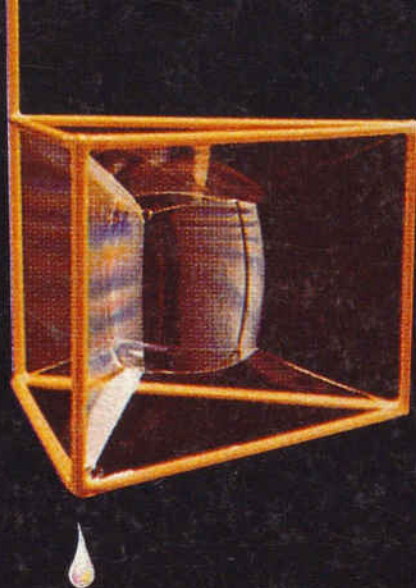




EL SABÓN COMO AFINA EN LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA Y DE LA QUÍMICA

ELENA SEBA
RAMON CANELA
ADOLF CORTEL
ADRIÀ ROCA

ice

Institut de Recerca de l'Educació
Universitat de Barcelona
Col·lecció Documents A. 65



394

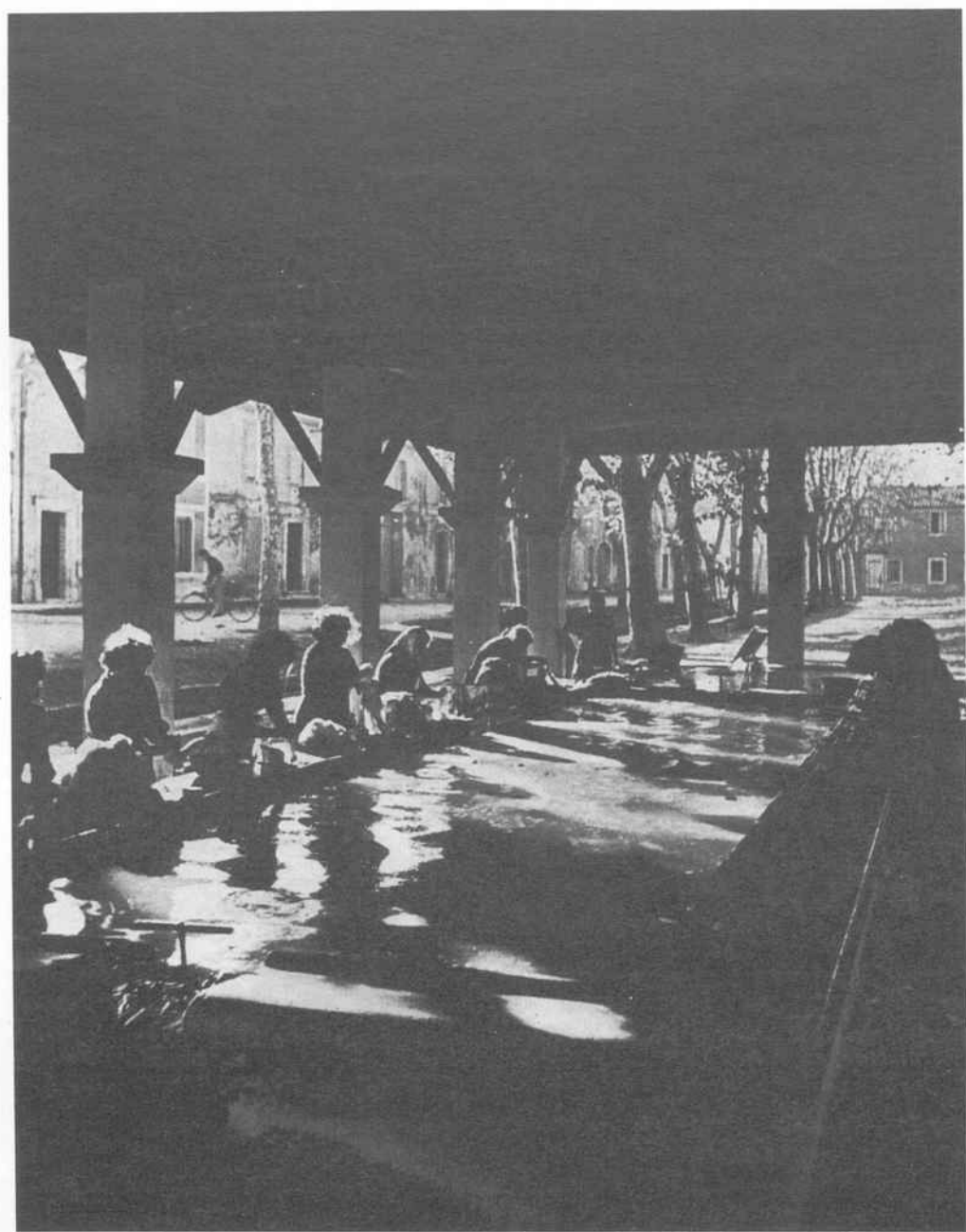
**EL SABÓ COM A EINA EN LA DIDÀCTICA DE LA FÍSICA I
DE LA QUÍMICA**



PUBLICACIONS I EDICIONS DE LA
UNIVERSITAT DE BARCELONA

1984

Col·lecció Documents A-65



**EL SABÓ COM A EINA EN LA DIDÀCTICA DE LA FÍSICA I
DE LA QUÍMICA**

Ramón Canela i Garayoa

Adolf Cortel i Ortuño

Adrià Roca i Trescents

Elena Seba i Font

publicacions
edicions
universitat
de barcelona



☺ Edicions de la Universitat de Barcelona

Avgda, de Xile, s/n.

Barcelona - 28

Publicacions de l'I.C.E.

Universitat de Barcelona

Director: Miquel Siguan

I.S.B.N.: 84-7528-126-5

Dipòsit Legal B. - 10.672 - 84

Disseny portada: Teresa Jordà

Imprimeix: **banagráfica** s.a.

Avgda. Diagonal, 253

Barcelona - 13

Març de 1984

ÍNDIX

PRESENTACIÓ	7
1. INTRODUCCIÓ	9
2. PREPARACIÓ D'UN SABÓ I D'UN DETERGENT NO SABONÓS	17
2.1. Preparació casolana de sabó	18
2.2. Preparació d'un detergent no sabonós	20
2.3. Reacció de formació de sabó: saponificació. Reacció de l'oli de ricí amb àcid sulfúric	22
2.4. Preparació industrial de detergents	24
3. EXEMPLES DE REACCIÓ SENZILLA D'ESTERIFICACIÓ I DE SAPONIFICACIÓ	27
3.1. Reacció d'esterificació. Obtenció d'acetat d'etil	28
3.2. Reacció de saponificació. Saponificació de l'acetat d'etil	29
4. ESTUDI DE DIVERSES CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES DELS DETERGENTS	31
4.1. Per què s'afegeix sal a fi de separar i purificar el sabó?	33
4.2. Obtenció d'àcids grassos a partir del sabó	33
4.3. Estudi de la duresa de l'aigua. Duresa temporal i permanent	33
4.4. Determinació del perborat contingut en un detergent de rentar roba	34
5. PEL·LÍCULES I BOMBOLLES	37
5.1. Obtenció de pel·lícules i bombolles	38
5.2. La pressió dins d'una bombolla	42
5.3. Tensió superficial	45
5.4. Estructura de les dissolucions i pel·lícules de sabó	49
5.5. Per què es veuen acolorides les pel·lícules i bombolles de sabó?	51
BREU VOCABULARI	57
BIBLIOGRAFIA	59

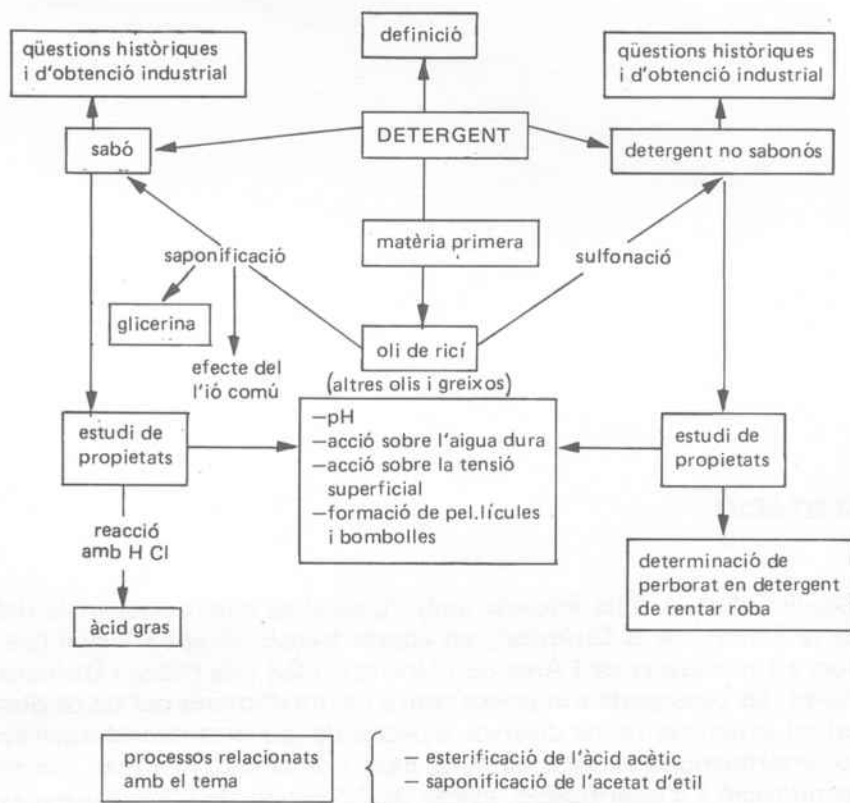
PRESENTACIÓ

Seguint dins la línia iniciada amb "L'espelma com a eina en la didàctica de la Física i de la Química", en aquest treball, dirigit a l'igual que els anteriors als professors de l'Àrea de Ciències d'EGB i de Física i Química de Batxillerat, els detergents són presos com a centre d'interès per tal de plantejar l'estudi experimental de diversos aspectes de la Física (tensió superficial, pressió, interferències de raigs de llum, etc.) i de la Química (pH, reaccions de saponificació i d'esterificació, efecte de l'ió comú, etc.). La major part de les experiències proposades es poden fer amb materials i productes fàcilment assequibles, molts d'ells casolans o que es troben als laboratoris escolars més senzills i creiem que pot ser adequat plantejar-les com a petites investigacions que hauran d'efectuar els alumnes, en alguns casos a casa seva.

No es pretén que el conjunt d'experiències descrites es dugui a terme íntegrament al llarg d'una sèrie de sessions teòriques o pràctiques consecutives, sinó que cadascuna, aïlladament, pugui servir per a il·lustrar aspectes concrets de la Física o de la Química; de totes maneres, creiem que durant el curs l'estudi d'un material d'ús comú des d'un punt de vista científic pot fomentar l'interès de l'alumne per la Ciència i ajudar-lo a comprendre les interrelacions i dependències entre les diferents ciències.

Amb aquest treball no es considera que s'hagin recopilat i descrit totes les possibilitats que els detergents ofereixen quant a la didàctica de la Física i de la Química, sinó solament les que han sorgit del treball amb alumnes de diferents nivells i de la consulta de la bibliografia esmentada al final.

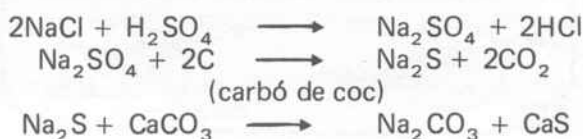
Els diferents aspectes que tracta el present treball es resumeixen en el següent esquema:



1. INTRODUCCIÓ

El sabó fou el primer detergent preparat i emprat per l'home; el seu ús és molt antic: ja l'escriptor llatí Plini (24 dC-79 dC) en parla, si bé aquell sabó, fabricat amb seu i cendres, cal considerar-lo com un precursor de l'actual. A les ruïnes de Pompeia hom ha trobat sabó, i se sap que abans de l'any 200 a França es preparava una substància "que netejava". En el segle IX hi havia fabricants de sabó en algunes ciutats de la costa mediterrània (Marsella, Gènova, etc.), els quals empraven oli d'oliva com a matèria primera, però l'escassetat de bases (sosa, potassa) feia que el sabó fos un article car i poc abundant; aquesta és la raó que s'al·lega per justificar que en el segle XVI la reina Elisabet d'Anglaterra sols es banyés tres vegades al mes.

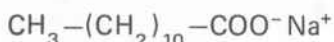
El descobriment per LeBlanc, metge francès, de la possibilitat d'obtenir sosa (carbonat sòdic: Na_2CO_3) a partir de la sal, segons la seqüència de reaccions



permeté obtenir lleixius concentrats que foren la base del gran impuls que adquirí la indústria sabonera a partir de la segona meitat del segle XIX.

Hi ha diverses hipòtesis sobre l'etimologia del mot *sabó*. Un possible origen, proposat pel químic francès, Girardin (del segle passat), seria la paraula cèltica *sap*, que vol dir cos gras; altres autors creuen que aquest mot ve de la ciutat de Savona, on, en el segle XV, s'hi establí la primera fàbrica de sabó amb mètodes racionals, quasi iguals que els actuals. Una llegenda atribueix l'origen de la paraula *sabó* al nom d'un turó que hi ha als afores de Roma, anomenat Sapo, on cremaven els animals sacrificats. La reacció de les cendres amb els greixos animals originaria el sabó. Aquest, quan plovia, era arrossegat rost avall per les aigües, les quals, per aquesta raó, rentaven més bé que les procedents d'altres llocs.

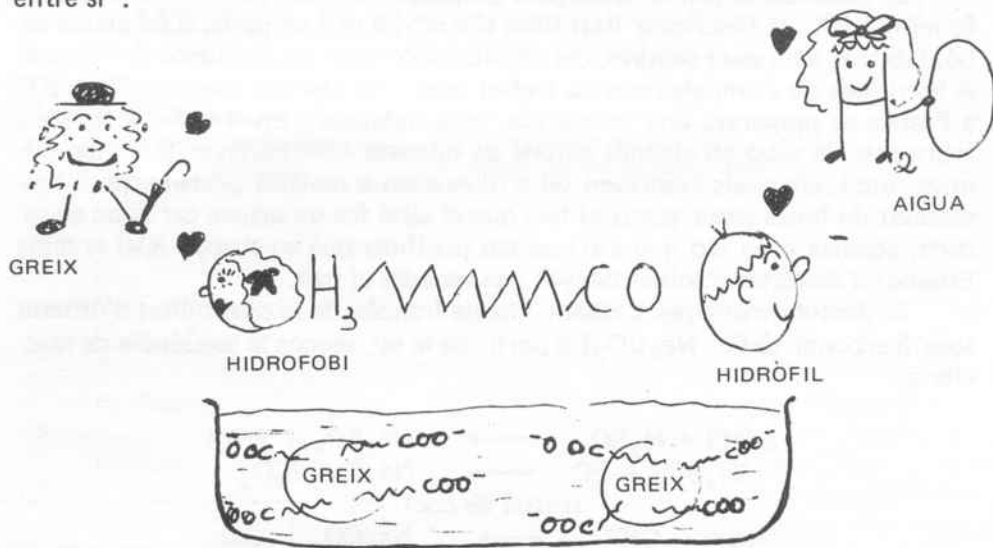
Els detergents i, per tant, els sabons, estan formats per molècules que tenen un grup hidrocarbonat hidrofobi (que repel·leix l'aigua) i un o més grups polars, hidròfils (afins a l'aigua). Generalment, els sabons són mescles de sals alcalines, amòniques o alquilamòniques d'àcids grassos de 12 o més àtoms de carboni.



laureat sòdic

grup grup
hidrofobi hidròfil

El grup hidròfil d'aquestes molècules s'uneix a l'aigua, mentre que l'hidrofobi atreu les molècules de greix o d'oli. El resultat és que les partícules de greix queden dins d'un embolcall solubilitzat en aigua. L'acció dels detergents, i del sabó com a exemple d'aquestes substàncies, segueix la regla general, que pot enunciar-se breument dient: "substàncies similars es dissolen entre si".

