Fig.2*).

El control del pH de la dissolució permet controlar la selectivitat de ions en les valoracions. Per aquest motiu, s'afegeix NaOH, que fa que la dissolució passi a tenir un pH entre 12-13, ja que a aquest valor el magnesi precipita i no reacciona amb el EDTA (que a les fórmules següents anomenen Y^{2-}) i així podrem calcular només la concentració de calci.

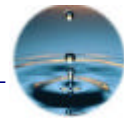


Fig.2. Viratge de lila a blau.



$$X \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ ml EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = X \text{ mg Ca}^{2+}$$

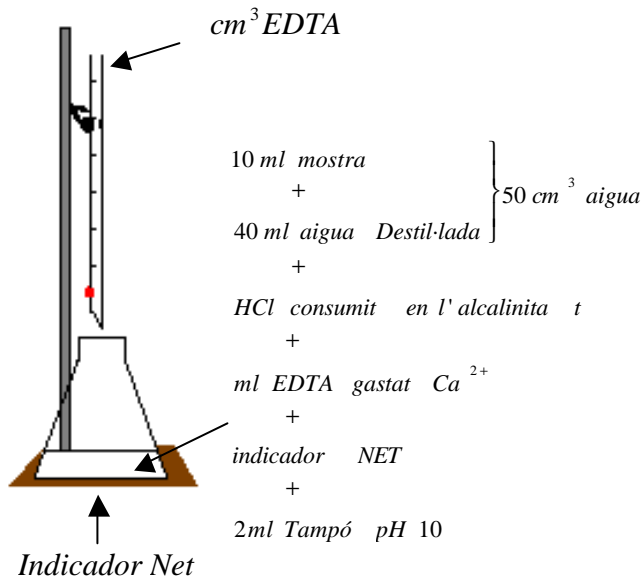
$$[Ca^{2+}] = \frac{X \text{ mg Ca}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = X \frac{\text{mgCa}^{2+}}{\text{L}}$$



• **Magnesi**

La mesura de la duresa magnèsica és relativament semblant a la de la duresa càlcica.

Per aquesta pràctica es necessita l'aigua de mostra, aigua destil·lada, àcid clorhídric, EDTA, l'indicador negre ericrom T (NET) i tampó pH 10.



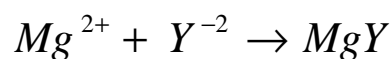
Treballant al laboratori

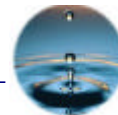


Fig.3. Viratge de lila a blau.

Es comença la preparació de la volumetria introduint en l'erenmeyer 10 mL de l'aigua que es vol analitzar i 40mL d'aigua destil·lada. Tot seguit es fiquen els mL d'àcid clorhídric que s'han emprat per valorar l'alcalinitat, per tal d'aconseguir que reaccionin els bicarbonats presents, i els mL emprats per valorar la duresa càlcica amb la finalitat de fer reaccionar els ions càlcics i així no intervinguin a l'hora de mesurar la duresa magnèsica. S'introdueix

doncs, l'indicador NET i 2 mL del tampó pH 10, aconseguint així, que la valoració es produeixi a un pH 10 i reaccionin, ara sí, els ions magnèsics amb l'EDTA, que es deixa caure gota a gota sobre la mostra fins que viri d'un color lila a blau (Fig.3).





Aquest canvi de color és degut a la reacció que forma l'EDTA amb canvi de pH que es produeix quan aquest ja ha reaccionat amb tots ions magnèsics presents a l'aigua i cau la primera gota que no reacciona amb cap ió. Aquesta fa baixar el pH i es detectat per l'indicador NET.

$$X \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ ml EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24.3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = X \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{X \text{ mg Mg}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = X \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

Per calcular la duresa total de l'aigua analitzada s'ha de sumar el volum d'EDTA emprat per a la valoració de ions càlcics i els emprats per a la valoració de ions magnèsics.

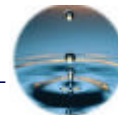
$$V_{\text{EDTA (calci)}} + V_{\text{EDTA (magnesi)}} = V_{\text{EDTA (Duresa total)}}$$

Una vegada conegut el volum total de l'EDTA calculem la **duresa total** expressada en **mg/L de carbonats de calci**:

$$X \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = X \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{DURESA} = X \frac{11.3 \text{ mg CaCO}_3}{0.01 \text{ L mostra}} = X \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$

Per a obtenir la duresa expressada en graus francesos hauríem de tenir en compte que un ° francès equival a 10 mg CaCO_3/L



4.2 Resultats d'anàlisis d'aigües

Aigua d'aixeta

- **Clorurs**

$$4,97 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0,1 \text{ mols AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35,5 \text{ g Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg Cl}^-}{1 \text{ g Cl}^-} = 17,63 \text{ mg Cl}^-$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{17,63 \text{ mg Cl}^-}{0,025 \text{ L mostra}} = 705,2 \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{L}}$$

- **Alcalinitat**

$$6,6 \text{ cm}^3 \text{ HCl} \cdot \frac{0,1 \text{ mols HCl}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = 40,26 \text{ mg HCO}_3^-$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{40,26 \text{ mg HCO}_3^-}{0,1 \text{ L mostra}} = 402,6 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$$

- **Calci**

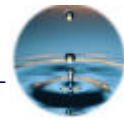
$$6,5 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0,01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ ml EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = 2,6 \text{ mg Ca}^{2+}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{2,6 \text{ mg Ca}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 260 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Magnesi**

$$4,8 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0,01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ ml EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24,3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 1,16 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{1,16 \text{ mg Mg}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 116,64 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$



- **Duresa total**

$V' \rightarrow$ Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{EDTACa^{2+}} + V_{EDTMg^{2+}} = V'_{(EDTAduresatotal)}$$

$$6.5 + 4.8 = 11.3 \text{ cm}^3 \text{ EDTA (per valorar el } Mg^{2+})$$

$$11.3 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol } Ca^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol } CaCO_3}{1 \text{ mol } Ca^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g } CaCO_3}{1 \text{ mol } CaCO_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg } CaCO_3}{1 \text{ g } CaCO_3} = 11.3 \text{ mg } CaCO_3$$

$$DURESA = \frac{11.3 \text{ mg } CaCO_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 1130 \frac{\text{mg } CaCO_3}{L}$$

Taula resum de resultats de l'aigua de l'aixeta

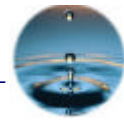
Clorurs	$705,2 \frac{\text{mg } Cl^-}{L}$
Alcalinitat	$402,6 \frac{\text{mg } HCO_3^-}{L}$
Calci	$260 \frac{\text{mg } Ca^{2+}}{L}$
Magnesi	$116,64 \frac{\text{mg } Mg^{2+}}{L}$
Duresa total	$1130 \frac{\text{mg } CaCO_3}{L}$

Aigua envasada

- **Clorurs**

$$0.4 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0.1 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol } Cl^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35.5 \text{ g } Cl^-}{1 \text{ mol } Cl^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg } Cl^-}{1 \text{ g } Cl^-} = 1.42 \text{ mg } Cl^-$$

$$[Cl^-] = \frac{1.42 \text{ mg } Cl^-}{0.025 \text{ L mostra}} = 56.8 \frac{\text{mg } Cl^-}{L}$$



- **Alcalinitat**

$$2.26 \text{ cm}^3 \text{ HCl} \cdot \frac{0.1 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = 13.79 \text{ mg HCO}_3^-$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{13.79 \text{ mg HCO}_3^-}{0.1 \text{ L mostra}} = 137.9 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$$

- **Calci**

$$1.06 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = 0.424 \text{ mg Ca}^{2+}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{0.424 \text{ mg Ca}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = 42.4 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Magnesi**

$$1 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24.3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 0.243 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{0.243 \text{ mg Mg}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = 24.3 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Duresa total**

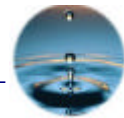
V' → Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{\text{EDTA Ca}^{2+}} + V_{\text{EDTA Mg}^{2+}} = V'_{(\text{EDTA duresa total})}$$

$$1.06 + 1 = 2.06 \text{ cm}^3 \text{ EDTA (per valorar el Mg}^{2+})$$

$$2.06 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 2.06 \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{DURESA} = \frac{2.06 \text{ mg CaCO}_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 206 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$



Taula resum de resultats de l'aigua envasada

Clorurs	$56.8 \frac{mg Cl^-}{L}$
Alcalinitat	$137.9 \frac{mg HCO_3^-}{L}$
Calci	$42.4 \frac{mg Ca^{2+}}{L}$
Magnesi	$24.3 \frac{mg Mg^{2+}}{L}$
Duresa total	$206 \frac{mg CaCO_3}{L}$

Aigua osmotitzada de l'aixeta

- **Clorurs**

$$1,43 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0,1 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35,5 \text{ g Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg Cl}^-}{1 \text{ g Cl}^-} = 5,08 \text{ mg Cl}^-$$

$$[Cl^-] = \frac{5,08 \text{ mg Cl}^-}{0,025 \text{ L mostra}} = 203,2 \frac{\text{mg Cl}^-}{L}$$

- **Alcalinitat**

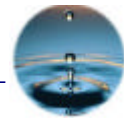
$$0,53 \text{ cm}^3 \text{ HCl} \cdot \frac{0,1 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = 3,25 \text{ mg HCO}_3^-$$

$$[HCO_3^-] = \frac{3,25 \text{ mg HCO}_3^-}{0,1 \text{ L mostra}} = 32,53 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{L}$$

- **Calci**

$$0,3 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0,01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = 0,12 \text{ mg Ca}^{2+}$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{0,12 \text{ mg Ca}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 12 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{L}$$



- **Magnesi**

$$1.76 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24.3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 0.41 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{0.41 \text{ mg Mg}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = 41 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Duresa total**

V' → Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{\text{EDTACa}^{2+}} + V_{\text{EDTMg}^{2+}} = V'_{(\text{EDTAduresa total})}$$

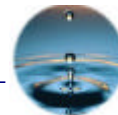
$$0.3 + 1.76 = 2.06 \text{ cm}^3 \text{ EDTA (per valorar el Mg}^{2+})$$

$$2.06 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 2.06 \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{DURESA} = \frac{2.06 \text{ mg CaCO}_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 206 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$

Taula resum de resultats de l'aigua osmotitzada

Clorurs	$203,2 \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{L}}$
Alcalinitat	$32,53 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$
Calci	$12 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$
Magnesi	$41 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$
Duresa total	$206 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$



Aigua rebutjada de l'osmosi

- **Clorurs**

$$6,2 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0,1 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35,5 \text{ g Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg Cl}^-}{1 \text{ g Cl}^-} = 22,01 \text{ mg Cl}^-$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{22,01 \text{ mg Cl}^-}{0,025 \text{ L mostra}} = 880,4 \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{L}}$$

- **Alcalinitat**

$$9,13 \text{ cm}^3 \text{ HCl} \cdot \frac{0,1 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = 55,69 \text{ mg HCO}_3^-$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{55,69 \text{ mg HCO}_3^-}{0,1 \text{ L mostra}} = 557,1 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$$

- **Calci**

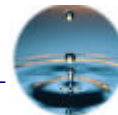
$$7,17 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0,01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = 2,87 \text{ mg Ca}^{2+}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{2,87 \text{ mg Ca}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 287 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Magnesi**

$$7,8 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0,01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24,3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 1,89 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{1,89 \text{ mg Mg}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 189,5 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$



• **Duresa total**

V' → Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{EDTACa^{2+}} + V_{EDTMg^{2+}} = V'_{(EDTAduresatotal)}$$

$$7.17 + 7.8 = 14.97 \text{ cm}^3 \text{ EDTA (per valorar el } Mg^{2+})$$

$$14.97 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol } Ca^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol } CaCO_3}{1 \text{ mol } Ca^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g } CaCO_3}{1 \text{ mol } CaCO_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg } CaCO_3}{1 \text{ g } CaCO_3} = 14.97 \text{ mg } CaCO_3$$

$$DURESA = \frac{14.97 \text{ mg } CaCO_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 1497 \frac{\text{mg } CaCO_3}{L}$$

Taula resum de resultats de l'aigua rebutjada per l'osmosi

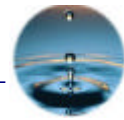
Clorurs	$880,4 \frac{\text{mg } Cl^-}{L}$
Alcalinitat	$556,9 \frac{\text{mg } HCO_3^-}{L}$
Calci	$287 \frac{\text{mg } Ca^{2+}}{L}$
Magnesi	$189,5 \frac{\text{mg } Mg^{2+}}{L}$
Duresa total	$1497 \frac{\text{mg } CaCO_3}{L}$

