



UNIVERSITAT  
ROVIRA I VIRGILI



TREBALL FI DE GRAU EN QUÍMICA

**ESTUDI DEL CARBÓ ACTIU COM AJUDANT A LA  
COMBUSTIÓ DE RESIDUS I COM SUPORT SÒLID  
ADSORBENT EN LA PREPARATIVA DE MATRIUS LÍQUIDES  
HETEROGÈNIES**

ARNAU BENAIGES CHORTÓ

Curs: 2022-2023

Tutor acadèmic: Dr. Francesc Diaz

Tutora a l'empresa: Dra. Isabel Barrena Bravo

Empresa: SARPI Constantí, SLU

## ÍNDIX

1. RESUM.....	3
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓ .....	4
4. OBJECTIUS .....	5
5. FONAMENTS TEÒRICS .....	6
5.1. EL CARBÓ ACTIU .....	6
5.2. PODER CALORÍFIC SUPERIOR.....	8
5.3. FLUORESCÈNCIA DE RAIGS X.....	9
6. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	10
6.1. ÍNDEX DE REACTIUS .....	10
6.2. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM AJUDANT A LA COMBUSTIÓ .....	11
6.3. PODER CALORÍFIC DE MOSTRES REALS UTILITZANT CARBÓ ACTIU .....	12
6.4. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM ADSORBENT PER A MÀTRIX HETEROGÈNIES .....	15
6.4.1. PREPARACIÓ DE LES “PAPILLES” .....	15
6.4.2. CONTAMINANTS QUE SÓN APORTATS A LA “PAPILLA” .....	16
6.4.3. PATRONS EN BASE AIGUA.....	16
6.4.4. PATRONS EN BASE OLI .....	17
6.4.5. “PAPILLES” AMB MOSTRES REALS .....	18
7. RESULTATS .....	20
7.1. PODER CALORÍFIC DEL CARBÓ ACTIU .....	20
7.2. ÚS DEL CARBÓ ACTIU PER DETERMINAR EL PODER CALORÍFIC DE MOSTRES REALS .....	21
7.3. CONTAMINANTS QUE SÓN APORTATS A LA “PAPILLA” .....	22
7.4. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN PATRONS EN BASE AIGUA .....	24
7.4.1. PATRONS EN BASE AIGUA.....	24
7.4.2. “PAPILLES” AMB PATRONS EN BASE AIGUA .....	25
7.5. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN PATRONS EN BASE OLI .....	27
7.5.1. PATRONS EN BASE OLI .....	27
7.5.2. “PAPILLES” AMB PATRONS EN BASE OLI.....	28
7.6. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN MOSTRES REALS .....	29
8. CONCLUSIONS .....	35
9. BIBLIOGRAFIA.....	39
10. ANNEX .....	40

## **1. RESUM**

El carbó actiu és un tipus de carbó que s'ha processat perquè sigui molt porós. Actualment, s'utilitza en diferents aplicacions, sobretot com a adsorbent i com a filtre en la purificació d'aire, aigua i gasos. També és un bon combustible i junt amb les anteriors propietats, es vol comprovar l'ús del carbó com a ajudant en la combustió de mostres de residus, sobretot en matrius residuals aquoses o matrius amb un perfil inorgànic, al mateix temps volem estudiar i observar la seva capacitat d'homogeneïtzar mostres heterogènies i poder formar una "papilla" per la posterior anàlisi mitjançant fluorescència de raigs X.

Per tant, en aquest treball s'ha estudiat el comportament del carbó actiu per a dues propietats diferents: l'ús del carbó actiu com ajudant de la combustió i, l'ús com a adsorbent per realitzar "papilles" homogènies de mostres heterogènies amb diferents tipus de matrius i la seva desviació del resultat en el RFX.

## **2. ABSTRACT**

Active coal is a type of coal that has been processed to be very porous. Currently, it is used in different applications, especially as adsorbent and as a filter in the purification of air, water and gases. It is also a good fuel and, together with the above properties, we want to check the use of coal as an aid in combusting waste samples, especially in aqueous waste matrices or inorganic profile matrices; while at the same time, we want to study and observe its ability to homogenize heterogeneous samples and be able to form a "papilla" for subsequent X-ray fluorescence analysis.