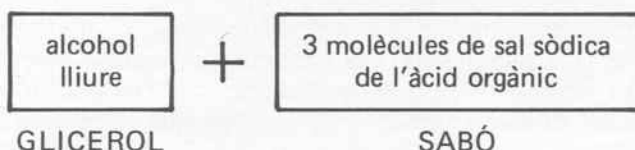


El procés bàsic en l'obtenció de sabons és la hidròlisi dels greixos i els olis, que són derivats (esters) dels àcids orgànics i de la glicerina, amb hidròxid sòdic o potàssic. Els greixos es "trenquen" i alliberen els àcids carboxílics, que reaccionen amb la sosa o la potassa càustiques per a donar les sals, que són els sabons.

Un greix o un oli típic pot considerar-se format per molècules del tipus:

alcohol orgànic (glicerol)	àcid orgànic
	àcid orgànic
	àcid orgànic

que en reaccionar amb una base (sosa o potassa) donen:

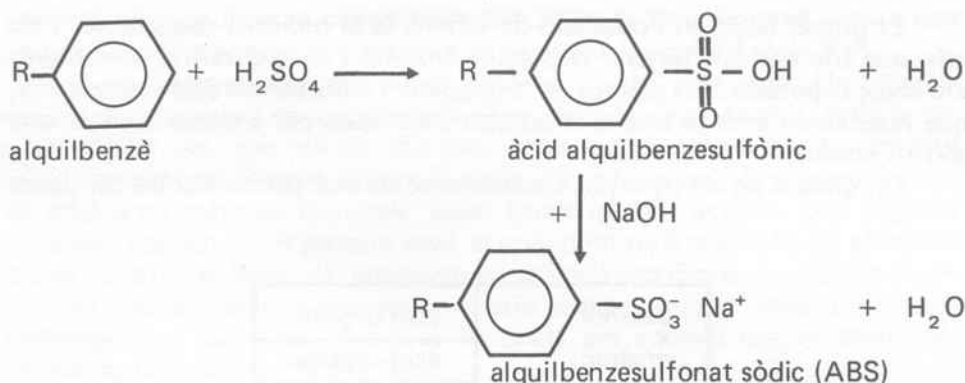


La reacció descrita rebé el nom de *saponificació*, o sigui procés de formació de sabó. Posteriorment, aquest nom s'aplicà, en química orgànica, a tots els processos en què a partir d'un ester s'obtenien els seus components.

Com ja s'ha explicat, els primers fabricants de sabó feien bullir una mescla de sèu (greixos animals), cendra (conté carbonat potàssic) i aigua. En evaporar-se l'aigua diverses vegades, es produïa la descomposició del greix que donava l'àcid gras, el qual reaccionava amb el carbonat, i es formava el sabó.

Durant molt de temps, pràcticament fins els anys 1940-50, els únics detergents usats foren els sabons, però presenten l'inconvenient de no ser efectius en aigües dures (que contenen ions de metalls pesats) o en medi àcid, ja que es formen precipitats que s'adhereixen als teixits que hom vol rentar. El descobriment que la reacció de l'àcid sulfúric amb alguns hidrocarburs i alcohols donava un àcid d'acció similar a la dels àcids grassos, però sense l'inconvenient de precipitar en presència de ions metàl·lics o d'àcid, va resoldre aquest problema. Aviat es van introduir els "detergents sintètics", que en poc temps passarien a ocupar una posició preponderant respecte del sabó.

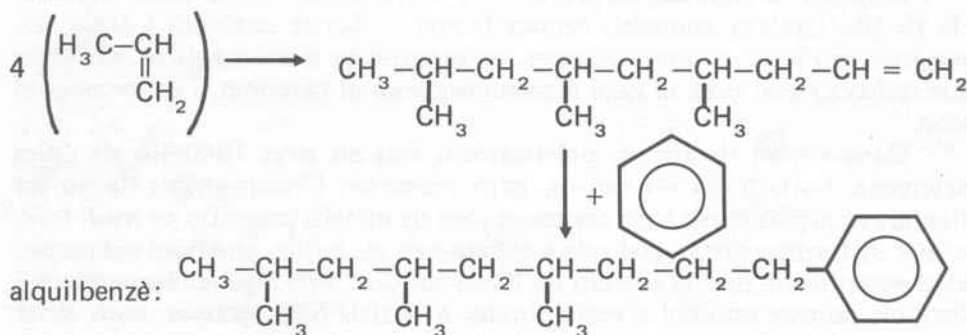
Un esquema dels processos de preparació d'un detergent sintètic és el següent:



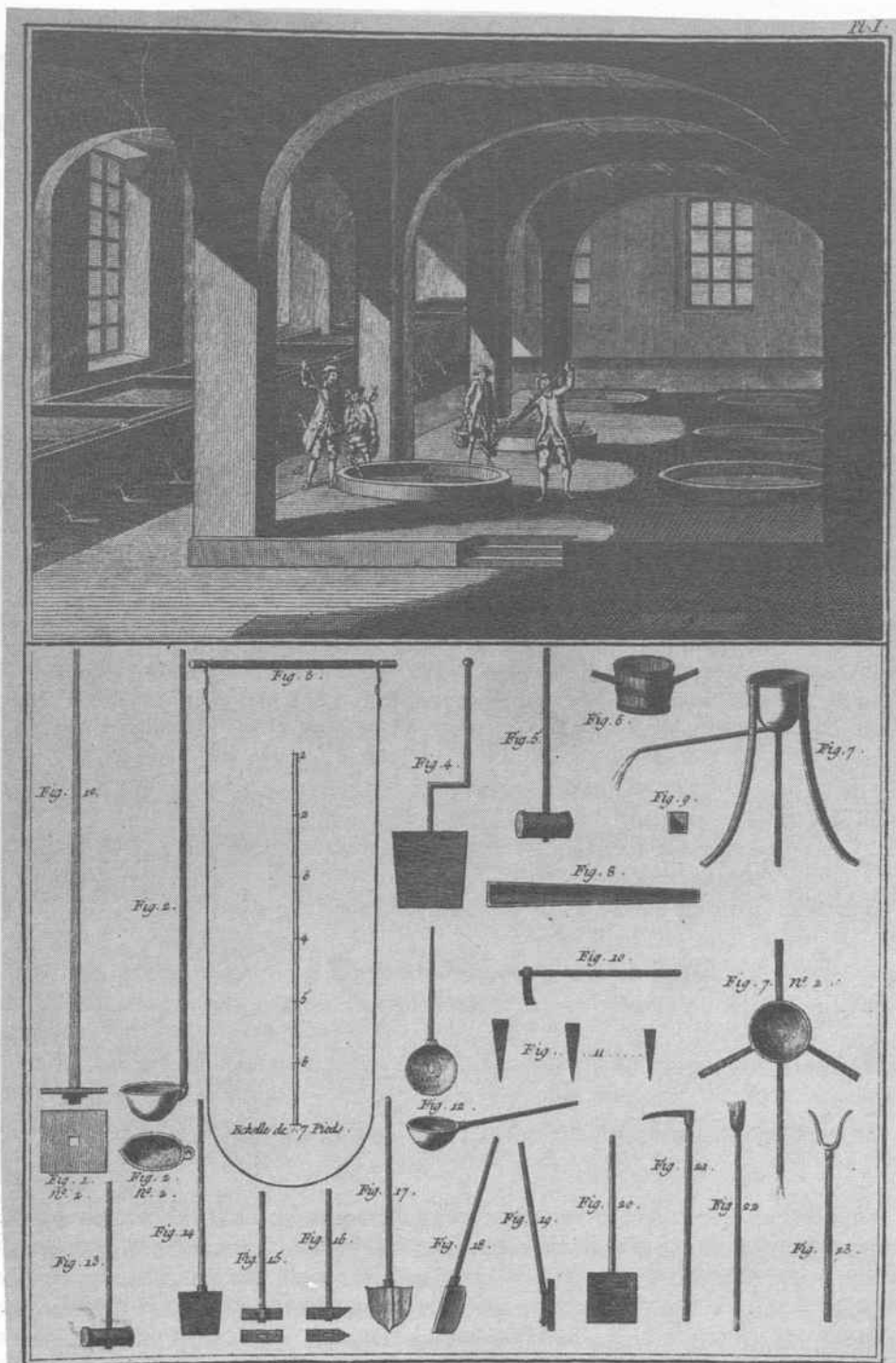
Els reactius necessaris per a preparar aquests detergents són parafines normals, que s'obtenen a partir de petroli, benzè, àcid sulfúric i hidròxid sòdic, tots ells de baix preu. El subproducte del petroli destinat a produir detergents ha de ser un hidrocarbur d'una longitud de cadena carbonada definida: si és massa curta, donarà un producte molt soluble en aigua, però poc en greixos, i si és massa llarga, passarà el contrari.

L'èxit inicial dels detergents sintètics fou seguit de greus problemes relacionats amb la seva eliminació. Les molècules d'aquests detergents es descomponien molt lentament i no eren afectades per l'oxigen ni les bactèries: és a dir, no eren biodegradables; això implica que, una vegada utilitzats, s'acumulaven a rius i llacs i al mar. Així s'arribà a una situació tal, que alguns rius i llacs d'Estats Units de Nord-Amèrica es convertiren en veritables "safareigs gegants".

En començar els anys seixanta s'obtenien alquilbenzens a partir de benzè i d'un tetràmer o pentàmer del propilè ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) com a grup alquílic de baix preu:

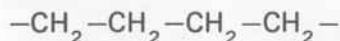


El resultat era un compost amb moltes cadenes alquílques laterals que no podia ser degradat per les bactèries i, per tant, s'acumulava a la superfície de l'aigua dels rius, els llacs i el mar.

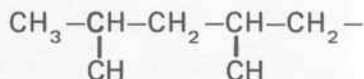


Utensilis emprats antigament en la fabricació de sabó.

La solució d'aquest problema arribà quan es va descobrir que les cadenes hidrocarbonades lineals (anàlogues a les del sabó tradicional) eren fàcilment degradades per bacteries, raó per la qual, avui dia, a molts països els únics detergents autoritzats són els que contenen molècules hidrocarbonades no ramificades, és a dir, els "biodegradables".



cadena biodegradable

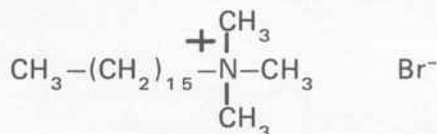


cadena NO biodegradable

Els detergents esmentats fins ara, inclòs el sabó, contenen un component actiu que és un ió de càrrega negativa (anió): $\text{R}-\text{COO}^-$ i $\text{R}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3^-$. També hi ha detergents el component actiu dels quals és un ió positiu (catió), i d'altres que no és iònic. D'acord amb aquesta característica, es poden distingir quatre classes de detergents:

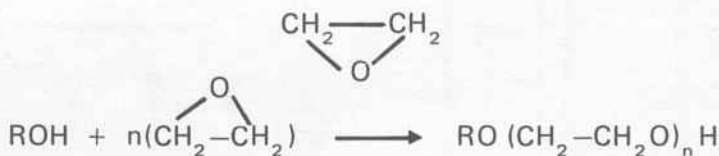
Aniònics: Els exemples ja esmentats.

Catiònics: Són principalment sals d'amoni quaternari de càrrega iònica positiva, i per això han estat anomenats "sabons invertits":



Aquestes substàncies tenen propietats bactericides i el material rentat queda més tou.

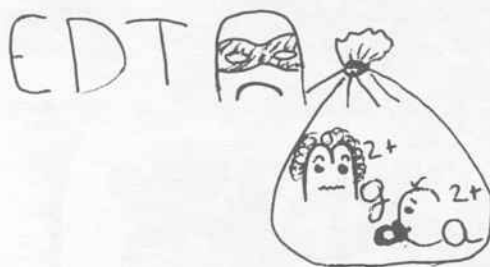
No iònics: Els més emprats són derivats de l'òxid d'etilè:



Anfòters: Contenen simultàniament grups catiònics i aniònics.

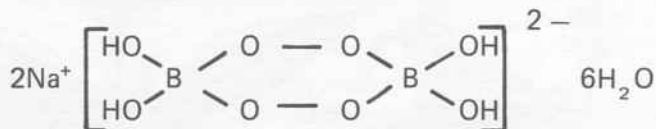
Amb els detergents esmentats no basats en el sabó s'elimina el problema de la precipitació de les sals de calci, magnesi i ferro, i d'altres cations de metalls pesats. Malgrat això, aquests ions poden interferir l'acció detergent per formació d'ions complexos, solubles en aigua, amb el sulfonat. Per aquest motiu, els detergents comercials que contenen sulfonats tenen "agents quelants", substàncies que s'uneixen als ions i els "segresten", de manera que

no puguin impedir l'acció detergent. Un dels agents "segrestadors" més efectiu és l'EDTA (sal sòdica de l'àcid etilendiamintetracètic), però és massa car per a emprar-lo comercialment.



Els fosfats també són agents quelants eficaços, i presenten els avantatges de ser barats, fertilitzants i compatibles amb sistemes biològics. Malauradament, a les zones molt poblades, els rius i els llacs ja estan massa fertilitzats a causa de les grans quantitats de fosfats que hi arriben, fet que provoca la ràpida reproducció de les algues, les quals consumeixen la major part de l'oxigen dissolt a l'aigua i fan impossible que hi hagi vida, fenomen que trenca l'equilibri ecològic. Per això, a molts països s'ha limitat el contingut de fosfats als detergents. La missió "segrestant" dels fosfats pot ser realitzada pels silicats solubles i el carbonat sòdic. El baix preu d'aquest darrer fa que s'utilitzi també per donar el pes i el volum desitjats als detergents comercials, i per mantenir nivells adequats de pH.