Aigua del Llac

• **Clorurs**

$$0.21 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3 \cdot \frac{0.1 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ cm}^3 \text{ AgNO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol } Cl^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \cdot \frac{35.5 \text{ g } Cl^-}{1 \text{ mol } Cl^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg } Cl^-}{1 \text{ g } Cl^-} = 0.74 \text{ mg } Cl^-$$

$$[Cl^-] = \frac{0.74 \text{ mg } Cl^-}{0,025 \text{ L mostra}} = 29.8 \frac{\text{mg } Cl^-}{L}$$



- **Alcalinitat**

$$0.12 \text{ cm}^3 \text{ HCl} \cdot \frac{0.1 \text{ mols HCl}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{61 \text{ g HCO}_3^-}{1 \text{ mol HCO}_3^-} \cdot \frac{1000 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ g HCO}_3^-} = 0.73 \text{ mg HCO}_3^-$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{0.73 \text{ mg HCO}_3^-}{0,1 \text{ L mostra}} = 7.32 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$$

- **Calci**

$$0.56 \text{ ml EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ ml EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{40 \text{ g Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ g Ca}^{2+}} = 0.22 \text{ mg Ca}^{2+}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{0.22 \text{ mg Ca}^{2+}}{0,01 \text{ L mostra}} = 22.4 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Magnesi**

$$1.33 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24.3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 0.32 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{0.32 \text{ mg Mg}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = 32.32 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

- **Duresa total**

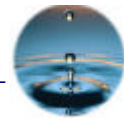
V' → Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{\text{EDTA Ca}^{2+}} + V_{\text{EDTA Mg}^{2+}} = V'_{(\text{EDTA duresa total})}$$

$$0.56 + 1.33 = 1.89 \text{ ml EDTA (per valorar el Mg)}$$

$$1.89 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 1.89 \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{DURESA} = \frac{1.89 \text{ mg CaCO}_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 189 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$



Taula resum de resultats de l'aigua llac

Clorurs	$29.8 \frac{mg Cl^-}{L}$
Alcalinitat	$7.32 \frac{mg HCO_3^-}{L}$
Calci	$22.4 \frac{mg Ca^{2+}}{L}$
Magnesi	$32.32 \frac{mg Mg^{2+}}{L}$
Duresa total	$189 \frac{mg CaCO_3}{L}$

Aigua de mar

- **Clorurs**

$$307.1 cm^3 AgNO_3 \cdot \frac{0.1 mol AgNO_3}{1000 cm^3 AgNO_3} \cdot \frac{1 mol Cl^-}{1 mol AgNO_3} \cdot \frac{35.5 g Cl^-}{1 mol Cl^-} \cdot \frac{1000 mg Cl^-}{1 g Cl^-} = 1089.8 mg Cl^-$$

$$[Cl^-] = \frac{1089.8 mg Cl^-}{0,025 L mostra} = 43594 \frac{mg Cl^-}{L}$$

- **Alcalinitat**

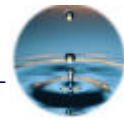
$$2.9 cm^3 HCl \cdot \frac{0.1 mols HCl}{1000 cm^3 HCl} \cdot \frac{1 mol HCO_3^-}{1 mol HCl} \cdot \frac{61 g HCO_3^-}{1 mol HCO_3^-} \cdot \frac{1000 mg HCO_3^-}{1 g HCO_3^-} = 17.69 mg HCO_3^-$$

$$[HCO_3^-] = \frac{17.79. mg HCO_3^-}{0,1 L mostra} = 176.9 \frac{mg HCO_3^-}{L}$$

- **Calci**

$$11.57 cm^3 EDTA \cdot \frac{0.01 mol EDTA}{1000 cm^3 EDTA} \cdot \frac{1 mol Ca^{2+}}{1 mol EDTA} \cdot \frac{40 g Ca^{2+}}{1 mol Ca^{2+}} \cdot \frac{1000 mg Ca^{2+}}{1 g Ca^{2+}} = 4.63 mg Ca^{2+}$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{4.63 mg Ca^{2+}}{0,01 L mostra} = 463 \frac{mg Ca^{2+}}{L}$$



• **Magnesi**

$$60.19 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{24.3 \text{ g Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \cdot \frac{1000 \text{ mg Mg}^{2+}}{1 \text{ g Mg}^{2+}} = 14.62 \text{ mg Mg}^{2+}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{14.62 \text{ mg Mg}^{2+}}{0.01 \text{ L mostra}} = 1462.6 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

• **Duresa total**

V' → Volum d' EDTA per valorar el Ca^{2+} i Mg^{2+}

$$V_{\text{EDTACa}^{2+}} + V_{\text{EDTAMg}^{2+}} = V'_{(\text{EDTAduresatotal})}$$

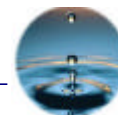
$$1157 + 60.19 = 1217.19 \text{ cm}^3 \text{ EDTA (per valorar el Mg}^{2+})$$

$$1217.19 \text{ cm}^3 \text{ EDTA} \cdot \frac{0.01 \text{ mol EDTA}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 1217.19 \text{ mg CaCO}_3$$

$$\text{DURESA} = \frac{1217.19 \text{ mg CaCO}_3}{0.01 \text{ L mostra}} = 121719 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$

Taula resum de resultats de l'aigua de mar

Clorurs	$43594 \frac{\text{mg Cl}^-}{\text{L}}$
Alcalinitat	$176,9 \frac{\text{mg HCO}_3^-}{\text{L}}$
Calci	$463 \frac{\text{mg Ca}^{2+}}{\text{L}}$
Magnesi	$1462.6 \frac{\text{mg Mg}^{2+}}{\text{L}}$
Duresa total	$121719 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$

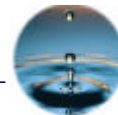


4.3 Conclusions referents als anàlisis de les aigües

Taula de resultats de les diferents aigües analitzades:

	Clorurs $\frac{mg\ Cl}{L}$	Alcalinitat $\frac{mg\ HCO_3^-}{L}$	Calci $\frac{mg\ Ca^{2+}}{L}$	Magnesi $\frac{mg\ Mg^{2+}}{L}$	Duresa $\frac{mg\ CaCO_3}{L}$
Aigua de l'aixeta del Prat	705,2	402,6	260	116,6	1130
Aigua envasada (Ribes)	56,8	137,9	42,4	24,3	206
Aigua de l'aixeta Osmotitzada	203,2	32,53	12	41	206
% de neteja de l'aigua osmotitzada respecte l'aigua d'aixeta	71,2	91,9	95,4	69,6	81,1
Aigua rebutjada per l'osmosi	880,4	556,9	287	189,5	1497
Aigua de 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

¹ Les últimes dues files de la taula ("aigua dels pous 14 i 15") són els resultats obtinguts pel laboratori de les Aigües del Prat. Aquest resultats han sigut registrats el dia 12 de Novembre del 2007.



Anàlisi dels resultats

Al comparar els paràmetres de l'aigua de l'aixeta abans i després d'osmotitzar-la podem veure que hi ha una caiguda de totes les concentracions destacant el 91.9 % de la neteja de l'alcalinitat i el 84.1% de la duresa. Al contrari, l'aigua rebutjada augmenta considerablement totes les concentracions, lògicament.

Si comparem l'aigua de l'aixeta del Prat de Llobregat, que prové d'aqüífers del delta, amb un cert grau de salinització degut a la filtració d'aigua marina, amb l'aigua del llac de Sanabria podem veure com totes les concentracions de l'aigua de l'aixeta són molt més elevades que les del llac, destacant considerablement els clorurs i la duresa.

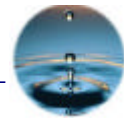
Si fem la comparació amb l'aigua envasada obtenim uns resultats semblants als del llac, és a dir, totes les concentracions són més elevades.

Per altre banda, si la comparem amb l'aigua del mediterrani podem observar com la concentració dels clorurs i la duresa és molt més petita; es diu que és aigua salobre i la marina, aigua salada. En canvi té una alcalinitat superior a la del mar.

Si comparem l'aigua osmotitzada amb l'aigua del llac i l'aigua envasada, veiem com les concentracions de clorurs i d'alcalinitat són més elevades en l'aigua osmotitzada que en la del llac i d'ampolla, en canvi la duresa és més petita. Per altra banda, si la comparem amb l'aigua del mar Mediterrani veiem com totes les concentracions són molt més elevades en el cas de l'aigua marina, destacant els clorurs i la duresa.

En el cas de l'aigua de rebuig veiem com les seves concentracions són molt més elevades comparant-les amb la de l'aigua de llac i amb la de l'aigua envasada i molt més petites en el cas de l'aigua de mar.

Amb la qual cosa, hem observat que de les aigües que hem analitzat, l'aigua de mar és la que té unes concentracions més elevades en totes les propietats, excepte en el cas de l'aigua de l'aixeta del Prat on l'alcalinitat és major; i en canvi, l'aigua de llac de Sanabria és la que té unes menors concentracions. L'aigua que hem osmotitzat de l'aixeta del Prat, encara manté unes concentracions més elevades en els clorurs i en la duresa respecte de l'aigua envasada, excepte en l'alcalinitat que arriba a ser inferior.



5. Osmosi inversa

5.1. Osmosi inversa

- **Osmosi**

El procés d'osmosi (*Fig.6*) és un fenomen físico-químic on intervenen dues solucions amb diferent concentració separades per una membrana semipermeable, que només permet el pas d'aigua. Aquestes dues solucions tendeixen a igualar les seves concentracions, passant, per la membrana, l'aigua de la dissolució de menys concentració (medi hipotònic) a la de més concentració (medi hipertònic). Aquesta membrana semipermeable està formada per porus microscòpics que no deixen passar cap molècula excepte les d'aigua. Llavors quan tenim dues dissolucions amb concentracions diferents passarà el següent:

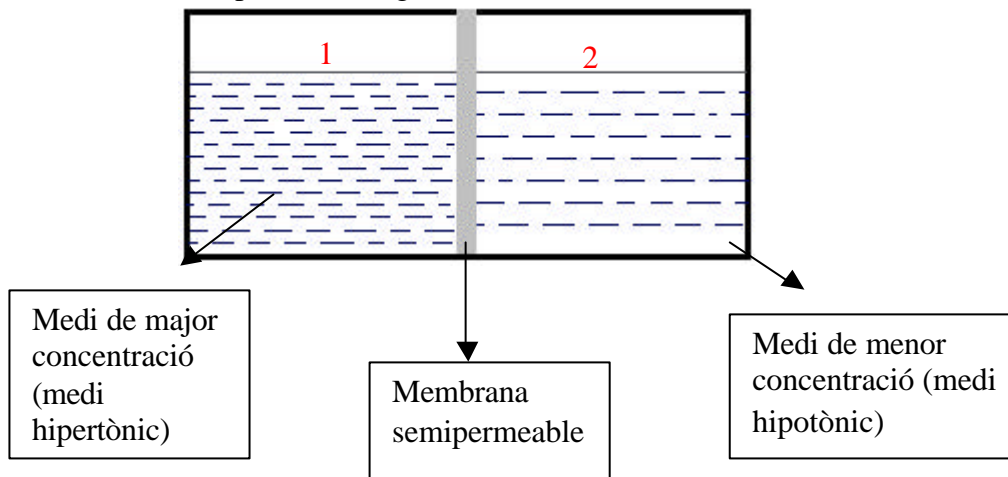


Fig.6. Procés d'osmosi inversa

Les molècules d'aigua de la dissolució de la dreta tendeixen a passar cap a la dissolució de l'esquerra amb l'objectiu de dissoldre la concentració i intentar que les dues solucions estiguin equilibrades. No obstant, això no vol dir que les molècules d'aigua no passin en l'altra direcció, arribant a un equilibri quan la pressió exercida pel volum d'aigua que ha augmentat la dissolució de l'esquerra, iguala a la pressió osmòtica (*Fig.7*).