Thus, in this work, the behavior of activated coal has been studied for two different properties: the use of active coal as a combustion helper and the use as adsorbent to perform homogeneous "papilles" of heterogeneous samples with different types of matrices and its deviation from the result in RFX.

### 3. INTRODUCCIÓ

Aquest treball s'ha realitzat al laboratori de l'empresa SARPI Constantí, SLU. SARPI Constantí és una empresa ubicada al polígon industrial de Constantí que es dedica a la gestió i al tractament de residus especials. Aquesta empresa té una gran importància, ja que és l'única planta incineradora a l'estat espanyol amb forn rotatiu autoritzada per a la incineració de residus perillosos. Els residus que arriben a la planta provenen d'indústries com la farmacèutica, locomoció, petroquímica, de la cosmètica, de l'alimentària, fotogràfica, tèxtil, residus fitosanitaris ramaders, etc.

La innovadora tecnologia de la planta permet una combustió a altes temperatures que assegurin l'oxidació total de la matèria orgànica i la completa depuració dels gasos generats en el procés.

La planta es divideix en tres grans àrees que són: recepció dels residus, emmagatzematge (parc de tancs, magatzem de residu envasat) i la línia de tractament, els equips principals dels quals són un sistema d'alimentació de residus líquids i residus envasats, un forn rotatiu, la cambra de postcombustió, caldera de recuperació, electrofiltre, catalitzador, rentat de gasos, planta de tractament d'aigües i turbina.

Si ens fixem en la figura 1, veiem que es un esquema del funcionament de la planta. Començaríem amb el que seria l'emmagatzematge i les diferents entrades possibles dels residus cap al forn (injecció directa, trituradora, parc de tancs, pastosos i fossa (directa o prèvia trituració)). Segons les característiques de cada residu, anirà per una via o per una altra. De la sortida del forn obtenim els gasos generats durant la combustió, les cendres i les escòries. Els gasos, que contenen les cendres, passen a un electrofiltre en què les cendres dipositen per així ser eliminades. El següent pas és el procés de depuració dels gasos produïts en la combustió per, finalment, sortir per la xemeneia  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Durant el procés de depuració dels gasos de combustió, es recupera calor que posterior, es transformarà en electricitat que serveix per al propi consum i per vendre a la xarxa elèctrica.

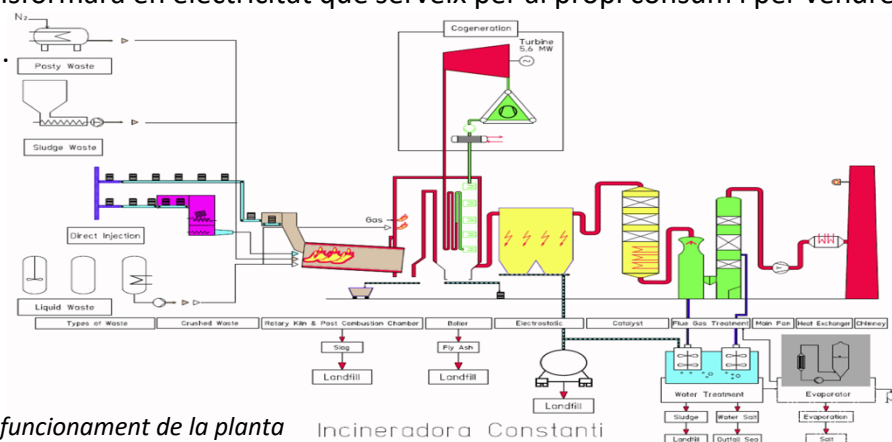


Figura 1. Esquema general del funcionament de la planta

#### **4. OBJECTIUS**

En aquest treball es volen estudiar dos conceptes: el primer, comprovar si el carbó actiu serveix com a bon ajudant a la combustió en els residus per la determinació del poder calorífic superior i, el segon, observar si el carbó és un bon suport sòlid adsorbent en la preparativa de “papilles” per homogeneïtzar les mostres que tenen una matriu heterogènia. Tot això es compara amb resultats obtinguts mitjançant l'ús de cel·lulosa en pols, que és el material que s'utilitza actualment.