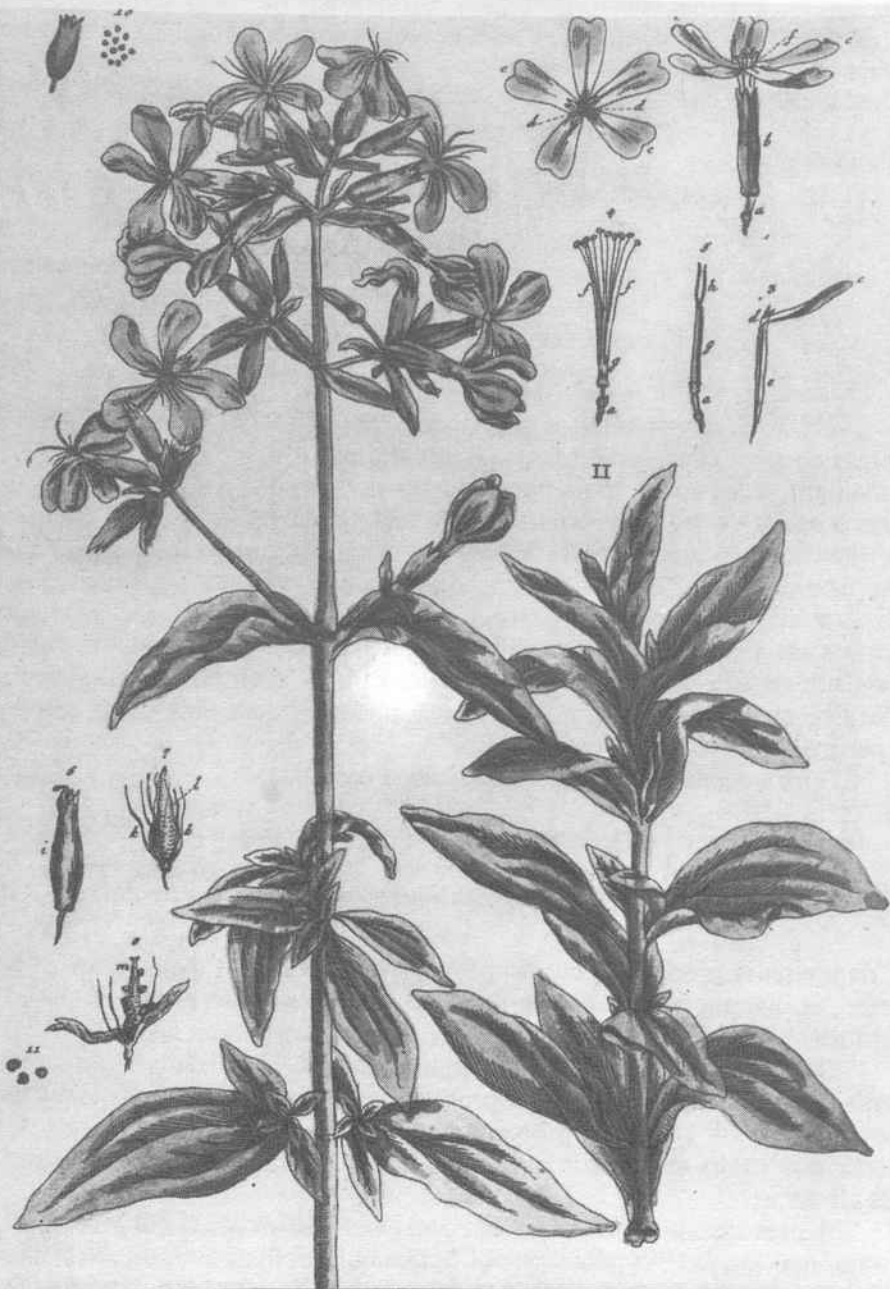
Com a agent blanquejant s'addiciona perborat:



L'ús d'aquest producte s'ha de limitar en zones on les aigües s'aprofitin per regar, ja que els compostos derivats del bor tenen efectes nocius per a l'agricultura.

De vegades hom relaciona equivocadament l'eficàcia d'un detergent amb la quantitat d'escuma que produeix a l'aigua. Per això, els fabricants de detergents molt sovint afegeixen agents escumants als seus productes. Cal advertir que molts detergents que no fan escuma a l'aigua són tan eficaços com els altres.

A part dels additius esmentats, als detergents també s'hi afegeixen: perfums (màxim, 0,1%), substàncies òpticament actives que són absorbides pel teixit i reflecteixen llum visible de tons blaus, de manera que la roba sembla "més blanca" i "molt neta" encara que no ho sigui del tot, i d'altres substàncies destinades a mantenir les partícules en suspensió a l'aigua i evitar que es dipositin sobre els teixits.



*Saponaria
vulgaris.*

1-5. Blume.
6-9. Frucht.
10.11. Same.

Seifen Kraut.

2. PREPARACIÓ DE SABÓ I D'UN DETERGENT NO SABONÓS

En aquest apartat s'exposa com poden obtenir-se de manera senzilla el sabó i un detergent no sabonós al laboratori escolar. És interessant observar que ambdós productes poden obtenir-se a partir d'una mateixa substància (oli de ricí), però tractada de manera diferent (amb NaOH s'obté sabó, i amb H_2SO_4 , el detergent no sabonós). També s'exposa breument què són i com s'obtenen els sabons i els detergents comercials actuals. Respecte al sabó, s'indica la possibilitat de donar-li colors o olors agradables; és un procés senzill i atractiu per als alumnes, però forma part més d'una classe d'art o d'estètica que científica, si bé aquest últim aspecte pot ser considerat a partir dels inconvenients que es presenten en intentar de donar color amb sals metàl·liques.

L'explicació dels processos de saponificació i d'esterificació es clou amb la descripció de les reaccions de l'acetat d'etil amb sosa i de l'àcid acètic amb l'etanol, segons les quals es veu clarament que ambdós processos són oposats.

Tant en el cas de la saponificació de l'oli o de l'acetat d'etil com en el de l'esterificació de l'etanol, cal aprofitar els processos per tal que l'alumne arribi a distingir en cada moment si només es tracta d'una mescla de subs-

tàncies o bé si té lloc una reacció química entre elles. Les diferències són fàcils d'apreciar, ja que els productes de les reaccions tenen propietats molt diferents de les dels reactius.

Una qüestió complementària d'aquest apartat és la recuperació de la glicerina, producte no aprofitat antigament quan s'obtenia sabó, però que avui té un valor elevat.

En les reaccions que es descriuen, i a fi de donar idea de les proporcions de reactius, s'indiquen unes quantitats a partir de les quals s'obté suficient producte per a dur a terme les experiències que es proposaran en apartats posteriors; de totes maneres, segons el temps disponible (o la quantitat de producte final que es vulgui obtenir), poden variar-se.

Mitjançant algunes experiències proposades a l'apartat següent es veuran clarament les diferències entre el sabó i el detergent no sabonós.

2.1. Preparació casolana de sabó

Les matèries primeres per a obtenir sabó són: oli i/o greixos i dissolucions de sosa o potassa càustiques.

Si es fa servir oli d'oliva, el sabó resultant és més refinat que si s'empren olis o greixos usats anteriorment per a fregir, encara que eren aquests els que hom aprofitava, i en alguns llocs continua aprofitant, per fer el sabó a casa. Si partim d'oli de ricí, podrem comprovar que proporciona un bon sabó i, més endavant, ens servirà per a obtenir un detergent no sabonós.

Tant l'oli de ricí, com la sosa (NaOH) i la potassa (KOH) càustiques les trobarem a ca l'adroguer, per bé que si volem seguir la recepta primitiva no ens cal ni sosa ni potassa; en comptes d'aquests productes emprarem cendres vegetals. La utilització de potassa fa que el sabó sigui més tou i suau que si es fa servir sosa.

Les quantitats de greix (o bé oli), sosa (o potassa) i aigua seran, aproximadament:

100 g d'oli (aproximadament 130 cm³)
70 g de sosa
140 g (cm³) d'aigua

Aquestes proporcions no són "estequiomètriques", perquè hi ha un gran excés de sosa. Això fa que els temps de reacció siguin més curts.

Si volem que l'experiència de preparar sabó duri una hora, aproximadament, partirem de quantitats de l'ordre de la meitat, com a màxim, de les indicades abans. El procediment és: Posar l'oli o el greix en un recipient que pugui escalfar-se i afegir-hi la dissolució formada amb la sosa i l'aigua. Aquesta operació es fa en fred, però si s'empren greixos sòlids cal escalfar-los a fi que es fonguin i es mesclin amb la sosa.

La mescla obtinguda s'escalfa al "bany maria" o bé directament al foc, procurant en aquest cas que no arribi a bullir per tal d'evitar esquitxos, i s'ha de remenar sovint. Una temperatura adequada a fi que el procés sigui ràpid és de 80 a 90° C.

Periòdicament, cada 5 o 6 minuts, es treu una gota de la mescla, amb la mateixa vareta que serveix per a remenar, i es deixa caure dins d'un tub d'assaig (o un vas) que contingui aigua (millor tèbia i destil·lada) per comprovar si es dissol i forma escuma quan s'agita. Si s'observa dissolució total i no s'aprecien petites gotes d'oli, el procés es dona per acabat. A continuació es deixa refredar la mescla en repòs i el sabó puja a la part superior, mentre la major part de l'aigua i la sosa romanen a la inferior amb la glicerina, subproducte del procés de saponificació*. Si durant la reacció s'ha evaporat molta aigua, en refredar-se la mescla no se separaran dues capes, sino que quedarà tot com una pasta espessa. En aquest cas és necessari afegir-hi una solució saturada de sal de cuina (un volum igual a la meitat del de l'aigua inicial), escalfar la mescla tot remenant durant uns minuts i després deixar-la refredar en repòs. Quan el sabó forma una capa sòlida consistent, es pot separar fàcilment del líquid inferior (pot fer-se un forat i abocar el líquid), que es guardarà per si interessa recuperar la glicerina**.

El sabó obtingut no és adequat per a rentar-se les mans (i menys la cara!), perquè conté molta sosa i pot irritar la pell. A fi de purificar-lo es dissol en una mica d'aigua calenta i s'hi afegeix sal fins a formar una dissolució saturada; després es deixa refredar en repòs i se separa el sabó com s'ha fet abans. La repetició d'aquest procés les vegades que calgui ens donarà un sabó pur.

Si es vol obtenir sabó sòlid i sec, és convenient filtrar la pasta al buit i/o premsar-la fins a eliminar la major quantitat possible d'aigua. Es pot donar forma a les pastilles de sabó a mà o amb motlles, però si no es disposa d'una premsa, quan s'assequin seràn poc consistents i es trencaran fàcilment.

Si es desitja que el sabó tingui color i olor, cal addicionar a la pasta formada amb la mínima quantitat d'aigua el colorant i l'essència elegits. Per tal de donar color podem emprar la fenolftaleïna o els colorants utilitzats en alimentació, però no sals metàl·liques, que farien insoluble el sabó.

Partint d'aquest senzill procediment per a preparar el sabó, poden formular-se moltes preguntes:

* L'addició de sal a la mescla, fins que es formi una solució saturada, abans de deixar refredar, facilita la separació.

** La fabricació de sabó per aquest procediment pot accelerar-se si a la mescla inicial s'hi afegeix una mica de sabó per tal de facilitar l'emulsió de l'oli en aigua. Una variant encara més ràpida consisteix a escalfar l'oli o el greix amb una quantitat cinc vegades superior de dissolució alcohòlica de sosa (50 g de sosa per cada litre d'alcohol), tenint en compte que en aquest cas és necessari emprar un refrigerant per evitar que l'alcohol es perdi.

- Què li passa a l'oli o el greix?
- Quina reacció té lloc? Què hi fa la sosa o la potassa?
- Per què la sal facilita la separació del sabó de la mescla de reacció?
- Com és que el sabó té propietats tan diferents de les de l'oli?
- Pot obtenir-se oli a partir de sabó?
- Per què les sals metàl·liques donen productes insolubles amb el sabó?

I moltes altres qüestions relatives al sabó i les seves propietats, a les quals s'intentarà donar resposta a les pàgines següents tot suggerint experiències senzilles il·lustratives d'alguns aspectes bàsics de la Química i de la Física.

2.2. Preparació d'un detergent no sabonós

Els productes de partida per a obtenir un detergent no sabonós són: oli de ricí (que també serveix per a fer sabó) i àcid sulfúric concentrat.

El procediment per a obtenir-ne una petita quantitat, suficient, però, per als diferents assaigs posteriors, és: Posar 1 o 2 cm³ d'oli de ricí dins d'un tub d'assaig i submergir el seu extrem inferior en aigua a temperatura ambient. Addicionar lentament, i remenant la mescla contínuament, un volum doble (2 o 4 cm³) d'àcid sulfúric concentrat. La reacció és exotèrmica i cal evitar que la temperatura augmenti massa (no ha de passar de 30-35° C), perquè s'afavoririen altres reaccions secundàries; per això es manté el tub d'assaig submergit en aigua.

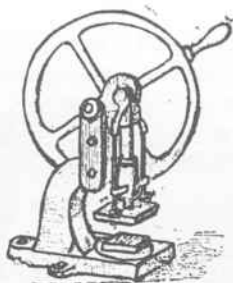
Acabada l'addició, es remena durant 3 o 4 minuts més i la mescla obtinguda s'afegeix lentament a un tub d'assaig que contingui un volum similar d'aigua (de 3 a 6 cm³) (millor destil·lada); cal fer-ho amb precaució, perquè és un procés exotèrmic. Pot passar que la mescla obtinguda en la reacció inicial sigui molt espessa i flueixi amb dificultat; llavors caldrà que l'ajudem a baixar amb la vareta que ens ha servit per a remenar. Després de remenar bé la barreja del producte de la reacció amb l'aigua, es deixa reposar uns minuts i s'observarà que a la part superior s'hi acumula un producte viscos.

Posar aigua, millor destil·lada, en un tub d'assaig, introduir-hi una gota del producte obtingut i agitar enèrgicament. S'ha de formar escuma.

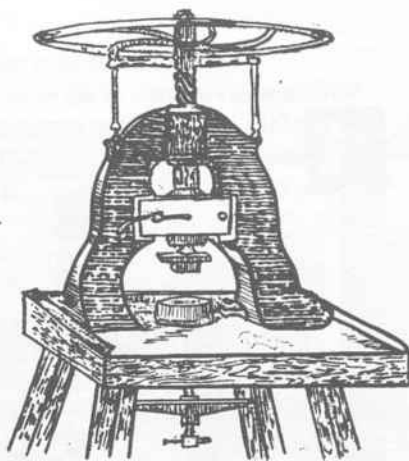
El procés que s'acaba de descriure pot suggerir preguntes similars a les inspirades pel procés de fabricació de sabó. Com ja s'ha indicat abans, en els apartats següents es descriuran experiències amb la pretensió d'aclarir i donar resposta al màxim nombre possible de qüestions relacionades amb l'obtenció, la utilitat i els avantatges del sabó i dels detergents no sabonosos.



"Antiga fàbrica de sabó"



—Antigues premses per a fer pastilles de sabó



2.3. Reacció de formació de sabó = saponificació Reacció de l'oli de ricí amb l'àcid sulfúric

A la introducció ja s'ha indicat que el procés de convertir oli o greix en sabó rep el nom de *saponificació*. En què consisteix?

De manera senzilla, podem dir que, per acció de la sosa, el principal component de l'oli es "trenca" en dues parts:

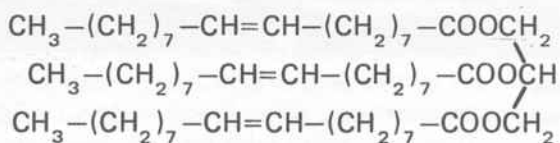
- un àcid gras (o la sal sòdica d'aquest)
- glicerina.

La sal sòdica de l'àcid gras és el sabó. La glicerina es queda a l'aigua mesclada amb sosa i sal.

Per extensió, en química orgànica "saponificació" vol dir obtenir un alcohol i un àcid (o la seva sal) a partir d'un ester:



El principal component de l'oli d'oliva és el trioleat de gliceril:

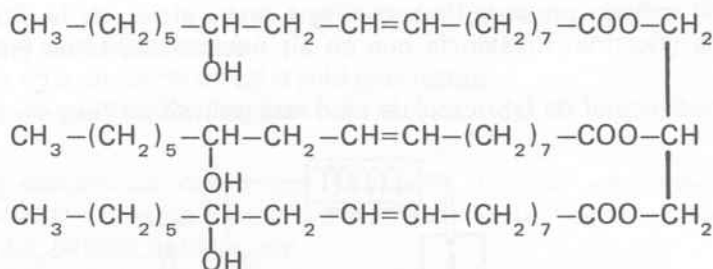


que al saponificar dóna:

- oleat sòdic, $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COONa}$;
- glicerina, $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$.