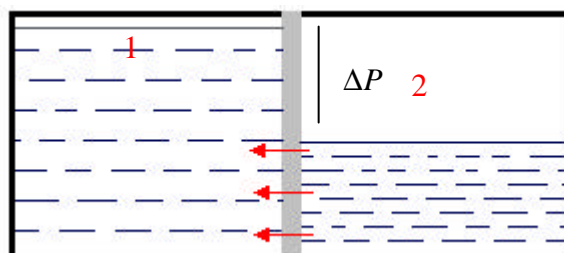
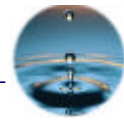


Fig.7 Increment de la pressió osmòtica



- **Concepte d'osmosi inversa**

Si apliquem una pressió exterior suficient a la solució més concentrada, l'aigua travessarà la membrana cap a la dissolució de menys concentració. Aquest procés es anomenat osmosi inversa (Fig.8). Per aconseguir un flux de solvent a través de la membrana s'ha d'exercir un pressió suficient per vèncer la pressió osmòtica de la solució.

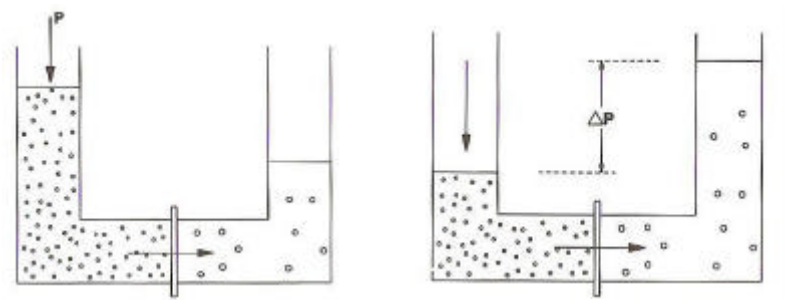


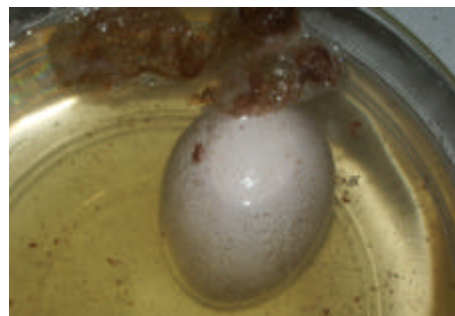
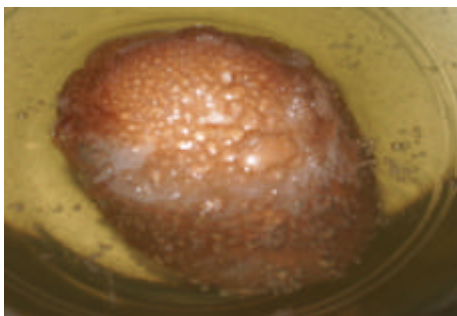
Fig.8. Procés d'osmosi inversa

En la pràctica, no cal vèncer la pressió osmòtica de la solució d'alimentació, sinó solament la diferència de pressió osmòtica entre la solució d'alimentació i la de producte. Aquesta pressió depèn del flux d'aigua a través de la membrana i canvia segons les característiques d'aquesta.

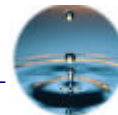
- **Demostració del procés d'osmosi en un ou de gallina**

Procediment:

A més d'un ou fresc, es necessita aigua destil·lada, vinagre i un pot de vidre amb la boca ampla. Es col·loca l'ou en una dissolució formada per 2/3 d'àcid acètic (vinagre) i 1/3 d'aigua destil·lada. Al cap de 12h s'observa l'estat de l'ou on es veu que la closca s'ha desprès totalment. Es mesura el seu perímetre. Ara que tenim l'ou sense closca es posa en un altre pot amb només aigua destil·lada i es deixa reposar un mínim de 24h. Llavors, tornem a mesurar el seu perímetre.



(Veiem l'ou a les 11 hores d'estar en la dissolució d'aigua i vinagre. La closca ja quasi s'ha desprès)

**Mesures:**

Observem que al introduir l'ou en la dissolució de vinagre i aigua es formen immediatament bombolles a la superfície de l'ou degudes al despreniment de diòxid de carboni. A mesura que passa el temps el nombre de bombolles és major. A les 12 hores de repòs la closca ha desaparegut, però l'ou continua tenint la mateixa forma gràcies a la prima membrana translúcida, que ens permet calcular el radi amb un regla:

$$Radi = r = 2,3$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot 2,3$$

$$P \approx 14,45cm$$

El perímetre aproximat de l'ou és de 14,45 cm.

Després d'estar en aigua destil·lada durant 24 hores, ens adonem que ha augmentat la seva grandària.

$$Radi = r = 2,5cm$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot 2,5$$

$$P \approx 15,71cm$$

Ara, el perímetre aproximat de l'ou és de 15,71 cm.

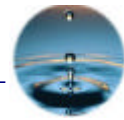
El perímetre ha augmentat més d'un cm ($15,71 - 14,45 = 1,26$ cm). Això creiem que és degut a que la membrana translúcida de l'ou actua com una membrana semipermeable, que permet el pas de l'aigua del medi més diluït al més concentrat. I per tant, les molècules d'aigua destil·lada han anat passant dins de l'ou per disminuir la concentració de salinitat que hi havia dins. Aquest procés és el que es denomina osmosi.

- **Pressió osmòtica**

Segons va dir Dutrochet en 1827 l'osmosi es defineix com:

“ Pas d'un dissolvent a través d'una membrana semipermeable que separa dos solucions de diferents concentracions. L'osmosi es produeix des de la menys concentrada fins la més concentrada”.

És com si la dissolució més concentrada atragués l'aigua de la dissolució menys concentrada, arribant-se a un equilibri, ja que l'aigua pot passar en els dos sentits.



La pressió osmòtica és aquella que seria necessària per aturar el flux a través de la membrana semipermeable. La força d'atracció serà equilibrada per la pressió hidrostàtica deguda a la pujada del nivell del líquid en el tub capil·lar de l'osmòmetre (Tc). S'ha observat que aquesta pujada és la mateixa que faria el solut si fós un gas ideal que ocupés el mateix volum on P és la pressió osmòtica.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Si la concentració de la dissolució és 1 molal (1mol solut/kg disolvent) provocarà una pressió d'uns 22.4 atm a la pressió normal.

Per observar aquesta pressió hem fet una experiència amb un osmòmetre (*fig.9*), on estan separades per una membrana semipermeable (Ms) dues solucions de diferent concentracions. La de més concentració (Sc) és una solució de sacarosa de 2M (medi hipertònic), composta per 54g de sacarosa per 150 ml d'aigua destil·lada, i l'altre (Sd) d'aigua destil·lada (medi hipotònic). La solució de sacarosa s'introdueix en la cubeta de l'osmòmetre i l'aigua destil·lada en un cilindre, que va encaixat en un forat de l'osmòmetre; les dissolucions queden separades per la membrana semipermeable, en aquest cas, paper de celofà.

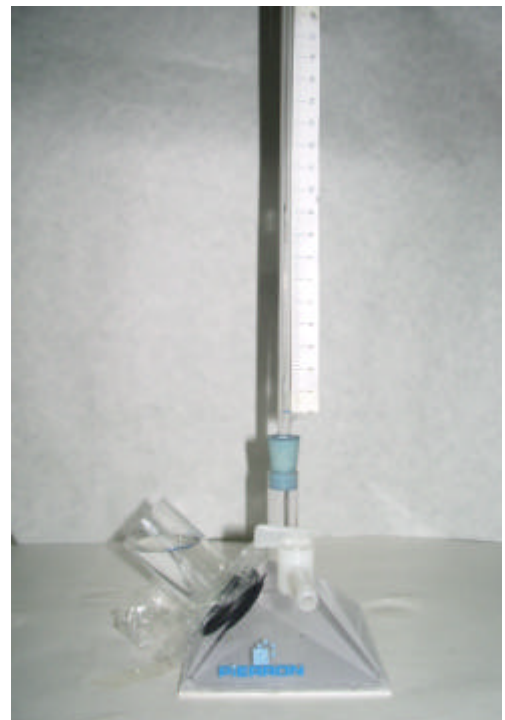
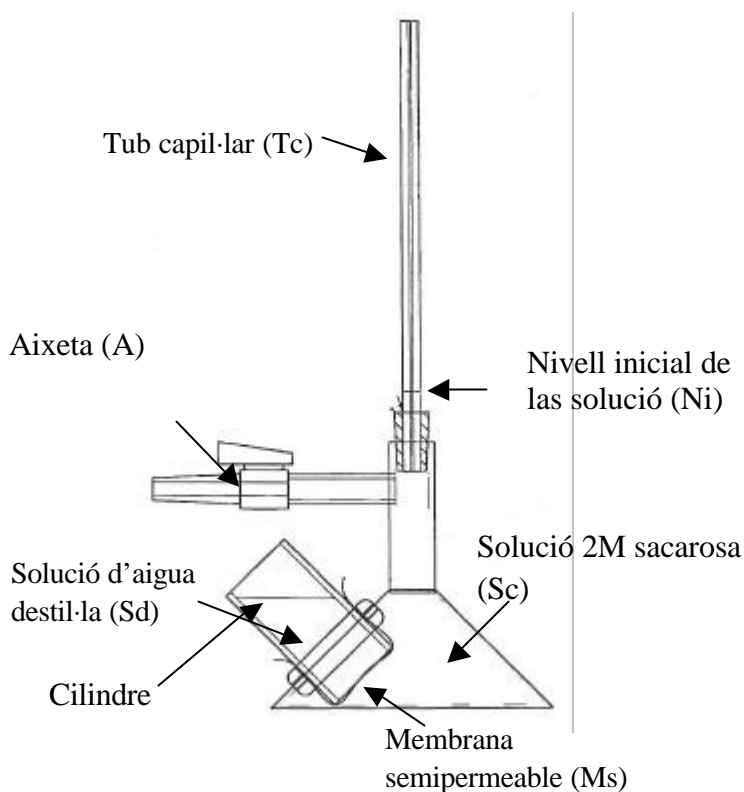
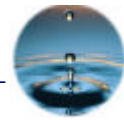
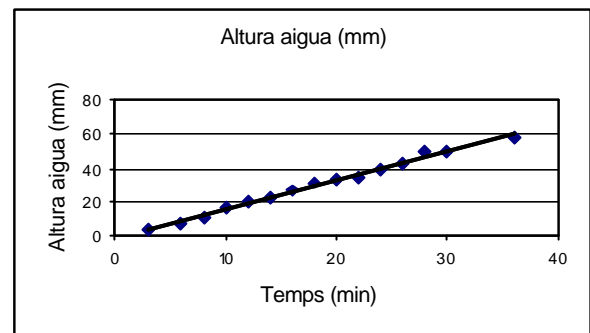


Fig.9. Esquema i fotografia de l'osmòmetre utilitzat en l'experiència



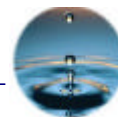
Per fer aquesta experiència, primerament vam preparar la solució de sacarosa 2M, agafant 54g de sacarosa per 150 ml d'aigua destil·lada. Aquesta solució s'introdueix en l'osmòmetre. Després posem la membrana semipermeable i abans d'afegir l'aigua destil·lada, marquem en el tub capil·lar el nivell inicial de la solució. Hem posat un paper mil·limetrat al costat per mesurar com puja el nivell de la solució, una vegada abocada l'aigua destil·lada. Fem les mesures a intervals de temps controlat per un cronòmetre. En aquesta taula veiem com evoluciona l'altura de la columna respecte el temps:

Temps(min)	Altura columna aigua (mm)
3	3
5	6
8	11
10	16
12	20
14	22
16	27
18	31,5
20	34
22	35
24	40
26	43
28	50
30	50
36	58

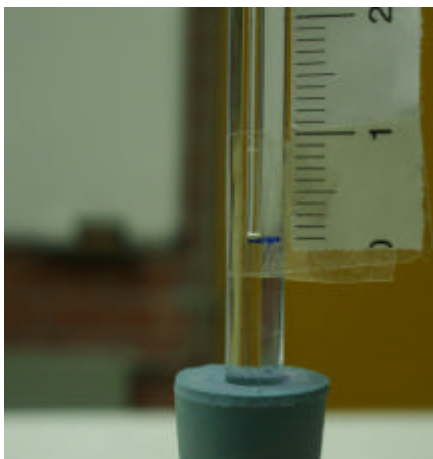


Com podem veure en la gràfica, hi ha un continu creixement de l'altura de l'aigua a mesura que passa el temps, representat per una recta que té com a equació $y = 1,7373x - 1,7857$. Això significa que, per cada minut puja el nivell de l'aigua 1,7 mm.