## **5. FONAMENTS TEÒRICS**

### **5.1. EL CARBÓ ACTIU**

El carbó actiu és l'adsorbent més antic que es coneix. És conegut per ser un adsorbent molt efectiu gràcies a la seva porositat, per la gran àrea superficial (uns 3000 m<sup>2</sup>/g), alt grau de reactivitat en la superfície i característiques variables de la química de la superfície. Gràcies a aquestes característiques, el carbó actiu s'utilitza com a adsorbent, però també com a catalitzador i com a suport catalític per diferents usos, com, per exemple, per eliminar contaminants en gasos i líquids o la purificació per recuperar productes químics<sup>[1]</sup>.

El carbó actiu es presenta, principalment, en dues formes: carbó actiu en pols (PAC) i carbó actiu granulat (GAC).

El carbó actiu en pols està format per petites partícules de carbó, d'uns 0.2 mm de diàmetre i, per tant, presenta una gran superfície activa. Per contra, el carbó actiu granulat presenta partícules de 5 mm de diàmetre amb una àrea superficial petita.

Materials com el carbó, fusta, el lignit, les cloques del coco i la torba, són usats per preparar carbó actiu.

Hi ha tres mètodes per preparar carbó actiu a partir del carbó: activació física, activació química i la piròlisi.

- Activació física: consta de dues etapes. Implica la carbonització d'un material carbònic seguit de l'activació del carbó obtingut a elevades temperatures en presència de gasos oxidants com diòxid de carboni o aire.
- Activació química: en aquest cas es produeix la carbonització i l'activació simultànies, barrejant el precursor amb agents activadors químics com oxidants i deshidratants. Els agents químics més comuns són el ZnCl<sub>2</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> i K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. A més, utilitzant aquest mètode s'aconsegueix un carbó actiu amb millors estructures poroses, ja que es treballa a temperatures més baixes que amb l'activació física.
- Piròlisi de vapor: és una altra ruta d'una sola etapa en què la matèria primera s'escalfa a temperatures moderades sota un flux de vapor pur.

Com s'ha dit abans, hi ha diferents tipus de carbó actiu, que es classifiquen segons les seves característiques obtingudes depenent del mètode de preparació.

- Carbó actiu en pols (PAC): consisteix en petites partícules de carbó activat, amb una mida inferior a 0.075 mm, produïdes per la mòlta de carbó actiu.
- Carbó actiu granulat (GAC): consta de partícules de forma irregular amb mides que oscil·len entre 0.2 i 5 mm. Els carbons activats granulars es fan activant el material base directament o després d'un pas d'aglomeració.
- Carbó actiu extruït (EAC): combina carbó activat en pols amb un aglutinant, que es fusionen i s'extrudeixen en un bloc de carbó activat de forma cilíndrica amb diàmetres de 0.8 a 130 mm.
- Carbó impregnat: són carbonis porosos que contenen diversos tipus d'impregnants inorgànics, com el iode i la plata.
- Carbó recobert de polímer: aquest és un procés pel qual un carboni porós es pot recobrir amb un polímer biocompatible per donar una capa llisa i permeable sense bloquejar els porus.

D'entre tots aquests tipus de carbó actiu, els que més s'utilitzen són el carbó actiu en pols i el carbó actiu granulat.

Si ens fixem en les propietats del carbó actiu, veiem que algunes de les més importants són:

- Àrea superficial específica: L'elevada capacitat d'adsorció del carbó activat es deu al seu augment de superfície. Com més gran sigui la superfície, més gran serà l'extensió d'adsorció.
- Densitat: Una densitat més alta proporciona una major activitat de volum i normalment indica carbó actiu de millor qualitat.
- Duresa: És una mesura de la resistència del carbó actiu al desgast. Per tant, aquest factor ajuda a determinar la durabilitat del producte de carbó actiu en les aplicacions.
- Porositat: Tant la mida com la distribució dels microporus, mesoporus i macroporus determinen les propietats adsortives dels carbons actius. Per exemple, la mida petita dels porus no atraparà molècules d'adsorbat grans i és possible que els porus grans no puguin retenir adsorbats petits<sup>[2]</sup>.