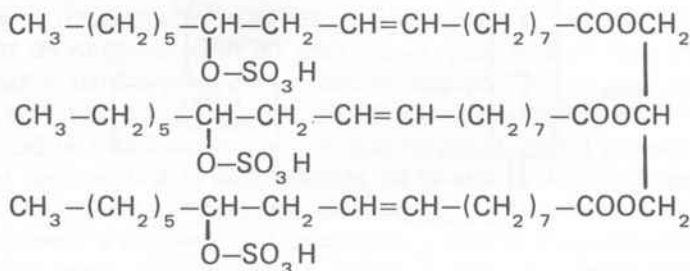
En química orgànica el procés contrari a la saponificació, es a dir obtenir un ester a partir d'un alcohol i un àcid gras, rep el nom d'*esterificació*. Així doncs, esterificant sabó i glicerina es podria recuperar l'oli. Però aquesta reacció és molt difícil que tingui lloc, a causa de la gran complexitat de les molècules que han d'intervenir-hi; en canvi, el procés és senzill si ha de tenir lloc entre molècules més petites. Per aquesta raó, i com a exemple de la reversibilitat de les reaccions d'esterificació-saponificació, a l'apartat 3 es descriu l'experiència de preparació d'acetat d'etil a partir d'etanol i àcid acètic, i la saponificació de l'acetat d'etil per tal de recuperar els productes de partida.

El principal component de l'oli de ricí és el triricinoleat de gliceril:



que tractat amb sosa donarà, de manera similar a l'oli d'oliva: ricinoleat sòdic (sabó): $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COO}^-\text{Na}^+$ i glicerina.

El tractament amb àcid sulfúric de l'oli de ricí per tal de formar el detergent no sabonós, no produeix el "trencament" de la molècula com passa en la saponificació, sinó que dóna lloc al derivat:



en el qual el grup $-\text{SO}_3\text{H}$ és hidròfil i la resta de la molècula és hidròfoba. L'existència d'aquestes dues característiques en un mateix compost justifica, com ja s'ha indicat anteriorment, la seva acció detergent.

2.4. Preparació industrial de detergents

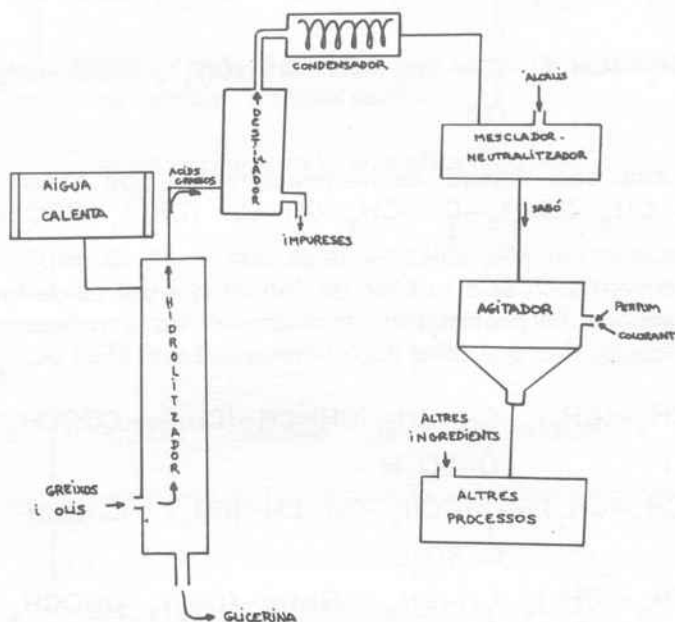
Ja s'ha indicat a la introducció que el primer detergent preparat industrialment fou el sabó; molt més tard, a mitjans d'aquest segle, han estat introduïts els detergents no sabonosos.

Inicialment la fabricació industrial de sabó seguia el mateix camí que la casolana:

- Cocció de greixos i/o olis amb sosa (s'han emprat matèries grasses derivades d'àcids orgànics de 7 a 18 àtoms de carboni).
- Addició de clorur sòdic (sal de cuina) a fi de separar el sabó, que un cop obtingut s'ha de deixar assecar.

Aquest mètode presenta l'inconvenient, entre altres, de la dificultat de recuperar la glicerina, substància que en els nostres dies té un gran interès industrial.

El procés actual de fabricació de sabó està resumit en l'esquema següent:



en el qual s'indiquen les etapes bàsiques, que són:

- a) Saponificació mitjançant vapor d'aigua a altes temperatures i pressions (de l'ordre de 250°C i 45 atm). Així s'obtenen àcids grassos que se separen a la part superior de la caldera, mentre que a la inferior hi queda una dissolució de glicerina, la qual s'aïlla fàcilment destil·lant l'aigua a pressió reduïda.
- b) Purificació dels àcids grassos per destil·lació.
- c) Tractament dels àcids grassos amb una base (carbonat sòdic o potàssic), per tal de transformar-los en la corresponent sal, que és el sabó.
- d) Addició de diferents substàncies que proporcionaran l'olor, el color, la textura, etc., desitjats.

En la segona meitat del segle passat el sabó contenia:

- d'un 4 a un 9% de sosa;
- d'un 45 a un 64% de sal d'àcid gras (sabó);
- d'un 30 a un 45% d'aigua.

I es denunciava que molts fabricants de sabó adulteraven els seus productes amb un excés d'aigua i/o amb substàncies "estranyes" com argila, creta, farina, patates bullides, etc.

El sabó en pols clàssic conté:

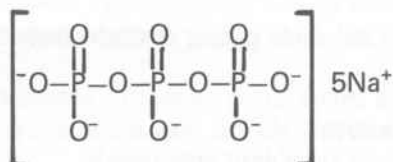
- d'un 8 a un 65% de sabó pròpiament dit;
- d'un 18 a un 45% de sosa;
- d'un 4 a un 5% de silicat sòdic;
- d'un 3 a un 35% d'aigua;
- d'un 10 a un 15% de perborat sòdic (acció blanquejant).

Fins la primera meitat d'aquest segle es pot dir que el sabó era gairebé l'únic agent de neteja emprat en gran escala, però a partir dels anys 1940-50 va començar a perdre progressivament el seu predomini, i a l'actualitat els detergents sintètics no sabonosos són els agents de neteja d'ús majoritari. A la introducció ja s'ha indicat algun procés de preparació d'aquests detergents i s'ha posat de manifest la dependència de la indústria dels detergents de la del petroli. També s'ha indicat que als detergents s'addicionen altres substàncies que "ajuden" a netejar, o bé destinades a satisfer els gustos dels usuaris.

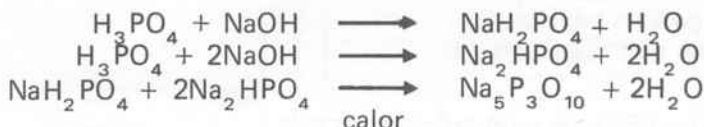
La composició de l'anomenat "sabó en pols de rentar roba", que en general conté molt poc sabó pròpiament dit, és, d'una manera aproximada:

- 50/o de sabó;
- 180/o de dodecilbenzenosulfonat sòdic;
- 300/o de polifosfat sòdic;
- 150/o de perborat sòdic;
- 10/o de tilosa (carboximetilcel.lulosa);
- 290/o de sulfat sòdic;
- 20/o de clorur sòdic.

El baix o, en alguns casos nul contingut de sabó, fa que aquests detergents siguin actius fins i tot en aigües dures, perquè no formen precipitats amb els ions calci (Ca^{2+}) i magnesi (Mg^{2+}), però aquests ions poden constituir complexos amb els agents tensioactius, fenomen que disminueix la seva eficàcia netejadora: per aquesta raó, com ja s'ha esmentat, s'afegeixen "agents segrestants", un dels més emprats dels quals és el tripolifosfat sòdic ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$):



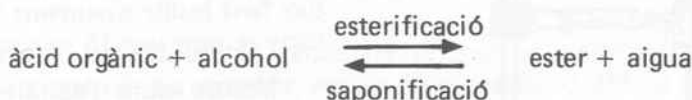
que s'obté fàcilment a partir d'àcid fosfòric (H_3PO_4) i hidròxid sòdic (NaOH) o carbonat sòdic (Na_2CO_3):



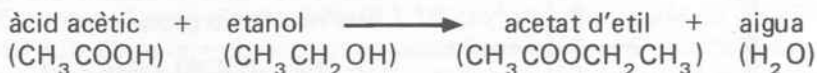
La reacció descrita a l'apartat 2.2., encara que serveix per a posar de manifest una de les possibles vies d'obtenir un detergent de manera senzilla, no té interès industrial, i el producte obtingut no s'usa per les seves propietats com a detergent.

3. EXEMPLES DE REACCIÓ SENZILLA D'ESTERIFICACIÓ I DE SAPONIFICACIÓ

En aquest apartat, com a complement de l'anterior, es descriuen dues reaccions senzilles que palesen la reversibilitat dels processos de saponificació i d'esterificació.



Com a exemple d'esterificació es proposa la reacció:



emprant àcid sulfúric com a catalitzador.

Aquest procés pot utilitzar-se per a il·lustrar la diferència entre mescla i combinació; així, inicialment es té una mescla d'etanol i d'àcid acètic els components de la qual poden identificar-se per l'olor; en canvi, després de mantenir una estona la mescla anterior a reflux ja no es nota la característica olor de l'alcohol ni la de l'àcid, sinó una de nova, que molts alumnes relacionen de seguida amb un tipus de cola. Aquest compost nou s'aïlla fàcilment per destil·lació.

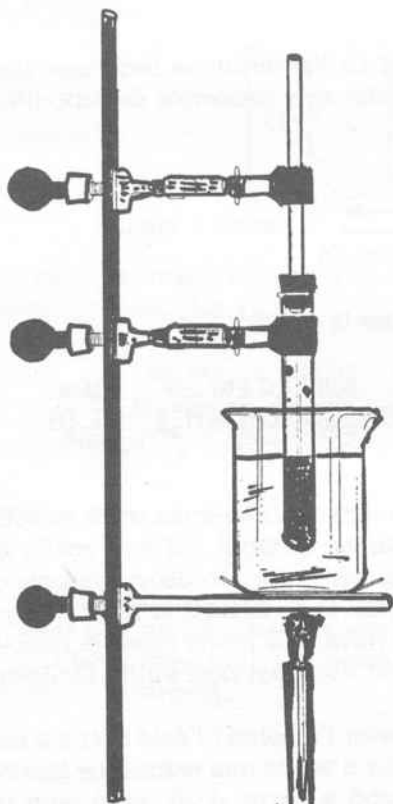
L'experiència següent es proposa recuperar l'alcohol i l'àcid acètic a partir de l'acetat d'etil obtingut. Es tracta de dur a terme una reacció de saponificació anàloga a la que permet obtenir sabó a partir d'oli, però amb un producte més senzill. La identificació ràpida dels productes pot fer-se a partir de la seva olor, inconfusible.

Juntament amb cada experiència es plantegen qüestions que considerem adequades per tal que l'alumne reflexioni sobre el procés que realitza i l'ajudin a treure'n el màxim profit.

3.1. Reacció d'esterificació

OBTENCIÓ D'ACETAT D'ETIL

Material i productes: Tub d'assaig gran (25 mm x 200 mm), tap foradat i tub de vidre, vas de precipitats de 250 cm³, suport, pinces, nous, cèrcol, reixeta d'amiant, bec Bunsen o fogonet d'alcohol. Tub de vidre en forma de colze, refrigerant, tubs de goma i tubs d'assaig. Proveta de 10 cm³ i comptagotes. Àcid acètic, etanol, àcid sulfúric i porcellana porosa.



Procediment: En el tub d'assaig gran es mesclen 5 cm³ d'etanol, 6 cm³ d'àcid acètic i 8-10 gotes d'àcid sulfúric. Després de posar-hi un tros petit de porcellana porosa es tapa amb el tap foradat i el tub de vidre i es fa el muntatge indicat a la figura.

S'escalfa la barreja de dins del tub fent bullir suaument l'aigua del bany durant uns 15 minuts.

Mentre dura l'ebullició, el tub de vidre acoblat al tub d'assaig actua com un refrigerant de reflux i impedeix que s'escapin els vapors dels reactius o productes.

NO ESCALFAR EL TUB D'ASSAIG DIRECTAMENT A LA FLAMA.

Es deixa refredar el contingut del tub d'assaig i s'olora amb precaució: s'assembla l'olor actual a la inicial de la mescla?

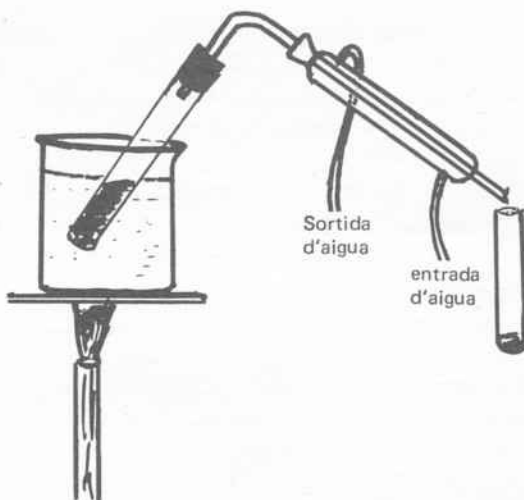
A què es deu el canvi produït?

El producte de la reacció anterior pot aïllar-se per destil·lació fent el muntatge de la figura de la pàgina següent i escalfant suaument en un bany d'aigua.

Recollir el destil·lat en diferents tubs d'assaig fins que no s'aprecii l'olor d'acetat d'etil

Qüestions:

- Escriure la reacció completa.
- Quina és la funció de l'àcid sulfúric?
- Calcular la quantitat teòrica d'acetat d'etil que podia obtenir-se.
- Quina relació tenen les reaccions d'esterificació i de saponificació?



3.2. Reacció de saponificació

SAPONIFICACIÓ DE L'ACETAT D'ETIL

Material i productes: Es requereix el mateix material que hem fet servir per a l'experiència anterior, acetat d'etil i solució 2M de sosa càustica (NaOH).

Procediment: Es disposa un muntatge igual al que ha servit per a dur a terme l'esterificació.

Es posen 2 cm³ d'acetat d'etil i 10 cm³ de solució 2M de sosa (NaOH) dins del tub d'assaig amb un tros de porcellana porosa. S'escalfa a reflux fins que desaparegui la capa d'acetat d'etil. Cal tenir la precaució de no escalfar massa, ja que en aquest cas tot l'acetat d'etil roman dins del tub refrigerant i no es pot produir la reacció.

Quan ha desaparegut la capa superior d'acetat d'etil, es deixa refredar. De què fa olor? És diferent de la inicial?

Per tal d'eliminar el producte causant de l'olor apreciada, pot escalfar-se el tub en què ha tingut lloc la reacció al bany d'aigua sense refrigerant. Si es vol, pot recollir-se aquest producte efectuant una destil·lació amb l'aparell utilitzat en l'experiència anterior.

Addicionar unes gotes d'àcid sulfúric, amb precaució si és concentrat, al residu de l'operació anterior; escalfar suaument. De què fa olor, ara? Què li ha succeït, a l'acetat d'etil inicial?

4. ESTUDI DE DIVERSES CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES DELS DETERGENTS

En aquest apartat, aprofitant el sabó i el detergent no sabonós preparats anteriorment i altres detergents que hom tingui a casa, se suggereixen algunes experiències destinades a evidenciar diverses qualitats d'aquests productes tan usats actualment. A més, les experiències proposades poden servir per a introduir o aprofundir els conceptes de:

- pH;
- efecte de l'ió comú;
- desplaçament d'àcids dèbils per àcids forts;
- precipitació;
- procés redox.

En primer lloc, es proposa que l'alumne determini el pH del sabó i del detergent no sabonós que ha preparat, i també de les distintes classes de detergents que tingui a casa. Comparant els diferents valors, àcid o bàsic, fort, feble o neutre, pot deduir-se la raó per la qual el sabó i el detergent preparats són poc adequats per a rentar-se.