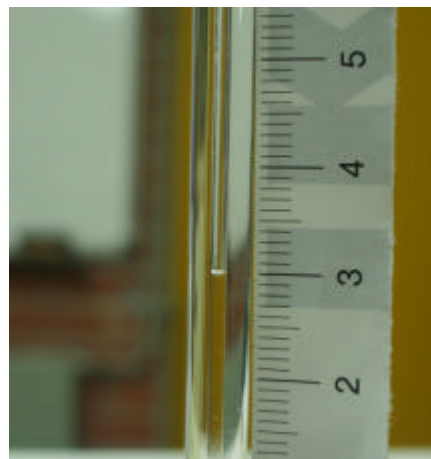




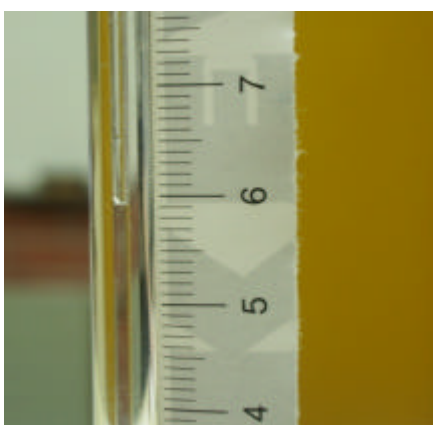
En aquestes fotografies veiem com va pujar la solució en el capil·lar (Fig.10).



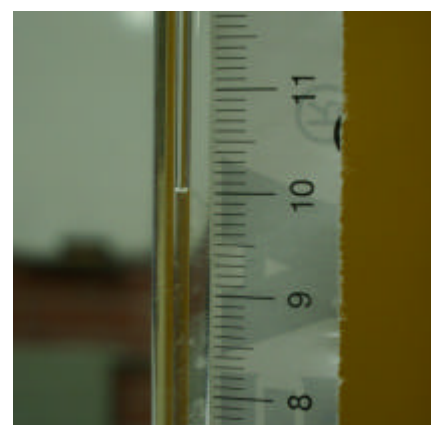
(inicialment, 0 segons)



Després de 3 minuts es veu com a pujat 3 ml

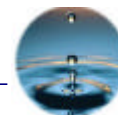


Després de 5 minuts es veu com a pujat 8 ml



Després de 7 min aproximadament es veu com a pujat 10 ml

Fig.10. Fotografies fetes al laboratori on es veu la pujada de la solució a causa de la pressió osmòtica.



5.2 Processos de separació

La majoria dels processos de separació tenen com a base principal del tractament unes barreres físiques. Aquestes barreres es coneixen, segon la grandària de les molècules que són capaces de separar, com a filtres o com a membranes. No obstant hi ha altres mètodes de separació que no utilitzen cap barrera física com és el cas de la destil·lació, on s'evapora l'aigua i es condensa posteriorment eliminant així les sals que contenia.

Podem distingir grans varietat de processos segons la capacitat de separació de les molècules, amb la qual cosa és necessari saber quins són els components que es poden trobar en l'aigua per utilitzar el procés adequat.

En aquests dos quadres es veu quina és la mida dels compostos que poden haver-hi en l'aigua i el grau de separació que tenen les diferents tecnologies, indicant-nos així quines poden ser les seves aplicacions.¹

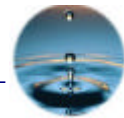
Tamaño de los compuestos existentes en el agua

<i>Componentes</i>	<i>Dimensiones en micras</i>	<i>Tamaño</i>
Algas	700-1	Particular
Arcnas	2000-100	Particular
Limos	100-20	Particular
Arcillas	10-0,1	Particular
Polen	60-20	Particular
Acidos húmicos	0,005-1	Macromolecular
Negro de humo	0,02-0,08	Molecular
Bacterias	0,7-80	Macromolecular
Virus	0,003-0,03	Molecular
Sales disueltas	0,0008-0,004	Iónico
Iones metálicos	< 0,0006	Iónico

Selectividad de los procesos de separación

<i>Proceso</i>	<i>Grado de separación en micras</i>
Filtración multicapa	> 100
Filtración cartuchos	> 1
Filtración sobre precapa	> 0,5
Microfiltración	> 0,1
Ultrafiltración	> 0,01
Nanofiltración	0,001 - 0,01
Osmosis Inversa	< 0,04
Electrodialisis	< 0,03

¹ Les dos taules d'aquest apartat han sigut extretes del llibre "Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis inversa". Veure bibliografia.



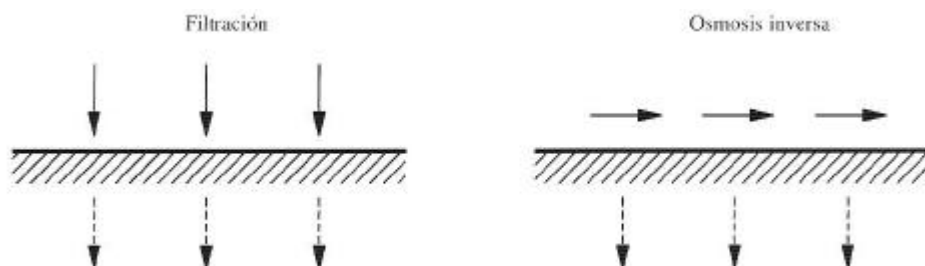
Encara que en tots aquests processos es realitzen una separació de sals, hi ha algunes distincions entre ells. En el cas de la filtració, la microfiltració i l'ultrafiltració, la membrana deixa passar tota l'aigua, de tal manera que l'aigua producte és igual a l'aigua d'alimentació. En canvi, en els processos de l'osmosi inversa i la nanofiltració, l'aigua que arriba a la membrana es divideix en dos corrents: un que travessa la membrana, i un altre que circula sobre la superfície; normalment aquests processos retenen els ions.

Per altre banda, en l'electrodiàlisi, la membrana només permet el pas de ions d'una determinada càrrega, però no els de càrrega contrària.

Diferència entre osmosi inversa i altres processos de membrana.

Les diferències més clares entre l'osmosi inversa i els processos de filtració i microfiltració són :

Altres processos de membrana (filtració o microfiltració)	Osmosis inversa
Tot el cabal travessa l'element separador, que impedeix únicament el pas de les partícules sòlides d'un determinat grandària	Només una part del cabal d'alimentació travessa la membrana constituint això el producte; mentre que la resta és eliminat sense travessar la membrana formant el rebuig.
Es produeix l'acumulació de material separat sobre la superfície de la membrana	No es produeix l'acumulació de material separat sobre la superfície de la membrana
El flux de l'aigua a tractar és perpendicular a la membrana	El flux de l'aigua a tractar és paral·lel a la membrana





5.3. Les membranes

- **Configuració de les membranes¹**

Les membranes d'osmosis inversa tenen una estructura mecànica que permet suportar la pressió que s'aplica a l'aigua quan es fa el procés de separació dels minerals, ja que, com que la membrana és una làmina molt fina, no podria aguantar per si sola aquesta pressió. A partir de la seva configuració hi ha quatre tipus principals de membranes:

Membranes de tipus pla.

La membrana de tipus pla és la més senzilla i la primera que es va utilitzar. Està constituïda per una làmina que es col·loca dins d'un marc, circular (*Fig. 11*) o rectangular (*Fig. 12*), que actua de suport de la membrana i li dona rigidesa. La superfície d'aquesta és petita i es col·loquen una damunt de l'altre per tal d'augmentar la producció. La pel·lícula que s'utilitza com a membrana és semblant als altres tipus, amb la qual cosa les seves característiques unitàries de rebuig i cabal són similars a les altres configuracions.

Aquests tipus de membranes tenen un inconvenient, ja que al tenir poca capacitat de productivitat només s'han destinat al sector industrial, especialment alimentari, i han sigut rebutjades pel sector de tractament d'aigua potable. D'altra banda, el seu principal avantatge és que la separació entre membranes és ampla, d'1 a 3 mm, amb la qual cosa no es fan mal bé tan ràpidament i a més, en cas que s'embrutin, es poden rentar fàcilment amb aire o aigua.



Fig.11 Membrana Plana circular

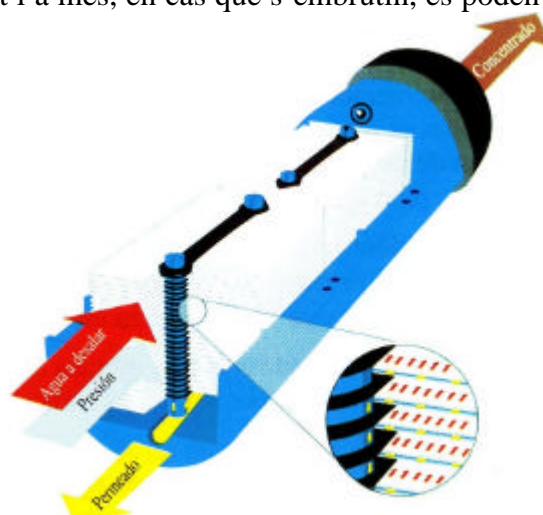


Fig.12 Membrana plana rectangular

¹ Les imatges d'aquest apartat han sigut extretes del llibre "Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis inversa". Veure bibliografia.



Membranes tubulars

Les membranes tubulars (*Fig. 13*) s'assemblen a les anteriors, però aquestes busquen una major superfície unitària, sense renunciar als avantatges de fàcil netedat.

La membrana va allotjada al interior d'un tub de PVC, que suporta la pressió del procés. Aquest tub té els orificis necessaris per l'entrada i la sortida de l'aigua. Les seves aplicacions es redueixen al camp industrial.

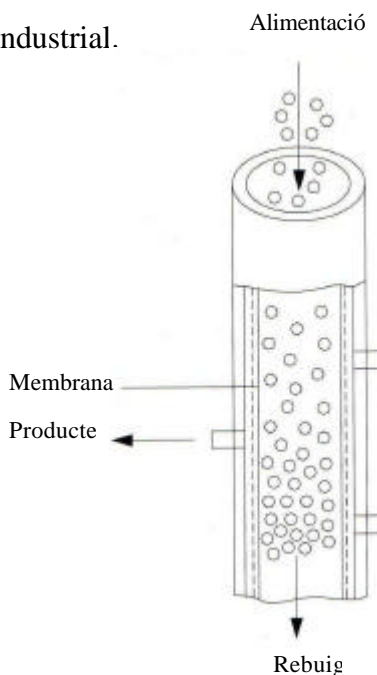
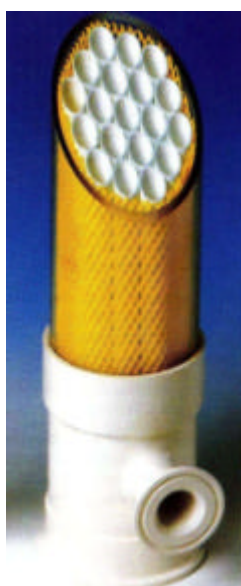


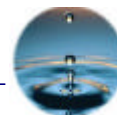
Fig.13 Membrana tubular

Membranes de fibra buida

Les membranes de fibra buida (*Fig.14 i Fig.15*) estan constituïdes per milions de tubs capil·lars de la mida d'un cabell humà, buits interiorment.

Aquest tubs o fibres es posen al interior d'un cilindre, de plàstic d'alta resistència PRFV per evitar la corrosió, que constitueix la carcassa protectora i permet la circulació de l'aigua a dessalar. Aquestes fibres es col·loquen paral·lelament al voltant del tub central. Tot aquest conjunt formen la membrana, on la quantitat de fibres li donen una gran rigidesa que permet resistir les pressions aplicades.

L'aigua a pressió entra a la membrana des de l'exterior del capil·lar i la paret de la fibra actua com a làmina o membrana separadora retenint les sals, pel interior circula



l'aigua producte que travessa la membrana. Les sals es desplacen fins a les vores del tub i es recullen mitjançant un col·lector per ser evaporades.