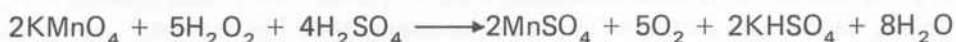
A continuació es descriu una experiència molt senzilla —pot fer-la cada alumne a casa seva—, que justifica l'addició de sal de cuina quan ha acabat la reacció de saponificació de l'oli per tal de separar el sabó format. Es tracta d'un exemple del fenomen anomenat "efecte de l'ió comú", que en aquest cas pot explicar-se breument considerant que el sabó i la sal de cuina són sals sòdiques solubles en aigua, però el primer no ho és tant com la segona. Quan una dissolució conté dues sals de diferent solubilitat amb un component comú (en aquest cas l'ió sodi), un excés d'aquest fa que es separi la sal menys soluble.

En les experiències següents es demostren els inconvenients del sabó per a rentar en aigües àcides o dures, inconvenients que no presenten els detergents. Així, en primer lloc es proposa tractar el sabó i el detergent amb àcid, i en escalfar la mescla es produeix la separació de l'àcid gras del sabó, mentre que el detergent no s'afecta sensiblement. L'explicació del fet és que un àcid fort (en aquest cas HCl) desplaça un de més dèbil de les seves sals (els àcids orgànics generalment són més dèbils que els minerals). Si l'àcid orgànic sobrenadant se separa i s'asseca, pot servir de base per a fer una petita espelma; si s'hi posa un tros de ble, crema fàcilment.

Després es passa a considerar els efectes sobre el sabó i els detergents de les aigües que contenen els cations Ca^{2+} , Mg^{2+} i d'altres. Es comprova que els àcids grassos que formen el sabó donen precipitats insolubles en aigua amb molts cations metàl·lics. Per aquesta raó les sals metàl·liques acolorides no serveixen per a tenyir el sabó. Es proposa un petit estudi per tal que l'alumne arribi a determinar què és la duresa de l'aigua (deguda a cations divalents, i no a anions) i els avantatges del detergent en el cas d'haver de rentar amb aigua dura.

L'última experiència descrita en aquest apartat és la valoració del perborat contingut en una mostra de "sabó de rentar roba". Aquesta experiència implica uns coneixements superiors als requerits en les anteriors, i pot ser adequada en el curs de Química de COU. Respecte als detergents comercials, ja s'ha indicat que són una mescla complexa de moltes substàncies, la determinació de les quals, exceptuant la del perborat, no és a l'abast de cursos elementals de química. Així, es planteja la determinació del percentatge de perborat sòdic contingut en detergents comercials de rentar roba mitjançant una valoració redox amb permanganat potàssic.

Respecte d'aquesta valoració, cal tenir en compte que cada mol de perborat, $\text{Na}_2\text{H}_4\text{B}_2\text{O}_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a efectes de valoració amb permanganat equival a dos de peròxid d'hidrogen, H_2O_2 (en alguns textos es formula el perborat sòdic com si tingués aigua oxigenada de cristallització: $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) i que la reacció que té lloc és (amb H_2O_2):



4.1. Per què s'afegeix sal a fi de separar i purificar el sabó?

Preparar en un vas una dissolució concentrada amb el sabó obtingut abans o amb algun altre sabó de pastilla; és convenient triturar bé el sabó i emprar aigua tèbia.

Després de repartir la solució en dos gots, afegir-hi a un d'ells un parell de cullerades de sal, remenar perquè es dissolgui al màxim i deixar reposar les mescles durant una estona.

Quins canvis s'hi observen? Quina és la substància que se separa? A què pot ser degut? Forma escuma amb l'aigua? Per què s'hi afegeix sal per a separar i purificar el sabó? Què és l'efecte de l'ió comú?

Repetir l'experiència amb el detergent que s'ha preparat o amb algun altre que no sigui sabó. Succeeix el mateix que abans? El sabó, pot servir per a rentar amb aigua de mar?

! un detergent no sabonós?

4.2. Obtenció d'àcids grassos a partir del sabó

Dissoldre la màxima quantitat de sabó en 150 cm³ d'aigua. És convenient que el sabó s'hagi polvoritzat prèviament i que l'aigua sigui calenta, i s'ha de remenar be.

A la dissolució obtinguda, afegir-hi lentament àcid clorhídric 1M fins a pH 2-3 (emprar paper indicador) i escalfar durant uns minuts a 60-70° C remenant contínuament. Després deixar refredar en repòs.

Què s'observa? Quina pot ser la substància que se separa?

Agafar una mica de la substància que sobreneda: quin aspecte i tacte té? Addicionar una mica d'aquesta substància a un tub d'assaig amb aigua destil·lada i agitar: fa escuma? Pot ser sabó?

Repetir l'experiència amb el detergent no sabonós que s'ha preparat. Succeeix quelcom de similar? Per què? El sabó, pot servir per a rentar amb aigües àcides? ! el detergent no sabonós?

4.3. Estudi de la duresa de l'aigua. Duresa temporal i permanent

a) Preparar dissolucions saturades de clorur sòdic (NaCl), clorur càlcic (CaCl₂) i clorur magnèsic (MgCl₂).

Posar 5 o 10 ml de les dissolucions anteriors en vasos de precipitats (o tubs d'assaig) i també el mateix volum d'aigua destil·lada i aigua corrent en altres dos recipients.

Amb una bureta (o amb un comptagotes) addicionar lentament solució sabonosa a cada una de les mostres preparades tot remenant enèrgicament. Quan comenci a aparèixer escuma cal disminuir la velocitat d'addició de

solució sabonosa, i quan es formi escuma que es mantingui sense desfer-se durant mig minut, es dóna per acabada l'addició. Comparar els volums de solució sabonosa que s'han requerit en cada cas per a formar escuma estable (si s'ha fet amb comptagotes, es compara el nombre de gotes adicionades en cada cas).

- Què és aigua dura?
- L'ió clorur, és el responsable de l'aigua dura?
- En els processos anteriors, s'ha format algun precipitat? Què pot ser aquest precipitat?

b) Repetir els procediments anteriors, però addicionant solució de detergent (no de sabó) a les dissolucions preparades o a l'aigua.

- Són similars els resultats?
- Quins avantatges té un detergent que no sigui sabó?

c) Preparar solucions saturades de bicarbonat càlcic ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) i de sulfat càlcic (CaSO_4) (Ambdues sals són blanques, i les adicionarem a l'aigua polvoritzades; la segona és molt poc soluble en aigua.) Diluir les dissolucions al 50 % i posar 10 ml de la primera en un vas, 10 ml de la segona en un altre i 5 ml de la primera i 5 ml de la segona mesclades en un tercer vas.

A cada vas preparat, afegir-hi solució sabonosa fins obtenir escuma consistent (es tracta de repetir el procés d'abans) i comparar els volums de solució consumits en cada cas.

d) Preparar tres mostres idèntiques a les anteriors i escalfar-les fins que bullin uns minuts; després afegir-hi de la mateixa solució sabonosa emprada abans fins que es formi escuma consistent.

- S'ha consumit la mateixa quantitat de sabó en les mostres que han bullit i en les que no ho han fet?
- Què és duresa temporal i permanent de l'aigua? Quins ions en són responsables? Com pot eliminar-se?

4.4. Determinació del perborat contingut en un detergent de rentar roba

Es planteja una experiència que suscita l'interès de l'alumne perquè li permet assabentar-se del contingut d'agent blanquejador en el detergent que empen a casa seva per a rentar roba.

Aquesta experiència consisteix en una valoració redox del perborat contingut en un detergent.

En primer lloc cal agafar una mostra que sigui representativa del material a analitzar. Així, es remenarà bé el contingut d'un bidó de detergent a fi

d'homogeneïtzar el seu contingut, ja que amb el transport pot haver-se produït una separació dels seus components per diferents densitats. Després se n'agafaran de 80 a 100 g i es reduiran a pols fina.

Els passos a seguir per a la valoració són:

- a) Posar una quantitat de l'ordre de 2 g (mesurats apreciant fins el centígram) del detergent polvoritzat dins d'un matràs erlenmeyer de 250 cm³ de capacitat.
- b) Afegir 100 cm³ d'aigua destil·lada i 30 cm³ de dissolució d'àcid sulfúric 0,1 M i remenar fins que es dissolgui tot el detergent.
- c) Escalfar la mescla anterior fins a 40-45° C i valorar-la amb una dissolució aquosa de permanganat potàssic (KMnO₄) 0,1 M (0,5 N).

Per fer la valoració s'omplirà una bureta amb la dissolució de permanganat potàssic i s'addicionarà lentament a l'erlenmeyer que conté la dissolució de detergent. Aquesta s'agitarà mentre duri la valoració, el final de la qual serà determinat per un canvi de color de la dissolució.

A partir dels valors obtinguts, i tenint en compte que la reacció que pot considerar-se que té lloc és la indicada al final de la introducció de l'apartat 4 es calcula el percentatge de perborat contingut en el detergent.

5. PEL.LÍCULES I BOMBOLLES

Fer bombolles i pel.lícules de sabó és un entreteniment antic i fascinant que no ha perdut l'interès ni l'atractiu, tant per als infants com per als adults, i quant a aquests últims tant des d'un punt de vista artístic com científic. La raó de l'atracció que les bombolles exerceixen sobre moltes persones és la gran facilitat amb que hom pot formar o construir objectes de gran bellesa gràcies a la seva variada coloració, conseqüència dels fenòmens de reflexió i interferència de la llum, i a les seves formes geomètriques, de gran simetria a causa de les forces de tensió superficial.

La formació de pel.lícules i bombolles de detergent ha estat estudiada, com un aspecte de les propietats macroscòpiques i moleculars de les superfícies dels líquids, des dels inicis de la Física i de la Química per molts científics, i algunes qüestions encara no han estat resoltes satisfactòriament. Els biòlegs també tenen interès per conèixer i comprendre la formació, estructura i evolució de les pel.lícules de sabó, perquè presenten analogies amb membranes de cèl·lules animals i vegetals. Dintre el camp de les matemàtiques s'ha manifestat interès per les pel.lícules i bombolles de sabó en relació a problemes de geometria i de càlcul de la "mínima superfície" que inclogui uns punts determinats.

A un nivell elemental, les bombolles i pel·lícules de detergent poden servir per a iniciar l'estudi de formes geomètriques senzilles i d'algunes propietats físiques com són la tensió superficial, la pressió dins d'un recipient (bombolla) i els fenòmens d'interferència lluminosa.

La popularització a nivell escolar elemental de les pel·lícules i bombolles de sabó es deu a Charles Vernon Boys (1855-1944), autor del llibre *Soap Bubbles and the Forces which Mould Them*, que fou traduït a diversos idiomes.

5.1. Obtenció de pel·lícules i bombolles

Quan ens rentem les mans amb sabó, observem que es formen bombolles, però són petites i es trenquen fàcilment. Amb els detergents líquids s'obtenen bombolles més grans i consistents.

Les observacions anteriors condueixen a preguntar-nos: què cal per a obtenir bombolles resistents i de gran diàmetre?

La durada o la "vida" d'un film o d'una bombolla de detergent, és conseqüència de les característiques d'aquest i de l'ambient. Les dimensions de la bombolla estan condicionades pels components de la dissolució de detergent.

Per a obtenir bombolles de grans dimensions es dissoldrà el detergent elegit en aigua destil·lada (qualsevol impuresa seria perjudicial); la millor proporció entre el detergent i l'aigua s'haurà de determinar realitzant uns quants assaigs, ja que la concentració dels diferents detergents que hi ha al mercat és variable. Poden obtenir-se bombolles més consistents i duradores si s'afegeix glicerina a la solució preparada. Cal remenar la mescla abans d'emprar-la.

Respecte a la vida d'una bombolla o pel·lícula, cal dir que és més llarga en un ambient humit i que estigui lliure d'impureses (fum, pols, diòxid de carboni, etc) i de corrents d'aire, que en un de sec. Un ambient humit afavoreix la durada d'una pel·lícula o bombolla perquè evita l'evaporació de l'aigua que la forma, fenomen causant de la seva destrucció; per aquesta raó la glicerina, líquid menys volàtil que l'aigua, ajuda a la formació de bombolles més consistents.

Un film de sabó en un ambient adequat pot tenir una vida indefinida, però no passa el mateix amb una bombolla, ja que aquesta conté gas, a pressió superior a l'exterior, que surt per difusió i fa disminuir les dimensions de la bombolla. Com a exemple es pot citar una experiència de Dewar que consistí a tancar una bombolla de 32 cm de diàmetre dins d'un recipient i mantenir-la durant 108 dies; transcorregut aquest temps, el seu diàmetre era alguns centímetres més petit; en canvi, un film de sabó de 20 cm de diàmetre es va mantenir inalterat durante tres anys.

Finalment, sols cal indicar que per a obtenir bombolles poden emprar-se tubs de diferent diàmetre —que afectarà les dimensions de la bombolla—, els quals cal surcar-los en la solució de detergent preparada de manera que hi

quedi un film líquid a un extrem, i bufar per l'altre després. Els resultats poden considerar-se satisfactoris si s'obtenen bombolles de 15 cm o més de diàmetre i que no es trenquin en tocar-les amb un objecte mullat en solució de detergent. Cal recordar que s'obtenen millor en un ambient humit; per aquesta raó pot ser un bon lloc prop d'una banyera o un safareig ple d'aigua.

A continuació es proposen algunes experiències que, a més de ser un entreteniment i motivar l'alumne per a treballs posteriors, serviran per a practicar l'art de formar bombolles grans i estables i iniciar l'observació i l'estudi de les seves característiques.

En primer lloc, se suggereix una experiència que posa de manifest que el diàmetre de la bombolla depèn, a més de la qualitat de la solució de detergent, del diàmetre del tub pel que es bufa.

La segona i la tercera experiències, aprofitant que es poden formar bombolles omplint-les amb diferents gasos, permeten fer un estudi qualitatiu de la densitat relativa d'aquests. Per tal d'aconseguir que les bombolles d'hidrogen pugin, cal que el seu diàmetre sigui d'uns quants centímetres.

La quarta experiència permet posar de manifest la dilatació dels gasos quan s'escalfen i la seva contracció quan es refreden, ja que una bombolla formada en la boca del recipient s'infla o es desinfla quant aquest s'escalfa o es refreda.

Per tal d'aconseguir bombolles de gran diàmetre, és necessari que no se separin, a causa del seu pes, del tub pel que es bufa. Per aquesta raó, en les experiències següents se suggereix formar bombolles sobre una superfície plana com pot ser la d'un plat.

L'observació que una bombolla petita, formada dins d'una de gran, surt quan toca la paret d'aquesta (experiència 7), i l'observació de la forma que adopten les parets de separació de dues bombolles de diferent diàmetre, serveixen d'introducció a l'apartat següent (5.2), relatiu a la pressió dins les bombolles.

EXPERIÈNCIES I QÜESTIONS:

1. Sucar els extrems de tubs de diferents diàmetres en la solució de detergent i bufar per l'altre extrem.

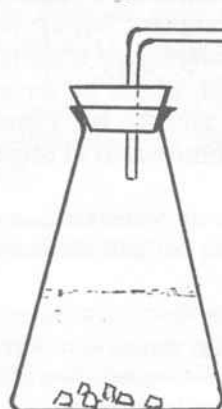
Amb quin tub s'obtenen bombolles més grans?

Per què són esfèriques les bombolles?