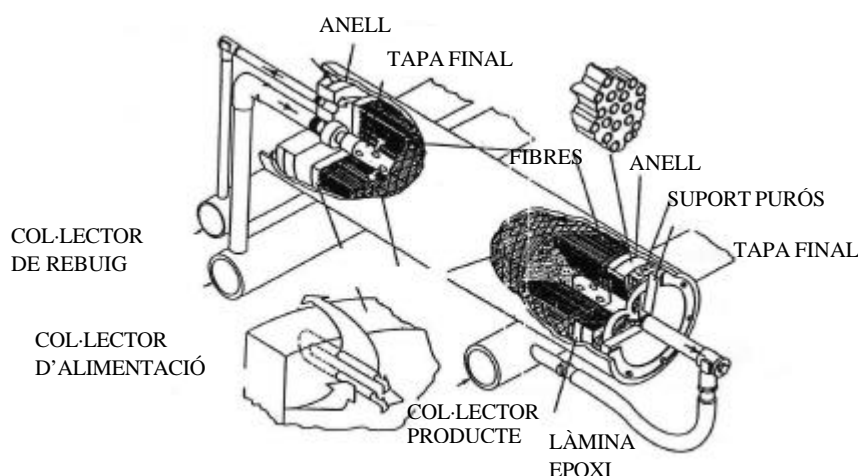


Fig.14 Membranes de fibra buida



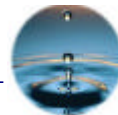
Fig.15 Vista microscòpica de la fibra

Membranes enrotllades en espiral

Les membranes enrotllades en espiral (*Fig.16*) estan formades per vèries làmines rectangulars enrotllades al voltant d'un eix cilíndric amb perforacions que permeten la recollida de l'aigua producte. Les làmines desoladores s'enrotllen alternades amb un separador impermeable i un malla, de tal manera que hi ha tantes membranes com separadors i malles. La malla plàstica determina els cabals hidràulics i la seva forma quadriculada redueix les possibilitats d'obstrucció de la membrana.

El separador impermeable permet aïllar el cabal que passa per cada una de les membranes amb el de les sals retingudes.

Aquesta conjunt, malla membrana i separador, s'enganxen per tres dels quatre costats deixant l'últim com a única sortida de l'aigua unint-se a l'eix perforat. Finalment es tanca el conjunt amb un embolcall de polièster. Gràcies aquest enrotllament s'aconsegueix una gran superfície de membrana en un espai molt reduït.



Aquestes dues últimes configuracions són les que s'utilitzen pel tractament de dessalació d'aigua, tant salobre com de mar, per proveïments urbans i agrícoles.

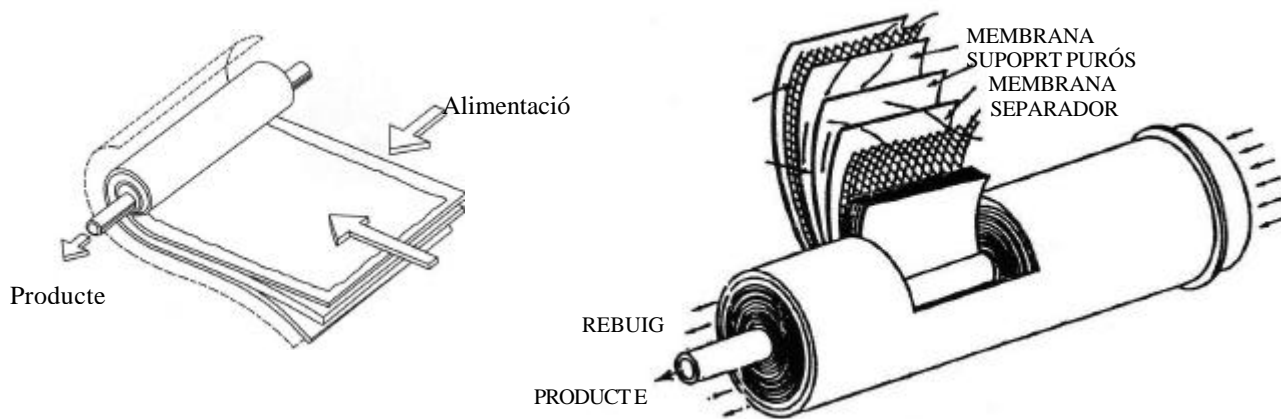
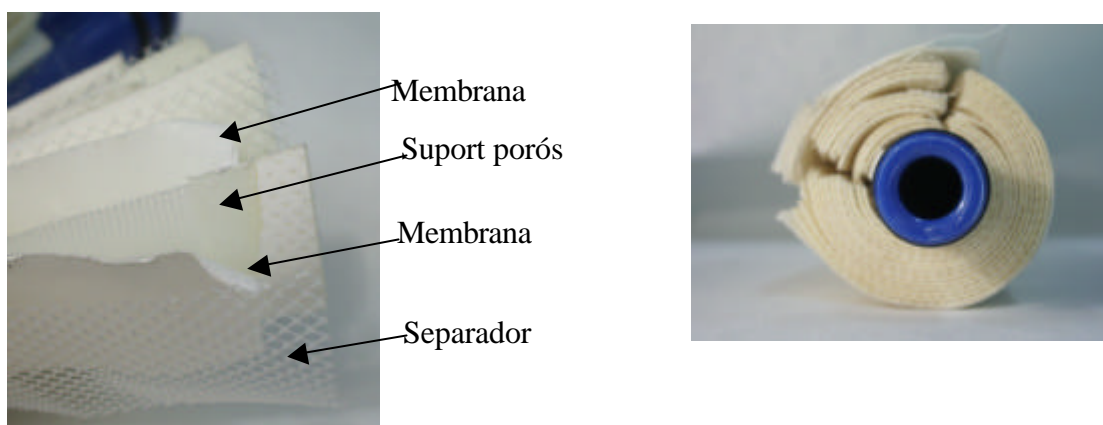
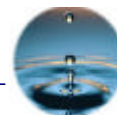


Fig.16 Membranes enrotllades en espiral



Fotografia de la membrana seccionada utilitzada en les experiències del nostre treball



- **Estructura de les membranes**

L'estructura microscòpica de les membranes osmòtiques és molt complexa. Es diferencien dos tipus segons la forma en que es realitzen, ja que, el procés general de la fabricació d'ambdues té lloc a partir d'una solució viscosa, de polímers de cadena llarga, igual.

Aquests dos tipus de membranes són les membranes espirals i membranes de fibra buida, les quals es poden definir com estructura **fibril·lar** i estructura **laminar**, respectivament.

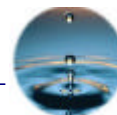
En el cas de les membranes **laminars**, la solució viscosa es dispersa damunt d'un material suport formant una pel·lícula prima, on seguidament s'evaporen el dissolvent deixant que el polímer sobresurti de la solució. Finalment es submergeix el polímer en un dissolvent i surten els porus de les membranes a causa del refredament bruscat provocat per l'immersió. En canvi, en les membranes **fibril·lars**, els filaments que les formen es filen a partir d'una solució de poliamida aromàtica i sals inorgàniques. El solvent s'elimina de l'exterior de les fibres a partir de gas nitrogenat.

- **Materials constituents**

La base d'una membrana de dessalació està constituïda per una capa més o menys fina que realitza la separació de les sals.

Les membranes que tenen més importància actualment són les de tipus asimètric, formades per acetat de cel·lulosa, o les compostes de capa fina, formades per diverses poliamides.

Les membranes d'acetat de cel·lulosa són molt sensibles al pH, amb cabal moderat i susceptibles al atac biològic, però que permeten la cloració. En canvi, les membranes poliamides alifàtiques i aromàtiques tenen cabals i rebuig superiors i funcionen amb pressions més baixes a les altres, però són molt sensibles al clor.



- **Característiques de les membranes**

Rebuig de sals.

Les membranes d'osmosi inversa s'utilitzen per separar ions de les solucions aquoses, amb la qual cosa la importància principal de la membrana és la capacitat per rebutjar les sals. Aquesta capacitat de separació no és igual en totes les membranes i per tant és la principal característica diferenciadora unes amb les altres. Aquestes no són capaces de treure tots els ions de l'aigua.

Rebuig de bacteris

El diàmetre dels porus de les membranes són suficientment petits per poder separar els bacteris i virus totalment incorporats a l'aigua. Els virus i bacteris que es dipositen en les membranes es poden reproduir, ja que la membrana constitueix un medi idoni per al seu creixement, afectant el rebuig de les sals i el cabal que passa a través de la membrana. Per evitar aquesta situació cal aplicar un tractament de desinfecció a l'aigua que es va a tractar.

Compostos orgànics

Les molècules orgàniques amb major pes molecular són retingudes millor que les de menor pes molecular. En general, els compostos orgànics solubles de baix pes molecular, com els àcids orgànics i les amides, passen a través de les membranes en major proporció que els ions. El rebuig dels compostos orgànics solubles depèn del material de la membrana, sent més eficaç les membranes de poliamida que les d'acetat de cel·lulosa.



Resistència al clor

El clor és un fort oxidant utilitzat, per els seus efectes desinfectants, en tractament de l'aigua. La tolerància de les membranes al clor dissolt en l'aigua és diferent segons cada tipus de membrana:

Les membranes d'acetat de cel·lulosa admeten dosis de clor moderades, fins 1ppm, encara que les debilita progressivament. Les membranes en espiral, les de poliamida alifàtica, TFC, són destruïdes pel clor de forma instantània, mentre que les de poliamida aromàtica suporten dosis molt petites, 0.1ppm, durant molt poc temps. Les membranes de fibra buida de poliamida, encara que haurien d'aguantar igual que les d'espiral, en realitat tenen una mica més de resistència.

Condiciones hidràuliques

Les membranes funcionen correctament segons unes determinades condicions.

Les tres condicions que s'estableixen en les membranes d'espiral són:

- Mantenir un cabal de concentració de sals 10 lpm (litres/min) en membranes de 4'' (polzades) i major de 40 lpm en membranes de 8''.
- Mantenir una relació entre cabal de concentració de sals i producte superior a 5
- Mantenir un cabal d'alimentació a les membranes que ha de ser menor de 50 lpm per membranes de 4'' i menor de 200 lpm en membranes de 8''. Però, a la vegada el flux a través de la membrana ve determinat per quatre factors més:
 - Pressió osmòtica.
 - Permeabilitat de la membrana.
 - Espessor de la membrana.
 - La diferències de concentracions.



Càrrega elèctroforètica

La superfície de totes les membranes tenen una càrrega elèctrica que és conseqüència dels elements químics que intervenen en la seva fabricació. Aquestes càrregues retenen la matèria orgànica i els col·loides de l'aigua. Com per exemple, la membrana d'acetat al estar formada amb menors ions, té menor càrrega elèctrica, i per tant la seva retenció és menor. Contra més càrrega tingui la superfície de la membrana major serà la seva capacitat de retenir la matèria orgànica de l'aigua.

- **Paràmetres tècnics**

- **Rebuig**

El rebuig és la característica principal de la membrana i la que ens permet definir el seu funcionament en relació amb l'aigua que es vol tractar. Cal tenir en compte que cap membrana és capaç d'eliminar el 100% de les sals contingudes en l'aigua, no obstant, moltes d'elles s'acosten a valors del 99% com és el cas de les membranes d'aigua de mar. Hi ha dos paràmetres que caracteritzen una membrana des d'aquest punt de vista.

- **Pas de les sals:** És el percentatge de sals que passen a través de la membrana:

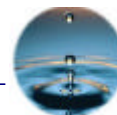
$$P_s = 100 \cdot C_p / C_a$$

Sent C_p la concentració de l'aigua producte i C_a la de l'aigua d'entrada

- **Rebuig de les sals:** És el percentatge de sals que rebutja la membrana i es determina a partir del pas de les sals mitjançant la fórmula:

$$R_s = 100 \cdot (C_a - C_p) / C_a = 100 \cdot (1 - C_p / C_a)$$

Amb la qual cosa és complementari al pas de sals, ja que, si obtenim un pas de sals de 4% tindrà un rebuig del 96% i si té un rebuig del 99.6% tindrà un pas del 0.04%.



5.4. Factors que intervenen en el rendiment de la membrana

Descripció del nostre aparell d'osmosi domèstic

L'aparell domèstic d'osmosi inversa que hem utilitzat (*Fig.17*) per fer totes les pràctiques realitzades en aquest treball, està compost per una bomba de 19 W, un filtre de carbó, una membrana semipermeable enrotllada en espiral, els conductes i claus corresponents.

L'aigua que volem osmotitzar entra per un conducte (tub blanc) directe cap a la bomba que proporcionarà una pressió superior a la que surt de l'aixeta per tal d'aconseguir un millor rendiment.

Quan surt de la bomba, passa cap al filtre de carbó, on es neteja dels possibles excessos de clor i matèria orgànica. Una vegada acabada aquesta filtració, arriba a la membrana semipermeable que només deixa passar les molècules d'aigua i no les dels ions.

Hi ha dos sortides: una per on surt **l'aigua osmotitzada** (tub blau); i una altra per on surt **l'aigua de rebuig** (tub negre) amb una alta concentracions de sals.

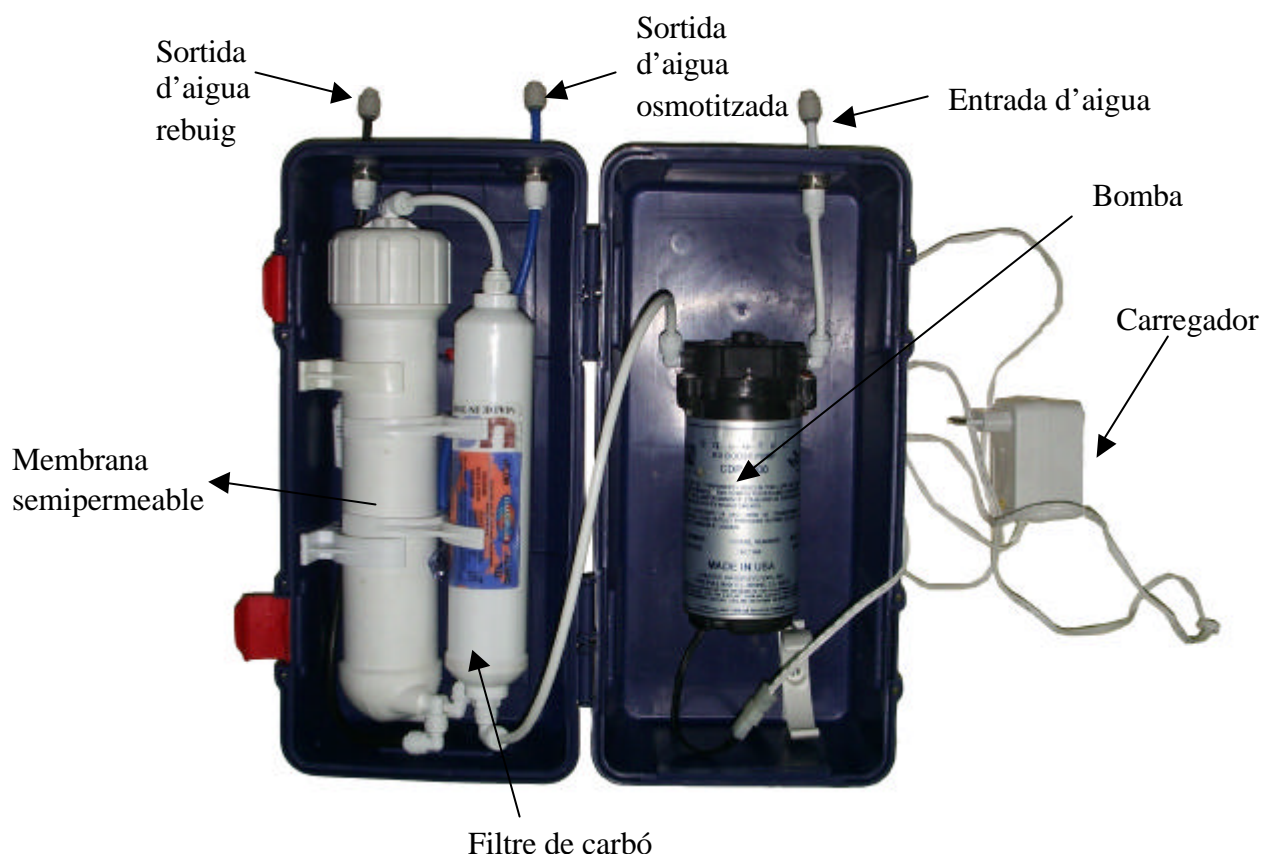


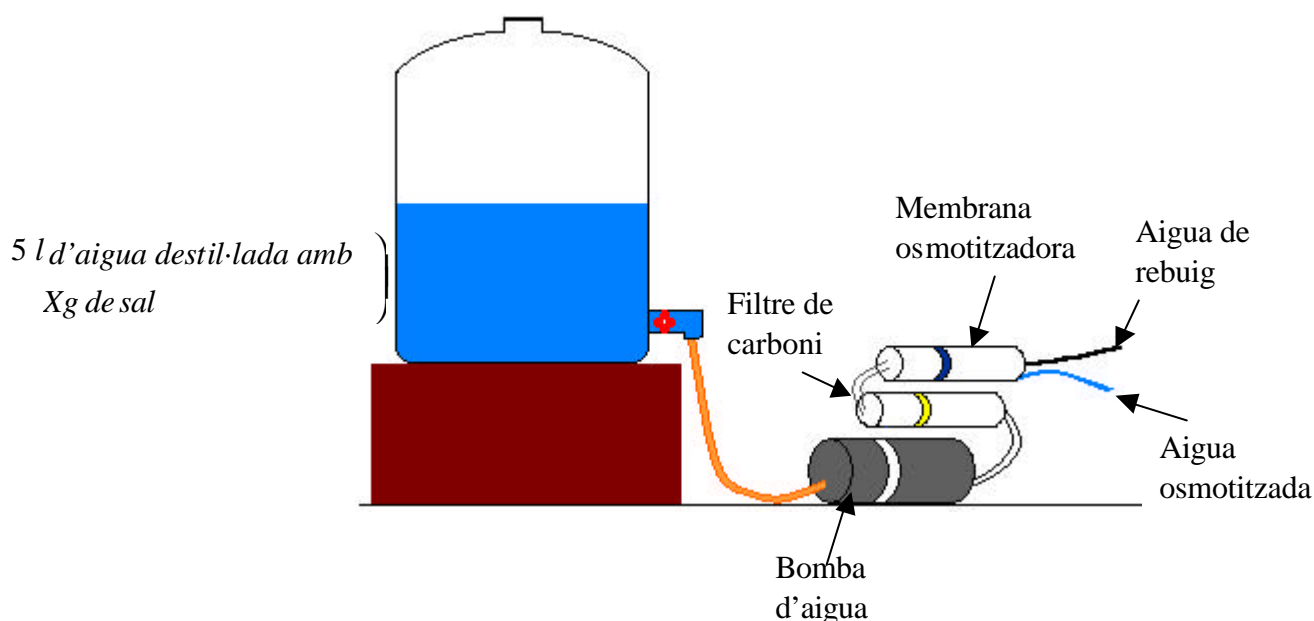
Fig.17. L'aparell domèstic d'osmosi inversa que hem utilitzat



- **Influència de la *temperatura* en l'eficiència de la membrana**

Les membranes funcionen en un rang de temperatures des de 0°C a 45°C. Segons la bibliografia el funcionament òptim es produeix a temperatures de 24 i 27 °C. Si la temperatura varia, augmenta o disminueix, hi ha una variació de producció, obtenint un rendiment més baix. Nosaltres hem realitzat un seguit d'experiències per mesurar la temperatura òptima d'una membrana enrotllada en espiral d'un equipament d'osmosi inversa domèstic.

Per veure aquesta influència vam realitzar el muntatge esquematitzat a la figura següent, en la que s'observen les diverses etapes per les que passa l'aigua. Primer, l'aigua surt del dipòsit de l'esquerra cap a la bomba, de la qual surt aproximadament amb una pressió de 4 atmosferes. Aquesta aigua es filtra i arriba a la membrana osmotitzadora de la qual surten dues vies d'aigua, una l'aigua de rebuig i l'altre l'aigua osmotitzada.



En aquesta experiència, hem osmotitzat aigües a diferents temperatures, mantenint constant la pressió i la salinitat. Es mesuren les conductivitats inicial, osmotitzada i de rebuig. Hem tingut en compte que per a una mateixa salinitat (quantitat de sal per unitat de volum), els valors de la conductivitat varien amb la temperatura. Aquest canvi obeeix la fórmula següent:

On K_{20° és la conductivitat a 20°C i K_t és la conductivitat a la temperatura t .

$$K_t = K_{20^\circ} [1 + 1.88 \cdot 10^{-2} (t - 20)]$$



Totes les aigües utilitzades en aquesta experiència són aigües d'aixeta, amb una temperatura inicial de 18°C i conductivitat 2.7mS/cm., que reduïda a 20°C valdria 2,8mS/cm. La conductivitat l'hem mesurada amb un conductímetre Multilog (*Fig.18*).



Fig.18 Multilog i els aparells de mesura de la temperatura i conductivitat

Per obtenir a l'inici les aigües a temperatures diferents, hem hagut de refredar-les en la nevera o escalfar-les amb un escalfador (*Fig.19*), controlant la temperatura constantment amb un termòmetre de l'equip Multilog:

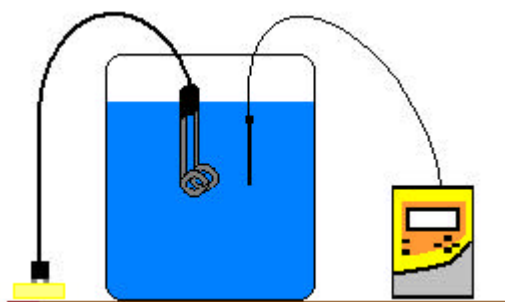
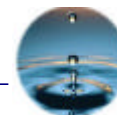


Fig.19 Escalfador

També hem mesurat les temperatures de les aigües osmotitzades i les de rebuig amb un termòmetre del mateix equipament Multilog, per a reduir aquestes mesures de conductivitat al valor que tindríem a 20°C.

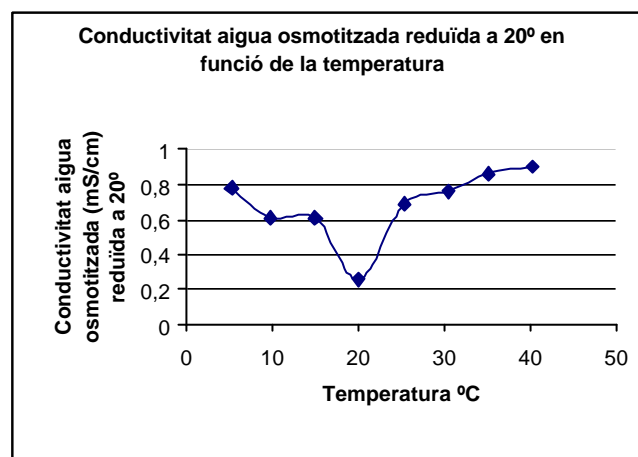
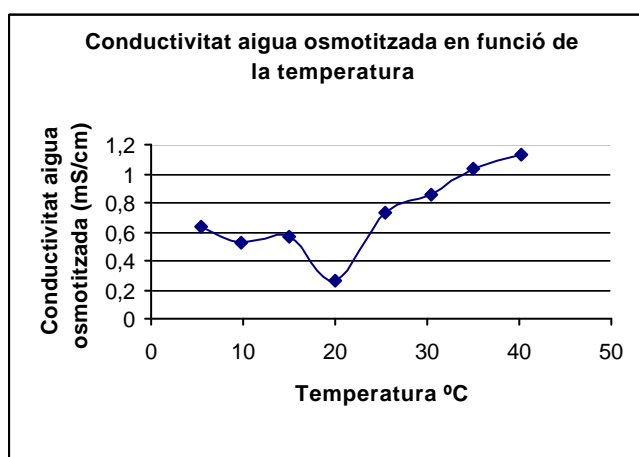


Els resultats de les mesures estan recollits en la següent taula:

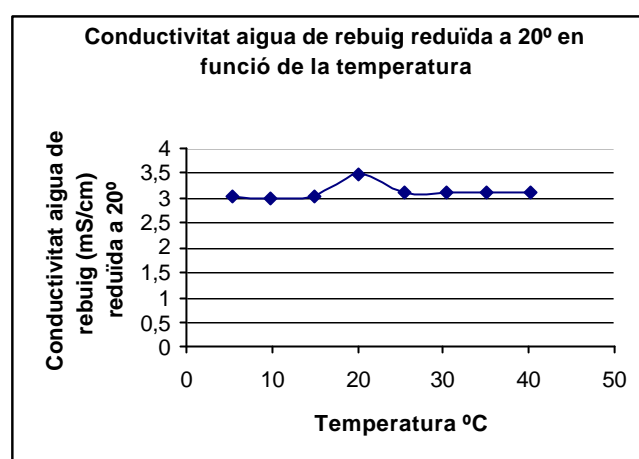
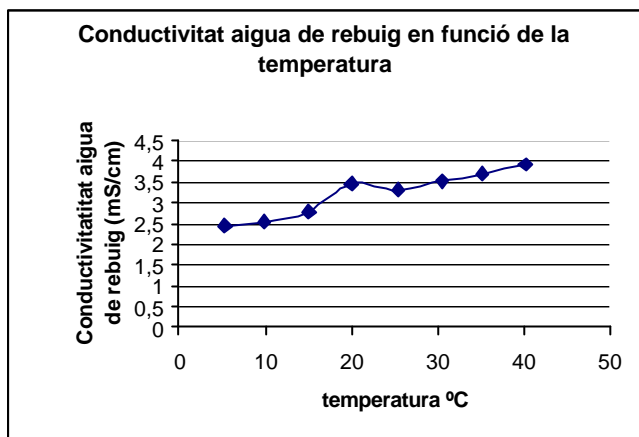
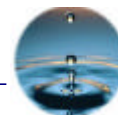
Temperatura inicial (°C)	Conductivitat (mS/cm) inicial	Conductivitat (mS/cm) inicial reduïda a 20°	Conductivitat (mS/cm) aigua osmotitzada	Conductivitat (mS/cm) aigua osmotitzada reduïda a 20°	Conductivitat (mS/cm) aigua de rebuig	Conductivitat (mS/cm) aigua de rebuig reduïda a 20°	% aigua osmotitzada /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

Per poder comparar salinitats de l'aigua hem de comparar abans les conductivitats a la mateixa temperatura de 20°C .