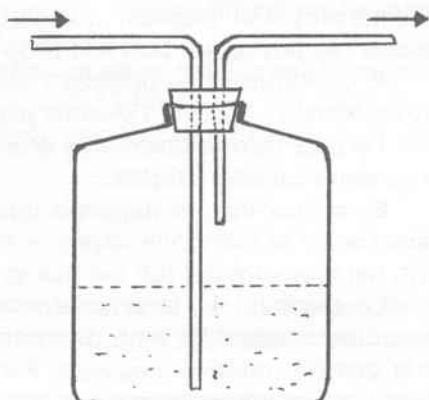
Quan les bombolles s'alliberen del tub, pugen o baixen? Per què?

Si se submergeix un anell metàl·lic en una solució de detergent, es forma una pel·lícula circular al seu interior. Quan l'anell que suporta una pel·lícula líquida es desplaça perpendicularment al seu pla, s'observa que aquesta es deforma i, si la velocitat és suficient, es desprèn formant una bombolla. Si els moviments són massa bruscos, el film líquid es trenca abans de formar la bombolla. Si en comptes d'anell es fa servir una molla o un filferro al que prèviament s'ha donat forma d'espiral, reté més quantitat de solució de detergent i llavors es poden formar moltes bombolles amb un sol moviment.

2. Amb un erlenmeyer (o un tub d'assaig, o una ampolla), un tap foradat i un tub de vidre o de goma que ajusti en aquest forat, pot construir-se el "generador de gas" de la figura*:



generador de gas



flascó rentador

Posant zenc (Zn) i àcid clorhídric (HCl), preparat a parts iguals amb aigua i àcid concentrat, dins del generador es formarà hidrogen d'acord amb la reacció:



L'hidrogen format pot emprar-se per a inflar bombolles si el tub de despreniment se submergeix en una solució de detergent.

Les bombolles produïdes, si són d'uns quants centímetres de diàmetre, quan se separen del tub, s'elevan o cauen?

Si s'hi acosta una cerilla encesa fins a tocar-les, què succeeix?

(Cal tenir en compte que el gas que es desprèn inicialment arrossega una proporció considerable de l'aire del generador).

Amb el mateix dispositiu pot generar-se diòxid de carboni (CO_2) posant-hi marbre, triturat o en trossos petits, i àcid clorhídric, segons la reacció:



Amb aquest gas també es poden omplir bombolles i comparar-les amb les obtingudes amb hidrogen.

Si es volen obtenir bombolles d'hidrogen o de diòxid de carboni més estables, cal que el gas passi a través del flascó rentador per tal d'eliminar el clorur d'hidrogen (àcid clorhídric) que arrossega. El flascó rentador ha de

* Cal vigilar que no s'obturin els tubs de despreniment de gas, ja que la sobrepressió interior, quan es genera gas, podria provocar explosions.

contenir aigua, per la que bombolleja el gas generat abans d'emprar-se. El generador i el flascó rentador s'uneixen amb un tros de tub de goma.

Si s'està en un lloc airejat, poden repetir-se les experiències i observacions anteriors, fent bombolles amb gas butà o gas natural.

Quines densitats relatives a l'aire posseeixen els gasos emprats per a formar bombolles?

3. Omplir un recipient de boca ampla (cristallitzador, o vas de precipitats) amb diòxid de carboni, generat pel procediment descrit a l'apartat anterior, i deixar-hi caure a dins bombolles formades bufant per un tub. Què s'observa? Com s'explica?

4. Sucar la boca d'una ampolla, o d'un altre recipient, en una solució de detergent, de manera que hi quedi una pel·lícula líquida adherida, i a continuació submergir l'ampolla en aigua calenta. Què s'observa?

Treure l'ampolla de l'aigua calenta i, si encara no s'ha trencat el film líquid, introduir-la en aigua freda. Què succeeix?

5. Bombolles en un plat

Si tenim una bona solució de detergent, podem obtenir fàcilment i observar bombolles de 20, 30 o més centímetres de diàmetre si les formem sobre un plat o una altra superfície. Es mulla tota la superfície que es vol que ocupi la bombolla amb solució de detergent i es col·loca un tub amb una pel·lícula de detergent al seu extrem en el centre d'aquesta superfície; bufant suaument i constantment, es formarà una bombolla d'extraordinàries dimensions (si es fa en un plat, l'ocupa del tot).

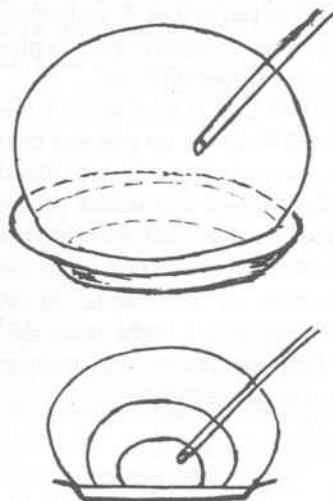
Aquesta bombolla, és esfèrica, com les anteriors? Per què?

6. Quan es tingui una bombolla dins d'un plat pot observar-se amb deteniment l'aspecte de la pel·lícula que la forma i algunes de les seves qualitats. Pot comprovar-se que si es toca amb un objecte mullat en solució sabonosa no es trenca. Amb el tub mullat no aconseguim foradar-la o trencar-la. També hi podem introduir el dit mullat sense trencar-la.

Joc. Aprofitant la qualitat anterior, podem intentar d'obtenir bombolles contingudes dins d'altres tal com s'indica al dibuix.

Es veu immediatament que cal començar per la més externa i es requereix una mica d'entrenament per a aconseguir tres o més bombolles disposades així (cada una dins de les anteriors).

7. En el joc anterior es troba una dificultat: què passa quan la bombolla de dins toca la pel·lícula de la



de fora? Cal provar-ho unes quantes vegades i observar.

Es pot donar alguna explicació raonable d'aquest fet?

8. Bufar dins del recipient que conté la solució sabonosa per tal de formar moltes bombolles juntes. Observem les parets de separació: Quina forma tenen? Quantes parets de separació es reuneixen en un vèrtex?

9. Formar una bombolla a l'extrem d'un tub o sobre un plat i aproximar-hi un objecte electritzat (una làmina de plàstic, un regle de plàstic, una vareta de vidre, etc., prèviament fregats amb una pell, llana o seda). Observar com es deforma la bombolla a causa de l'atracció electrostàtica.

5.2. La pressió dins d'una bombolla

En aquest apartat, la primera experiència que es proposa, molt senzilla, serveix per a posar de manifest que la pressió a l'interior d'una bombolla és superior a l'atmosfèrica i, per tant, el gas té tendència a sortir.

L'excés de pressió a l'interior d'una bombolla ve determinat per la fórmula de Laplace:

$$p = \frac{4a}{R}$$

on p és l'excés de pressió, a la tensió superficial (mesurada en unitats de força per unitat de longitud) i R el radi de la bombolla. La relació anterior justifica que la pressió a l'interior d'una bombolla petita sigui més gran que a l'interior d'una bombolla gran, fenomen que s'esdevé igualment amb els globus; per tant, a les experiències 2 i 3 s'observarà que l'aire es desplaça de la bombolla petita (o del globus poc inflat) cap a la bombolla gran (o cap al globus més inflat).

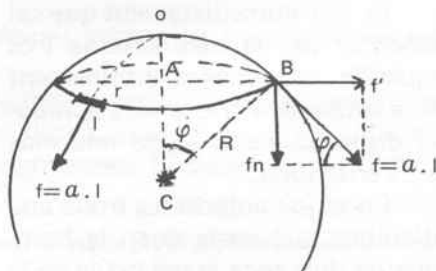
A l'experiència 4 s'observarà que la paret de separació de dues bombolles de radis diferents no és plana, sinó esfèrica, amb la part convexa a l'interior de la bombolla gran.

En el cas d'una superfície plana, pot considerar-se que $R = \infty$ i, per tant, la diferència de pressió entre una cara i l'altra és zero.

Una demostració senzilla de la fórmula de Laplace pot ésser la següent: Considerem una bombolla de radi R i en ella un casquet esfèric centrat en O i de radi r . Determinem ara les forces que la bombolla fa sobre aquest casquet: a cada tram de longitud l del perímetre del casquet hi actua una força tangencial:

$$f = a \cdot l$$

(a és la tensió superficial del líquid).



Cada una d'aquestes forces f la podem descompondre en dues: una en el pla del cercle que limita el casquet (f') i l'altra perpendicular a ell (f_n).

La suma de totes les forces f' que actuen sobre el perímetre del casquet és 0 perquè cadascuna és oposada a una altra idèntica; per tant, la força resultant sobre el casquet és la suma de totes les f_n :

$$F_n = \sum f_n$$

D'acord amb la figura els triangles ABC i el determinat per f i f_n són semblants; per tant, es compleix la relació:

$$\frac{f_n}{f} = \frac{r}{R}$$

o sigui: $f_n = \frac{r}{R} \cdot f$ i com que $f = a / r$ $f_n = \frac{r}{R} a / r$

i la força total resultant serà: $F_n = \sum f_n = \sum \frac{r}{R} a / r = \frac{r}{R} a \sum /$

i $\sum / = 2 \pi r$, per tant: $F_n = \frac{2 \pi r^2 a}{R}$

Considerant r suficientment petit, podem assimilar la superfície del casquet a la del cercle centrat en A i de radi r o sigui πr^2 i, finalment, la pressió sobre el casquet l'obtindrem dividint la força total que sobre ell actua, F_n , per la seva superfície πr^2 , queda.

$$p = \frac{2 a}{R}$$

Aquesta relació dona la sobrepressió a l'interior d'una gota de líquid. Tenint en compte que la membrana líquida de la bombolla està formada per dues cares, la força total és el doble de la que s'ha calculat; per tant, també ho és la pressió. S'arriba així a la fórmula de Laplace indicada al principi d'aquest apartat.

EXPERIÈNCIES I QÜESTIONS:

1. Formar una bombolla a l'extrem d'un tub i aproximar l'altre extrem a la flama d'una cerilla o d'una espelma.

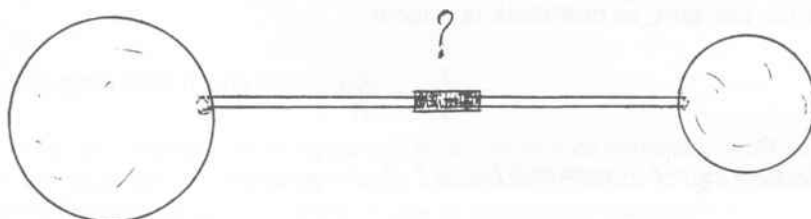
Observar com es desinfla la bombolla i la flama es desplaça.

Què se'n pot dir de la pressió a l'interior de la bombolla?

2. Inflar de manera desigual dos globus idèntics i unir-los per mitjà d'un tub. (Cal que un globus estigui molt poc inflat i l'altre bastant.)

Quin globus es desinfla?

Quina relació de pressions hi ha entre el globus més inflat i el menys inflat?



3. Preparar dues bombolles de dimensions diferents als extrems de dos tubs que es puguin unir a fi de repetir l'experiència realitzada amb els globus.

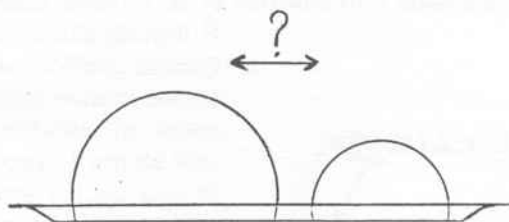
Quan s'uneixen els dos tubs, quina bombolla s'infla?

On és més gran la pressió, dins d'una bombolla gran o dins d'una de petita?

4. Preparar en un plat una bombolla de 10 cm o més de diàmetre i al seu costat una de 3 o 4 cm.

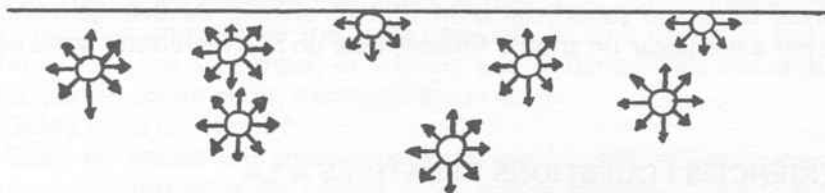
Si es posen en contacte, quina forma té la paret de separació?

Pot justificar-se a partir de la diferència de pressió entre les dues bombolles?



5.3. Tensió superficial

Una molècula dins d'un fluid rep forces atractives en totes direccions a causa de les molècules veïnes, però la força resultant de totes elles és zero, perquè unes contraresten l'acció de les altres,



en canvi, una molècula superficial està sotmesa a una força resultant no nul·la que l'empeny cap endins del líquid. Aquestes forces que afecten les molècules superficials fan que els líquids tendeixin a adoptar la forma que presenti menys superfície lliure.

Per què és esfèrica una gota d'aigua?

Quina és la forma "natural" d'un líquid en absència de camp gravitatori?

Aquestes preguntes es poden respondre fàcilment tenint en compte l'existència de les forces abans esmentades i que l'esfera és la figura geomètrica amb la mínima superfície i el màxim volum.

La força que afecta les molècules de la superfície d'un líquid, anomenada tensió superficial, és la que dóna resposta a les qüestions que a continuació es proposen i justifica els resultats de les experiències suggerides. En aquestes cal tenir en compte que la tensió superficial d'un líquid s'altera a causa de la presència de molècules o ions d'altres substàncies; així, quantitats moderades de sabó redueixen la tensió superficial de l'aigua a una tercera part.

Les vuit primeres experiències i qüestions proposades, algunes de molt conegudes, pretenen posar de manifest la importància de les forces de tensió superficial i que sols actuen quan hi ha superfícies lliures de líquid: els cabells i la sorra humits s'uneixen, però no si estan submergits en aigua.

L'experiència 9 posa de manifest que les dimensions de les gotes formades amb comptagotes depenen del diàmetre d'aquest i de la tensió superficial del líquid. Pot comprovar-se que les gotes d'un mateix líquid produïdes per un comptagotes són sempre iguals (si es manté la temperatura), i per tant es justifica que serveixin com "unitat de mesura" d'algunes substàncies (p. e., de medicaments líquids).

La realització de les experiències 10 i 11 permetrà observar que una solució de detergent "mulla" més que l'aigua a causa de la seva menor tensió superficial. Per aquesta raó el sabó i els altres detergents "renten" més que l'aigua sola.

Amb l'experiència 12 s'evidencia la disminució de la tensió superficial de l'aigua a causa dels detergents. Una gota d'un d'aquests produeix una rapidíssima dispersió de la pols de carbó. L'acció del sabó en aigua dura (solució de carbonat càlcic) és menys notable que en aigua destil·lada o que la del detergent no sabonós.

Les últimes experiències proposades permeten posar de manifest que les forces de tensió superficial d'un film de solució de detergent són suficients per a desplaçar un tros de filferro, tesar un fil o fer rebotar gotes petites.

EXPERIÈNCIES I QÜESTIONS RELATIVES A LA TENSÍO SUPERFICIAL

1. Si tirem una pedra rasant sobre la superfície de l'aigua i amb suficient velocitat, rebota unes quantes vegades abans d'enfonsar-se.

Quina força impedeix que la pedra s'enfonsi?

Per què s'enfonsa després de rebotar algunes vegades?

2. Els cabells d'una persona estan separats quan són secs, però junts i atapeïts si es mullen; el mateix fenomen passa amb els pèls d'un pinzell. Quina força fa que els cabells o els pèls s'estrenyin els uns contra els altres?

3. Si a la platja volem jugar a fer castells de sorra, trobarem que si està seca no ens serveix, però sí si la humitegem.

Quina força aguanta els castells de sorra humida?

Si s'intenta fer un castell de sorra dintre l'aigua, un castell submarí, es troba que és tant o més difícil de fer-lo aguantar que amb sorra seca.