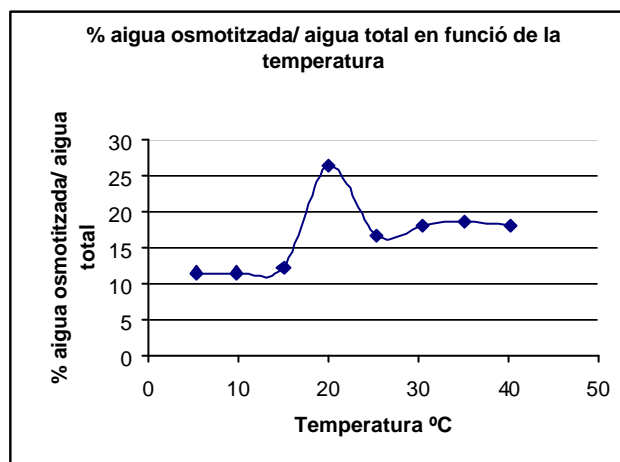
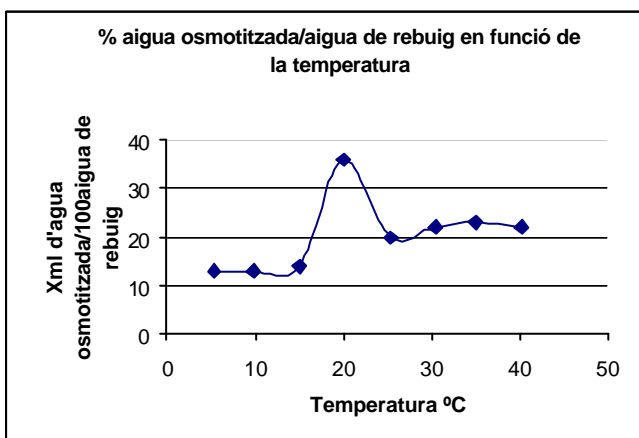
Hem fet les següents gràfiques:



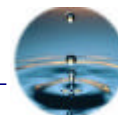
Tant en el gràfic de l'esquerra, conductivitat de l'aigua osmotitzada en funció de la temperatura, com en el de la dreta, en el que la conductivitat està reduïda a 20°C i per tant ja és proporcional a la salinitat, es veu que hi ha un mínim al voltant de 20°C, és a dir, és en aquesta temperatura on la membrana té un màxim d'eficiència, reduint la conductivitat a 0.26mS/cm, tal i com es veu en el segon gràfic.



De la mateixa manera, l'eficiència de la membrana també es veu reflectida en les gràfiques de la conductivitat l'aigua de rebuig. Hi ha un màxim de salinitat al voltant dels 20°C.



A més d'obtenir una millor qualitat d'aigua en quant a la salinitat, també s'obté un major rendiment de volum de la membrana a aquesta temperatura, que se situa al voltant del 25%.

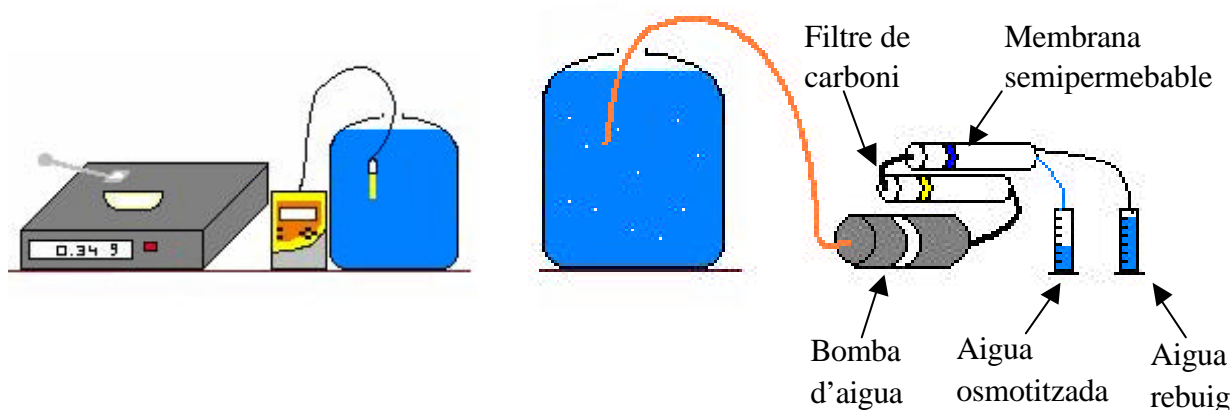


• Influència de la *concentració de sals* en l'eficiència de la membrana

El rendiment d'aquestes membranes també es veu influenciat per la conductivitat de l'aigua d'entrada. Les utilitzades en aparells domèstics funcionen aproximadament en un rang de conductivitats des de 0mS/cm fins a 20mS/cm. Per aquest últim valor, i amb les pressions de 6-7 atm amb les que treballem, la membrana ja no es eficaç.

Hem realitzat una sèrie d'experiències per veure el rendiment de la membrana al anar augmentant la salinitat, i per tant la conductivitat, de l'aigua d'entrada.

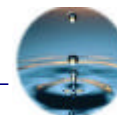
El muntatge utilitzat per la realització d'aquestes experiències és molt similar al de l'experiència anterior. Únicament anem variant les conductivitats de l'aigua d'entrada i les mesurem, tant la de l'osmotitzada com la de rebuig, a la sortida.



Per la realització d'aquesta experiència hem hagut d'afegir diferents quantitats de sals a l'aigua destil·lada, per tal d'aconseguir aigües amb distintes concentracions, mantenint sempre la temperatura i la pressió constants. Mesurem doncs, les conductivitats de l'aigua osmotitzada i la de rebuig i les comparem amb la inicial.



Fotografia de l'experiència de Influència de la concentració de sals en la membrana

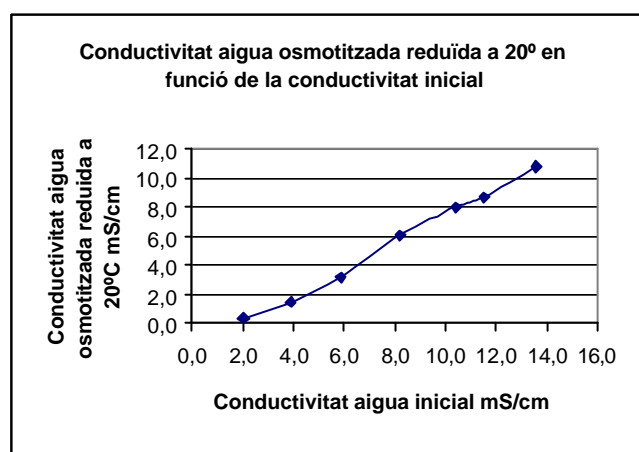
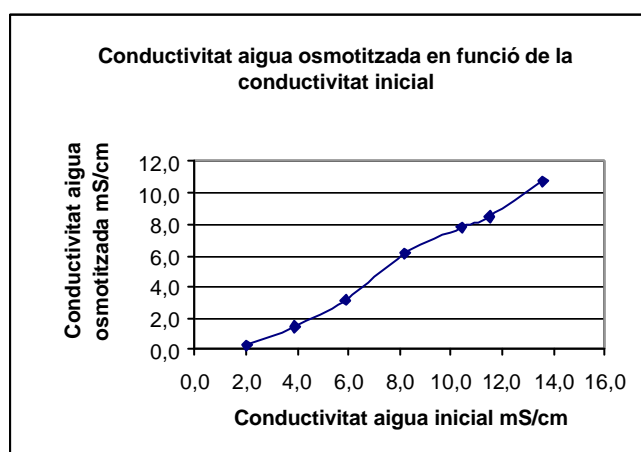


Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula següent:

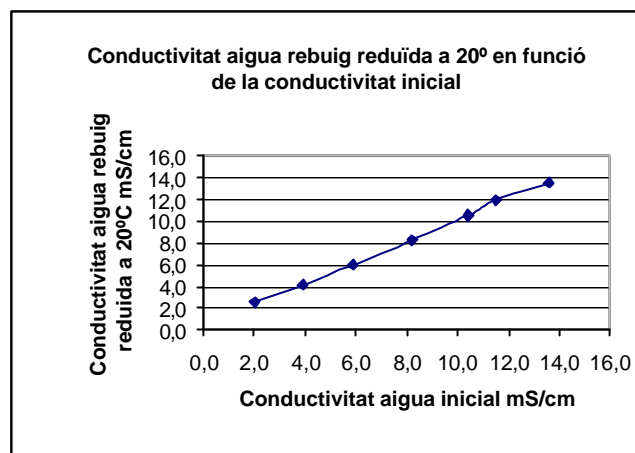
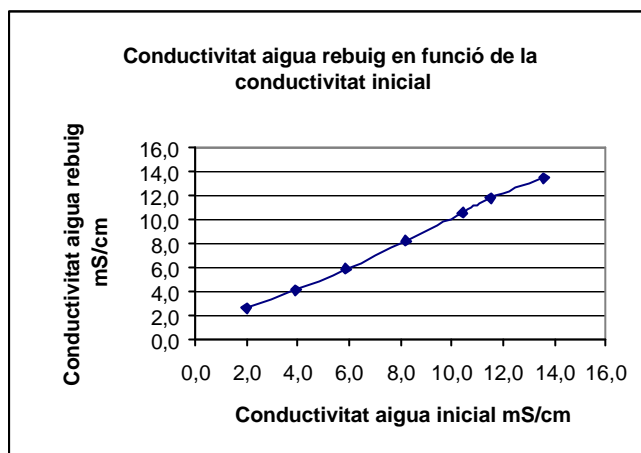
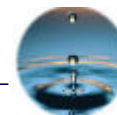
Conductivitat inicial mS/cm	Temperatura inicial °C	Conductivitat aigua osmotitzada mS/cm	Temperatura de sortida aigua osmotitzada °C	Conductivitat aigua osmotitzada reduïda a 20°C mS/cm	Conductivitat aigua de rebuig mS/cm	Temperatura aigua rebuig °C	Conductivitat reduïda aigua rebuig 20°C mS/cm	mL d'aigua 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

Al igual que en les experiències anteriors, reduïm la temperatura de totes les mostres al valor que correspondria a 20°C per tal de comparar les conductivitats.

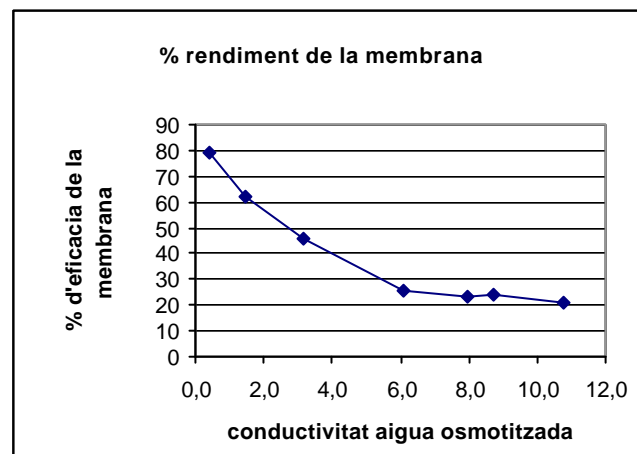
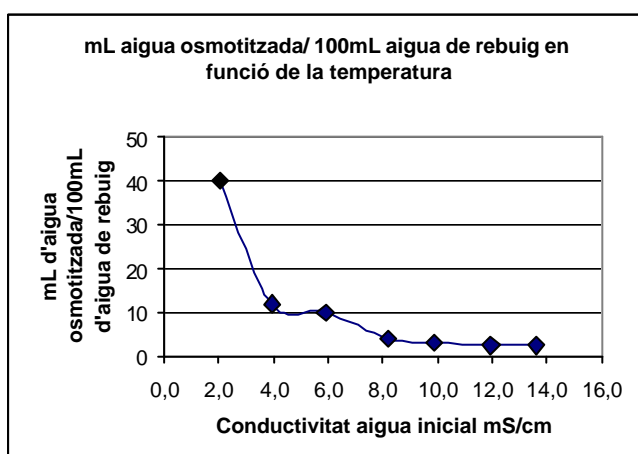
Les gràfiques realitzades són les següents:



En aquests gràfics, on es representa la conductivitat de l'aigua osmotitzada en funció de la conductivitat inicial, es veu com la conductivitat de l'aigua osmotitzada va augmentant segons augmenta la conductivitat d'aigua d'entrada.



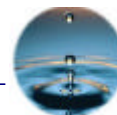
En aquests, en canvi, que representen la conductivitat de l'aigua rebutjada per l'osmosi en funció de la conductivitat inicial, s'observa clarament com a mesura que la conductivitat inicial augmenta, la de l'aigua rebutjada també ho fa, ja que la concentració de sals que hi surt a de ser igual o major a la que hi entra.



Si comparem com evolucionen els mL que s'obtenen d'aigua osmotitzada de cada 100mL d'aigua de rebuig en funció de la conductivitat de l'aigua d'entrada, veiem que a l'augmentar la concentració de l'aigua d'entrada, aquests disminueixen (gràfic de l'esquerra)

En el gràfic de la dreta es representa com el rendiment en % de l'aigua osmotitzada disminueix segons augmenta la conductivitat de l'aigua inicial.

És a dir, mentre menys sals contingui l'aigua d'entrada, el percentatge d'eliminació de sals és més alt.



• Influència de la *pressió* en l'eficiència de la membrana

Un altre factor que afecta a les membranes, a més a més de la temperatura i la concentració de sals a l'aigua inicial, és la pressió amb la que l'aigua arriba a les membranes.

Per aquest motiu, en els aparells domèstics és necessària l'existència d'una bomba que augmenti la pressió de l'aigua.

Hem realitzat una sèrie d'experiències per veure com el rendiment varia a mesura que la pressió augmenta.



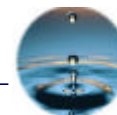
El muntatge utilitzat per la realització d'aquestes experiències és molt similar al de l'experiència anterior. En aquest cas, hem mantingut la temperatura i la conductivitat



de l'aigua inicial a uns valors constants, i la pressió l'hem anat disminuint gràcies a un regulador de pressió (*Fig.20*) que ens a permès veure com aquest factor és, també, molt important a l'hora de analitzar el rendiment de la membrana.

Aquest regulador l'hem col·locat entre la sortida de la bomba i el filtre de carbó

Fig.20. Regulador de la pressió

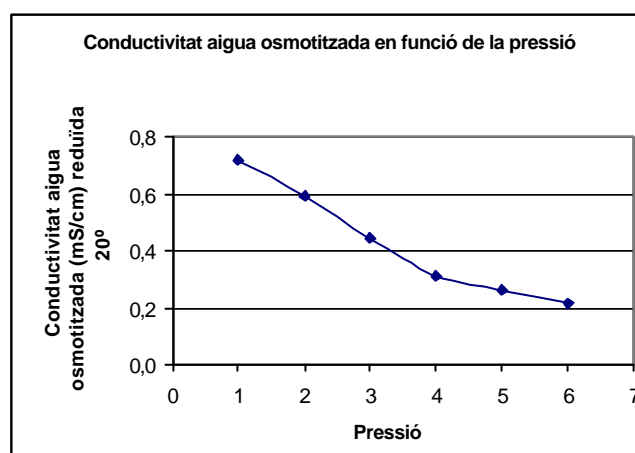
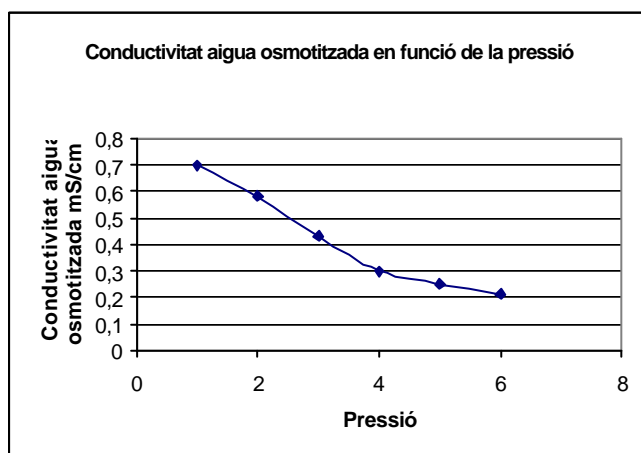


Hem recollit els resultats a la taula següent:

Pressió (bar)	Conductivitat inicial mS/cm	Conductivitat aigua osmotitzada mS/cm	Temperatura de sortida aigua osmotitzada °C	Conductivitat aigua osmotitzada reduïda a 20°C mS/cm	Conductivitat aigua de rebuig mS/cm	Temperatura de sortida aigua rebuig °C	Conductivitat aigua rebuig reduïda a 20°C mS/cm	mL d'aigua osmotitzada /100mL aigua de rebuig	% Rendiment
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

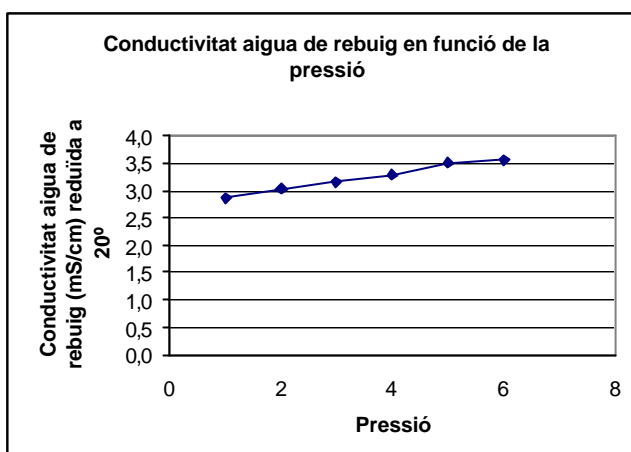
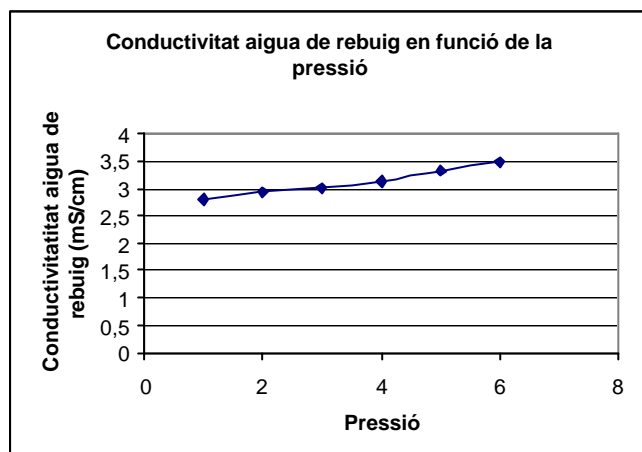
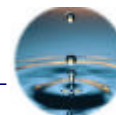
Per poder comparar els resultats, i com ja hem fet als altres gràfics, hem reduït les conductivitats al valor que li correspondria a la temperatura de 20°C.

I gràcies a aquests resultats, hem elaborat els gràfics següents:



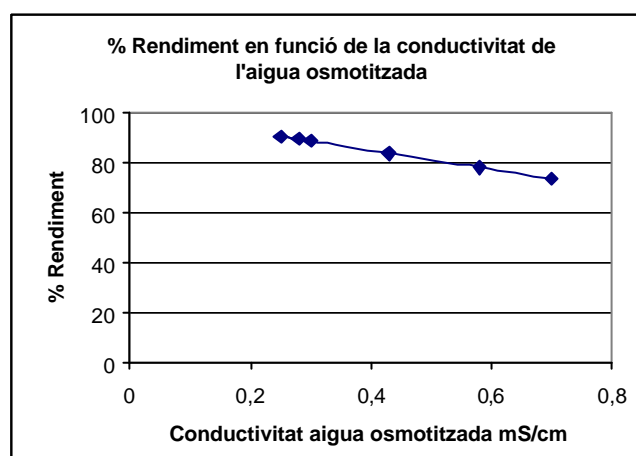
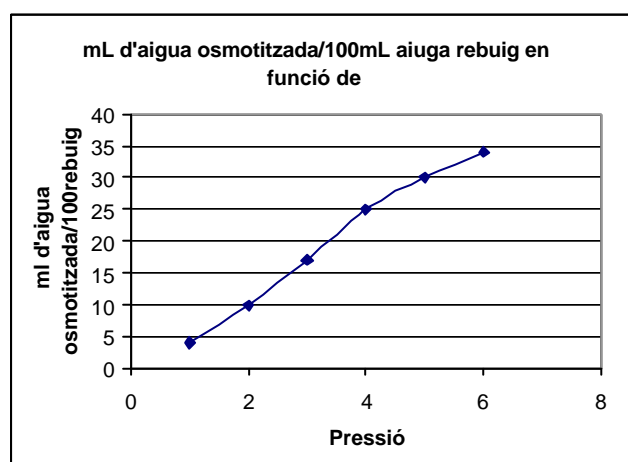
En aquests dos gràfics, on es representa la conductivitat de l'aigua osmotitzada en funció de la pressió, podem observar ben clarament com, a mesura que la pressió augmenta, la concentració de sals en l'aigua osmotitzada disminueix.

Es a dir, a major pressió, més eficàcia de la membrana.



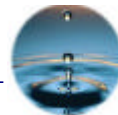
En aquestes gràfiques, en canvi, està representada la conductivitat de l'aigua rebutjada per l'osmosi en funció de la pressió.

Lògicament, com que a major pressió obtenim un aigua amb una conductivitat més baixa, la conductivitat de l'aigua de rebuig ha d'augmentar, com es veu a les gràfiques.



Normalment la productivitat és major quan més gran sigui la pressió exercida a l'aigua, i tal com veiem al gràfic de l'esquerra, que a major pressió, s'obtenen més mL d'aigua osmotitzada per cada 100mL d'aigua rebutjada. Encara que, al llarg del temps un augment de la pressió fa compactar la membrana, cosa redueix el cabal.

En el gràfic de la dreta es representa com el rendiment en % de l'aigua osmotitzada disminueix segons augmenta la pressió de l'aigua d'entrada, i per tant, augmenta la conductivitat de l'aigua osmotitzada.



Influència del pH en l'eficiència de la membrana

El rebuig de les sals de les membranes depèn del pH, ja que cada material té un pH al que el rebuig és màxim. No totes les membranes reaccionen igual a la variació de pH de l'aigua.

Les membranes d'acetat de cel·lulosa són molt sensibles a aquestes variacions, amb la qual cosa només poden funcionar amb valors de pH de 4 a 7 de forma continua.

Les membranes utilitzades a les experiències, és a dir, de poliamida, funcionen entre valors de pH de 4 fins a 11 i durant períodes curts suportant valors de pH de 3 o de 12.

Normalment hi ha un valor òptim de pH, equivalent, aproximadament, a 7 al que la membrana té un major rebuig de sals i per tant convé treballar al voltant d'aquests valors.