Per què la sorra humida és consistent, però no la seca o la totalment submergida en aigua?

Com s'explica que l'aigua de la sorra humida agunti el castell, però que precisament l'aigua l'enderroqui si està submergit?

4. Amb l'ajut d'una forquilla dipositem suaument una moneda de 10 o 50 cèntims (ja no són corrents), o un tros de làmina d'alumini, o una agulla de cosir ben seques (no han d'estar humides enlloc) sobre la superfície de l'aigua continguda en un plat o un vas. Aconseguirem fàcilment que flotin; observem la superfície de l'aigua pròxima al metall que sura. Quina forma té? És plana?

Repetim l'experiència anterior, però amb la moneda o l'agulla mullades. Aconsegim que surin?

Té alguna relació la força que fa flotar la moneda seca amb la que aguanta els castells de sorra humida?

Per què s'enfonsa una moneda seca si la deixem caure sense precaucions dins de l'aigua?

Repetim l'experiència anterior amb altres líquids: alcohol, acetona, benzina, etc. El metall, flota o s'enfonsa?

5. "Campanes d'aigua": si es posa un objecte pla sota un raig d'aigua, s'observa que aquesta s'escampa formant una pel·lícula que tendeix a reunir-se en un punt situat més avall.

Quina força justifica aquest fet?

Si l'objecte contra el qual incideix el raig d'aigua és circular, aquesta adopta una forma semblant a la d'una campana.

6. Fer tres forats pròxims i paral·lels al fons d'un pot de llauna. Posar-hi aigua i observar com surten tres raigs paral·lels. Si amb un dit es toquen els tres forats pels que surt aigua, de manera que es barregin els tres raigs, s'observarà que, en treure el dit, s'uneixen en un de sol.

Quina força els fa unir?

7. Quan un líquid cau sobre una superfície líquida, en molts casos pot observar-se la formació de petites gotes que es desplacen ràpidament per sobre la superfície.

Quina forma tenen aquestes gotes?

Amb aigua i alcohol pot preparar-se una barreja de densitat similar a la de l'oli. Amb un tub o comptagotes introduir una gota d'oli dins de la mescla.

Quina forma pren la gota?

8. No és freqüent disposar de mercuri, però és probable que alguna vegada s'hagi observat l'aspecte d'aquest metall líquid "gràcies" a què s'ha trencat un termòmetre. Quina forma pren el mercuri en petites quantitats?

Si s'aproximen dues gotes petites de mercuri, pot observar-se que s'uneixen. Quina força produeix aquesta unió?

Quina forma té una gota d'aigua de rosada, o la formada a l'extrem d'una aixeta o d'un comptagotes? Per què no és plana o en forma de cub? Quina força manté unida una gota?

9. Si es disposa d'un comptagotes, agafar successivament amb ell petites quantitats d'aigua, de solució de detergent i d'alcohol, deixant que es formi una gota de cada líquid a l'extrem. Observar-la detingudament. Quina forma té en cada cas? Tenen el mateix volum?

Si es disposa d'una proveta, pot calcular-se fàcilment el volum d'una gota: amb el comptagotes s'omple la proveta fins a un volum determinat i es compta el nombre de gotes necessàries per a fer-ho; el quocient del volum i el nombre de gotes ens donarà el volum d'una gota.

Repetint el procés anterior amb cada líquid, es troba que totes les gotes de diferents líquids tenen el mateix volum?

Si no es té a mà una proveta, pot trobar-se el volum relatiu de gotes de diferents líquids (aigua, solució de detergent i alcohol) omplint amb el mateix comptagotes un recipient petit (pot de medicaments, cullereta de cafè, tub d'assaig en què s'hi ha fet un senyal a un cert nivell, etc.) i comptant el nombre de gotes necessari en cada cas.

Com pot justificar-se que les gotes de diferents líquids tinguin diferent volum?

Una gota d'aigua, és més gran o més petita que una d'aigua amb detergent?

Determinar el volum d'una gota d'aigua freda i d'una d'aigua calenta. Són iguals? Com s'explica?

Determinar el volum de gotes formades amb comptagotes de diferent diàmetre. Quines són més grans?

10. Amb l'ajut d'un comptagotes, dipositar volums iguals de líquids diferents (aigua, solució de detergent i alcohol) sobre una superfície seca i horitzontal de vidre o plàstic, i també sobre un tros de teixit prim. Amb quin líquid es forma una "taca" més gran?

(L'experiència anterior ens ha servit per a trobar el volum relatiu de gotes de diferents líquids, per exemple, si per tal d'omplir una cullereta de cafè han calgut 100 gotes del líquid A i 50 del B, vol dir que les gotes d'aquest tenen doble volum que les de l'A; per tant, en aquesta experiència posarem dues gotes del líquid A i una del B.)

11. Posar aigua destil·lada dins d'un tub d'assaig net i sec, i solució de sabó o detergent en un altre d'identíc. Buidar-los invertint-los i immediatament tocar les parets interiors dels tubs. Quina és més molla?

12. a) Posar aigua en un vas o plat, i al centre escampar carbó en pols o una mica de farina. Al mig de la farina o el carbó, dipositar una gota de solució de sabó. Què s'observa?

Repetir l'experiència anterior, però posant-hi solució de detergent en comptes de sabó. Què s'observa?

b) Repetir les experiències de l'apartat a) emprant solució saturada de carbonat càlcic (CaCO_3).

13. Agafar dos gots idèntics i amb les parets seques i omplir-los un amb aigua i l'altre amb solució de detergent fins al límit superior.

Es pot afegir quelcom a cada got sense que vessi?

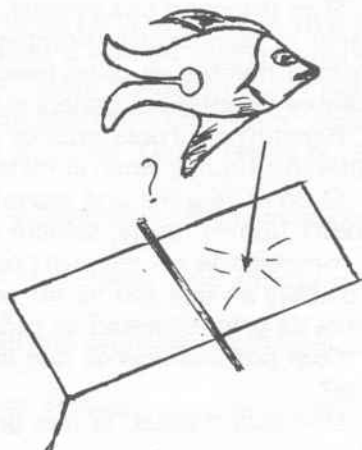
Pot experimentar-se amb monedes deixant-les caure suaument i pel centre de cada got. Quantes n'hi caben?

Quina forma pren la superfície de l'aigua?

El volum d'un recipient, és igual a la quantitat màxima d'aigua que pot contenir?

14. Retallar en paper o cartolina una figura com la indicada al dibuix, amb l'orifici al mig i el tall que el comunica amb l'exterior. Posar-la dins d'un plat o gibrella amb aigua de manera que suri. Amb un comptagotes o una cullereta posar una gota d'aigua a l'orifici central. Què s'observa? A continuació, posar-hi detergent. Què li succeeix al peix o barqueta? A què pot atribuir-se aquesta diferència?

15. Amb filferro, formar un rectangle de 7 o 8 cm de llargada i 3 o 4



d'amplada. Submergir-lo en solució de detergent de manera que en treure'l hi quedi una pel·lícula líquida que ocupi tot el rectangle. Dipositar una agulla (o un tros recte de filferro) mullada en detergent sobre el rectangle de manera que la pel·lícula s'hi addereixi (tot en posició horitzontal). Trencar, amb el dit o un tros de paper, un dels dos costats en què s'ha dividit la pel·lícula de detergent. Què succeeix? Pot trobar-se alguna justificació?

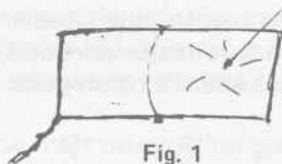


Fig. 1

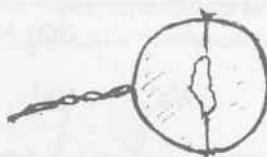


Fig. 2

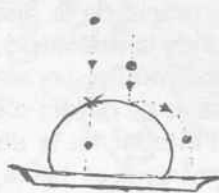


Fig. 3

16. Si es repeteix l'experiència anterior, però prèviament s'ha lligat un fil (millor de seda) entre dos costats del rectangle, en trencar una de les meitats de la pel·lícula líquida el fil es tesa i forma un arc tal com indica la figura. Quina força el tesa? Fig. 1

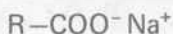
17. Si el fil es posa tal com s'indica a la figura, i després de formar la pel·lícula líquida es trenca pel centre de la figura de fil, aquest queda de forma circular. Per què? Fig. 2

18. Pot comprovar-se que la membrana d'una bombolla de sabó és elàstica deixant-hi caure gotes de solució sabonosa des de pocs mil·límetres d'alçada. S'observa que reboten sense trencar la bombolla. Quina força fa rebotar la gota? Fig. 3

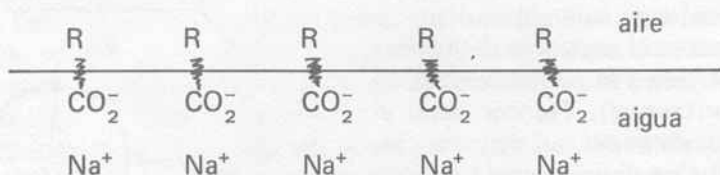
Si es deixen caure gotes des de més alçada, es comprova que passen a través de la membrana sense trencar-la, de la mateixa manera que pot ser travessada per qualsevol objecte mullat en la solució que ha servit per a fer la bombolla.

5.4. Estructura de les dissolucions i pel·lícules de sabó

Ja s'ha indicat anteriorment que el sabó és, en general, la sal sòdica o potàssica d'un àcid gras, el qual té un extrem polar i hidròfil (el grup carboxil) i un altre apolar i hidrofòbic (la cadena carbonada):

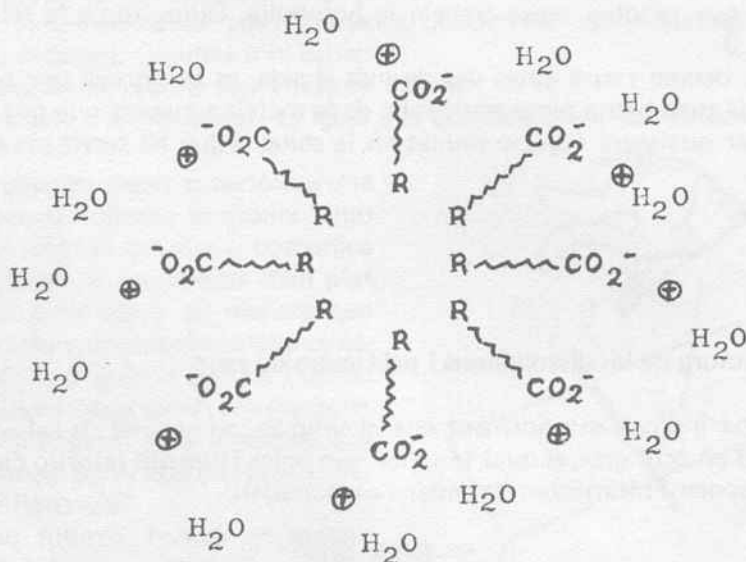


En dissoldre sabó en aigua, l'extrem polar s'envolta de molècules d'aquesta mentre que l'apolar se n'allunya al màxim. Aquest fenomen fa que inicialment la major part dels ions del sabó es concentrin a la superfície de la dissolució amb l'extrem polar dirigit cap a l'interior i l'apolar cap a l'exterior:



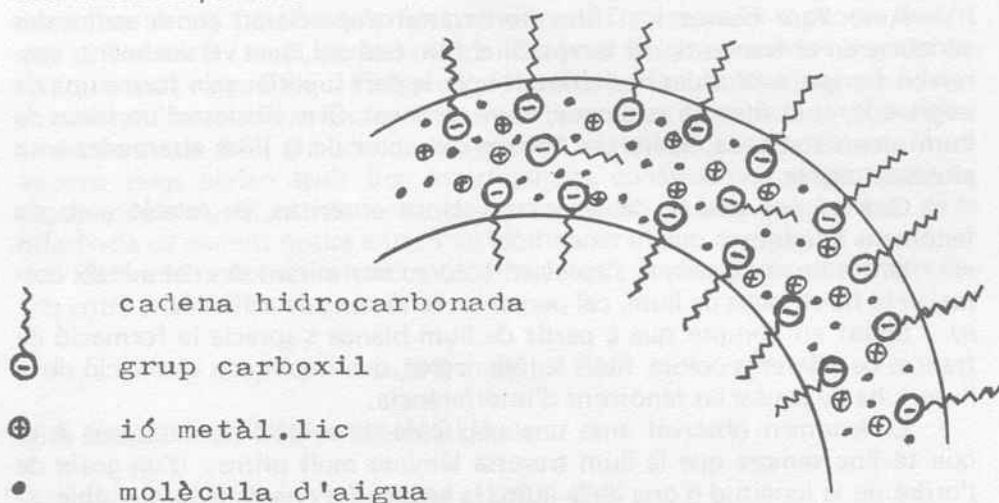
A mesura que es va addicionant sabó creix la densitat superficial d'ions de sabó, fins arribar a un límit, que és de l'ordre de 10^{18} ions per m^2 , a partir del qual no es produeixen variacions encara que es continuï incrementant la concentració de la dissolució. Això vol dir que a mesura que creix la concentració de la dissolució va disminuint la tensió superficial, però que s'arriba a un valor mínim, corresponent a la màxima concentració d'ions a la superfície, que és de l'ordre d'un terç de la de l'aigua.

A l'interior de la dissolució, els ions de sabó estan distribuïts a l'atzar si la concentració es baixa, però a partir d'un cert valor, que és de l'ordre de deu vegades superior a la concentració necessària per tal d'arribar al màxim de densitat superficial d'ions de sabó, s'agrupen formant micel·les, l'estructura de les quals, similar a la de les que es formen quan el sabó dissol una taca d'oli, és la indicada a la figura següent:



Les cadenes hidrocarbonades hidrofòbiques estan dirigides cap a l'interior, d'on l'aigua n'ha quedat exclosa, i els extrems hidròfils cap a l'exterior, on queden envoltats per molècules d'aigua i els cations metàl·lics positius corresponents.

Una pel·lícula de sabó és una capa líquida molt prima, d'un gruix entre $2 \times 10^5 \text{ Å}$ i 50 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$), limitada per dues superfícies en contacte amb l'aire. L'estructura d'una pel·lícula de sabó, indicada a l'esquema següent, és la de dues superfícies:



Una pel·lícula de sabó acabada de formar té el màxim gruix. A mesura que passa el temps es va aprimant per evaporació de l'aigua fins arribar a un gruix de l'ordre de 300 a 50 Å , en el qual s'estabilitza o es trenca. Si la pel·lícula està col·locada verticalment, la part superior s'aprima més depressa que la inferior.

Si es compara el gruix d'una pel·lícula de sabó estabilitzada amb el d'un cabell, es comprova que aquest és unes 5.000 vegades més gruixut.

5.5. Per què es veuen acolorides les pel·lícules i bombolles de sabó?

En formar pel·lícules i bombolles de sabó s'ha pogut observar l'aparició de coloracions intenses i variables. Un film de solució de detergent és incolor i transparent. Per què es veu acolorit? De què depenen les coloracions?

A fi d'observar més bé aquest fenomen convé disposar d'una pel·lícula formada en un suport pla, com un anell o un rectangle de filferro. Per tal de veure el film líquid acolorit cal mirar des del mateix costat on hi hagi el focus de llum, i convindria posar una pantalla negra darrera la pel·lícula de detergent.

Observar el film en posició horitzontal i en posició vertical. Cal que cada vegada es prepari un film nou i s'observin els colors que van apareixent i on i en quin ordre ho fan.

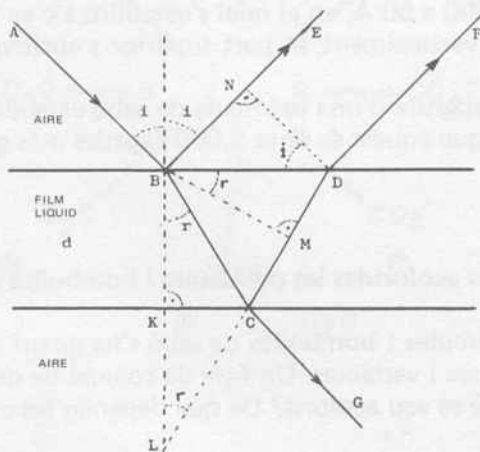
Amb llum blanca i el film horitzontal s'apreciaran zones acolorides variables en el transcurs del temps. Si el film està col·locat verticalment, apareixen franges acolorides horitzontals i per la part superior se'n forma una de negra que, si el film no es trenca, es va estenent. Si es disposa d'un focus de llum monocromàtica, apareixen franges del color de la llum alternades amb altres de negres.

Què es pot deduir de les observacions anteriors, en relació amb els fenòmens lluminosos que hi tenen lloc?:

- tenint en compte que s'aprecien coloracions mirant des del mateix costat on hi ha el focus de llum, cal pensar en fenòmens de reflexió;
- tenint en compte que a partir de llum blanca s'aprecia la formació de franges de diferents colors, fins i tot de negres, que impliquen anul·lació de la llum, s'ha de pensar en fenòmens d'interferència.

El fenomen observat amb una pel·lícula de solució de detergent és el que té lloc sempre que la llum travessa làmines molt primes, d'un gruix de l'ordre de la longitud d'ona de la llum (la longitud d'ona de la llum visible, λ , oscil·la entre 3.800 i 7.800 Å), i és produït per la interferència entre els raigs reflectits en ambdues cares de la làmina. Un exemple n'és l'aspecte acolorit que presenten les taques d'oli o greix damunt d'un paviment.

La figura següent esquematitza el camí que segueix i els processos que experimenta un raig de llum que incideix sobre una làmina transparent, de gruix d , d'índex de refracció superior al de l'entorn (aire) i de cares paral·leles:



El raig incident AB dóna lloc als raigs BC i BE. El primer és producte de la refracció en passar la llum d'un medi (aire) a l'altre (líquid), i té una intensitat de l'ordre del 96% de la del raig incident AB. El raig BE és degut a la reflexió parcial (de l'ordre d'un 4 % de la intensitat del raig incident) del raig AB sobre la superfície líquida.

Quan el raig BC arriba a la segona cara de la pel·lícula de solució de detergent, experimenta un fenomen similar al que ha tingut lloc amb el raig AB quan ha incidit sobre el film líquid: una part, de l'ordre d'un 96% de la intensitat incident, es transmet i origina el raig CG, i la resta es reflecteix i dóna lloc al raig CD. Evidentment, en el punt D es repeteix el procés descrit que té lloc en B i en C, però el nostre interès va dirigit a conèixer les característiques dels raigs BE i DF. Per consideracions trigonomètriques senzilles, i considerant la relació entre les intensitats lluminoses transmeses i reflectides, es dedueix que BE i DF són dos raigs paral·lels d'intensitat semblant. Entre aquests raigs poden tenir lloc interferències constructives o destructives, segons que estiguin en concordància o en oposició de fase, i això depèn de la diferència de camins òptics entre l'un i l'altre.

Si n és l'índex de refracció del film líquid, la diferència de camins òptics entre BE i DF és:

$$n(BC + CD) - BN$$

com que $BC = LC$ i $CD = CM + MD$ queda:

$$n(LM + MD) - BN$$

per ser $MD = BD \sin r$ i $BN = BD \sin i$ $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BN}{MD}$ i per tant la diferència de camins òptics:

$$n(LM + MD) - nMD = nLM = nBL \cos r = n2d \cos r$$

Cal tenir en compte que quan la llum es reflecteix en un medi d'índex de refracció més gran, té lloc un canvi de fase igual a π , que equival a un increment en la diferència de camins òptics igual a una meitat de la longitud d'ona de la llum (λ); per tant, la diferència de camins òptics "efectiva" entre els raigs BE i DF, és:

$$n2d \cos r + 1/2 \lambda$$

Si aquest valor és igual a un nombre sencer de longituds d'ona, la interferència serà constructiva; o sigui:

$$n2d \cos r + 1/2 \lambda = k \lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

si la diferència efectiva de camins òptics és:

$$n2d \cos r + 1/2 \lambda = (k - 1/2)\lambda$$

llavors els dos raigs estan en oposició de fase, i per tant la interferència és destructiva.

D'acord amb les relacions anteriors, la producció d'una interferència constructiva o destructiva depèn de la longitud d'ona de la llum, λ , del gruix de la làmina (d) i de l'angle de refracció (r), però aquest depèn de l'incidència (i). Això justifica que les franges acolorides siguin diferents segons la posició relativa del focus de llum i de l'observador i que, si la llum és monocromàtica, siguin franges clares i fosques alternades, mentre que, si la llum és blanca, o sigui barreja de radiacions de totes les longituds d'ona, apareguin franges de diferents colors, conseqüència de l'eliminació dels altres per interferència destructiva. Si la pel·lícula és de gruix uniforme, l'eliminació dels diferents colors depèn de l'angle d'incidència.

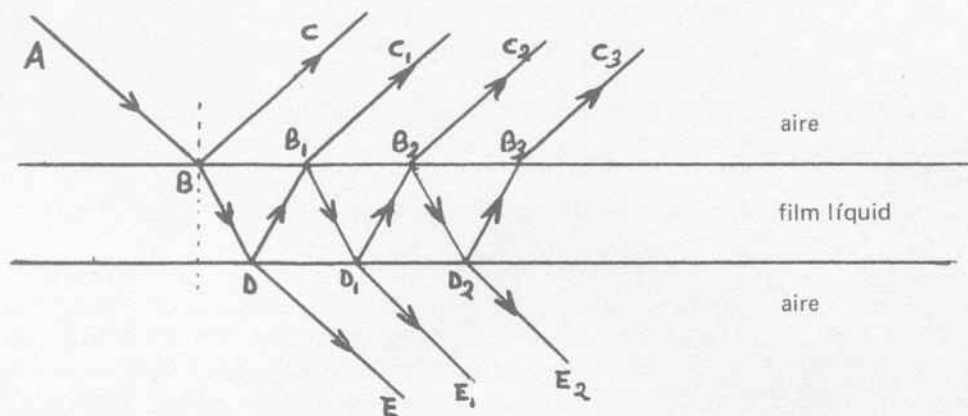
Quan el film líquid es posa vertical, s'aprima a la part superior i es fa més gruixut a la inferior, i es genera una làmina de cares no paral·leles. Com que el gruix, d , varia amb l'alçada, el tipus d'interferència depèn d'aquesta i per tant apareixen franges acolorides horitzontals. Al principi el nombre d'aquestes franges és gran, perquè la diferència entre el gruix de la part inferior i el de la superior és gran, però a mesura que el líquid es va evaporant, disminueix aquesta diferència i per tant el nombre de franges.

Si el film líquid no es trenca, es va aprimant fins arribar a un límit que oscil·la entre 300 i 50 Å de gruix, en el qual s'estabilitza. Quan té aquest gruix es veu negre, és a dir totes les interferències són destructives. La raó es troba en el fet que la diferència de camins òptics entre un i altre raig és molt petita comparada amb la variació que experimenta el raig reflectit a causa del canvi de fase, que equival a $\lambda/2$. Per tant, pot considerar-se que el raig reflectit a la primera cara està en oposició de fase amb el que reflecteix la segona.

$$n2d \cos r \ll \lambda/2$$

També es produeixen interferències amb els raigs de llum que es transmeten, però no són tan apreciables com les produïdes per reflexió; això es deu a que mentre els raigs reflectits BC i B₁C₁ (fig. següent) són d'intensitat semblant (i poden donar interferència destructiva amb intensitat final nul·la), els raigs emergents DE i D₁E₁ són d'intensitat molt diferent i per tant les interferències que d'ells s'originin no podran donar intensitat nul·la.

A la figura següent s'esquematitzen les successives reflexions i refraccions que experimenta un raig de llum en incidir sobre un film líquid:



Per la mateixa raó, intensitat molt diferent, les interferències entre el primer o el segon raig reflectits amb els successius originats per reflexió, B_2C_2 , B_3C_3 , etc., són inapreciables.

BREU VOCABULARI

àcid gras:	àcid carboxílic de nombre parell d'àtoms de carboni (entre 10 i 22 els més corrents) que es troba en els greixos naturals i les ceres.
biodegradable:	compost que es pot descompondre en substàncies més simples per acció d'un organisme.
detergent:	producte químic que, dissolt, modifica la tensió superficial del dissolvent, i la solució adquireix capacitat humectant.
esterificació:	reacció entre un àcid carboxílic i un alcohol per a donar un ester i aigua
glicerina:	$R-COOH + R'-OH \longrightarrow R-COOR' + H_2O$ 1, 2, 3-propatriol ($CH_2OH-CHOH-CH_2OH$). Component dels olis i greixos vegetals i animals.
greix:	esters derivats de la glicerina i dels àcids grassos. Els greixos líquids a 20° C reben el nom d'oli.
herba sabonera:	s'anomena també "sabó de gitana". Planta herbàcia perenne de la família de les cariofil·làcies (<i>Saponaria officinalis</i>) que creix en llocs humits. Conté sàponines i és succedània del sabó.
pols de sabó:	s'obté ratllant el sabó blanc, fent-lo assecar i polvoritzant-lo. La pols es barreja amb caolí, talc i altres substàncies semblants.

sabó:	denominació genèrica dels detergents constituïts per una sal metàl·lica alcalina, amònica o alquilamònica d'un àcid gras.
sabó d'alumini:	estearat d'alumini, emprat per a impermeabilitzar teles.
sabó animal:	preparat a partir de medul·la de bou i emprat en medicina.
sabó escumós:	obtingut amb l'escuma del sabó elaborat amb oli de cacauet, de cotó, de coco, etc., pastat amb una mica del mateix sabó i assecat convenientment.
sabó fluix:	també se'n diu "sabó moll" o "de seda". Es prepara amb tota mena d'olis i greixos emprant la potassa com a àlcali. Se'n diu "de seda" perquè quan està ben fet és tou i es pot estirar formant fils d'aspecte sedós i serveix per a netejar teixits delicats com la seda.
sabó fort:	se'n diu també "sabó de llosa" o "de pedra". Es prepara emprant la sosa com a àlcali.
sabó d'olor:	sabó de tocador fi i perfumat emprat per a la higiene personal.
sabó de plom:	emprat en medicina com a emplastre.
sabó de potassa:	sabó tou fet amb oli de llinosa i hidròxid potàssic. S'empra en la preparació d'ungüents per a la pell.
sabons de resina:	resina tractada en calent pels àlcalis o carbonats per donar lloc a substàncies solubles en aigua amb la que formen escuma i que poden ser emprades com els sabons ordinaris, amb l'avantatge de no precipitar com aquests per l'acció de la sal marina.
sabó de sastre:	esteatita polvoritzada i premsada. Emprada pels sastres per a fer senyals a la roba.
sabó transparent:	obtingut en dissoldre el sabó en alcohol calent, filtrant-lo, destil·lant-lo fins a certa consistència i posant-lo en motlles en els quals es deixa assecar.
sabó de Venècia:	fet amb oli d'ametlles i sosa càustica. Es presenta assecat i en forma de pols.
sabó de vidriers:	diòxid de manganès emprat pels vidriers per a eliminar el color del vidre causant per compostos ferrosos.
saboneta:	pastilla de sabó per a rentar.
saponificació:	tractament d'un ester amb un àlcali aquós per tal de formar un alcohol i la sal alcalina de l'àcid.
sèu:	greix animal fos. S'empra per a fer sabó i candeles.
tensioactiu:	compost que té la propietat de disminuir la tensió superficial de l'aigua o d'una dissolució.
tensió superficial:	manifestació de les forces de cohesió moleculars d'una substància líquida o en dissolució, a la superfície de separació d'un altre medi, que tendeix a conferir-li la forma de mínima energia potencial.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Arranz, J.: *Didáctica de Física y Química*, Ed. Anaya, Salamanca.
- 2 Averbuj, E.: *Pompas. Sólo Pompas*, Cuadernos de Pedagogía, 94, 67 (1982).
- 3 Barrow, G.: *Química general*, Ed. Reverté, Barcelona, 1975.
- 4 Boido, G. i Rela, A.: *Aparatos y aparátitos*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires, 1975.
- 5 Candial Martínez, F.: *Manual teórico-práctico del fabricante de jabones*, Alicante, 1884.
- 6 Cook, G. A.: "Tough Soap Films and Bubbles", *J. Chem. Educ.*, 15, 161 (1938).
- 7 Davies, N.; Denial, M. J.; Locke, A. W., i Reay R.E.: *Investigating Chemistry*, Heinemann Educational Books, London, 1978.
- 8 Estalella, J.: *Ciencia recreativa*, Ed. G. Gili, Barcelona, 1973.
- 9 Ford, L. A.: *Chemical Magic*, T. S. Denison and Co., Minneapolis, 1959.
- 10 Hann, J.: *Els amants de la Ciència*, Ed. Blume, Barcelona, 1981.
- 11 Hill, J. W., i Hill, C. S.: "Transparent Soap", *J. Chem. Educ.*, 57, 372 (1980).
- 12 Isenberg, C.: *The Science of Soap Films and Bubbles*, Tieto Ltd., Clevedon, England, 1978.
- 13 J. Chem. Educ. Staff: "Household Soaps and Detergents", *J. Chem. Educ.*, 55, 596 (1978).

- 14 Jorgen, H.: *Experimento con la ciencia*, Ed. Adara, La Coruña, 1976.
- 15 Kuehner, A. L.: "Long-Lived Soap Bubbles", *J. Chem. Educ.*, 35, 337 (1958).
- 16 Loedel, E.: *Enseñanza de la Física*, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 1957.
- 17 Martín, G.; Martín, A., i Wehile, A.: *Didáctica de la Física y la Química*, Ed. Magisterio Español, Madrid, 1968.
- 18 Mayer, L.: *Métodos de la industria química*, Ed. Reverté, Barcelona, 1978.
- 19 Mohring, J. R.: "An Introductory Experiment on Phosphates in Detergents", *J. Chem. Educ.*, 49, 15 (1972).
- 20 Moriber, G.: *Chemistry. The Working Science*, Van Nostrand Company, New York, 1980.
- 21 Mullin, V. L.: *Química recreativa*, Ed. Santillana, Madrid, 1968.
- 22 *Nuevo manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*, EDHASA, Barcelona, 1978.
- 23 *Nuffield. Química avanzada*, Reverté, Barcelona, 1975.
- 24 *Nuffield. Colección de Experimentos*, Ed. Reverté, Barcelona, 1971.
- 25 Open University: *Curso Básico de Ciencias, Unidad 10 (Compuestos Covalentes)*, McGraw-Hill, Bogotá, 1974.
- 26 Paraira, M., i Calvet, M.: "Los agentes tensioactivos", *Ibérica*, 235, 290 (1982).
- 27 Perelman, Y.: *Física recreativa*, Ed. Mir, Moscú.
- 28 Swezey, K. M.: *Experimentos científicos de sobremesa*, Ed. G. Gili, Barcelona, 1957.
- 29 Walker, J.: *La feria ambulante de la Física*, Ed. Limusa, México, 1979.





publicacions
edicions
universitat
de barcelona



disseny: t. jorda