## 5.2. PODER CALORÍFIC SUPERIOR

El poder calorífic superior és la quantitat total de calor generada en la combustió completa d'una unitat de massa d'una substància quan el vapor d'aigua que es produeix en aquesta combustió es condensa i, per tant, és possible aprofitar la calor latent en aquest canvi de fase de gas a líquid<sup>[3,4]</sup>.

En conseqüència, una matriu residual aquosa tindrà un valor de poder calorífic superior baix i necessitarà un ajudant per poder assegurar una bona combustió de la mostra. En canvi, una mostra orgànica, com un hidrocarbur, generarà una quantitat de calor suficient sense necessitat de cap ajudant en la seva combustió.

La bomba calorimètrica s'utilitza per determinar el poder calorífic superior d'una substància quan es crema una quantitat determinada.

Una quantitat de mostra es col·loca a una cubeta i un fil de parafina unint la cubeta amb un fil de ferro. La bomba es carrega amb oxigen a pressió i, quan una quantitat de corrent passa pel fil de ferro, s'encén la substància continguda a la cubeta i es produeix la combustió. En el moment de la combustió, l'obús està envoltat d'aigua per així absorbir la calor que es produeix.

Com a exemples d'ajudants en la combustió de la mostra, es pot afegir cel·lulosa microcristal·lina, oli de parafina, tira de parafina, càpsula d'acetobutirat (en el cas de dissolvents volàtils).

### 5.3. FLUORESCÈNCIA DE RAIGS X

La fluorescència és la propietat d'una substància per emetre llum quan s'exposa a radiacions del tipus ultravioleta, raigs catòdics o raigs X.

L'objectiu de la fluorescència de raigs X és l'obtenció d'una anàlisi elemental, pot ser qualitatiu o quantitatiu, en un interval que comprèn des del nombre atòmic  $Z = 11$  (Na) fins  $Z = 92$  (U) a excepció dels elements que, ja sigui pel seu estat físic (ex: gasos nobles), ja sigui per la seva inestabilitat i baixa abundància relativa (ex: tecneci) no es poden calibrar al no existir patrons adequats.

Existeixen dos tipus d'espectrometria, l'espectrometria de raigs X de dispersió de longitud d'ona (WDX) i l'espectrometria de raigs X de dispersió d'energies (EDX). El primer es caracteritza per, a l'excitar la mostra amb un feix de radiació de raigs X, l'espectre que obtenim són els components monocromàtics en funció de les seves longituds d'ona. El segon cas, el de la dispersió d'energies, permet descompondre l'espectre de fluorescència en les seves components monocromàtiques en funció de la diferència entre les seves energies. En el meu cas, treballarem en un de dispersió de longitud d'ona.

La fluorescència de raigs X és una tècnica espectroscòpica que utilitza l'emissió secundària o fluorescent de radiació X a l'excitar una mostra amb una font de radiació X. La radiació X incident o primària, produïda per un tub de raigs X, expulsa electrons de capes interiors de l'àtom. Els electrons de capes més externes ocupen els llocs vacants i, l'excés energètic resultant d'aquesta transició es dissipa en forma de fotons, radiació X

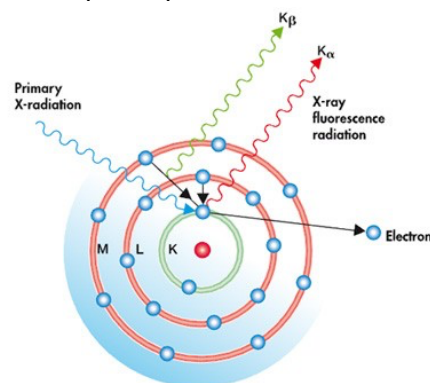


Figura 2. Esquema de les transicions electròniques generades pel raig X

fluorescent o secundària. El feix de raigs secundaris s'envia a un sistema dispersiu anomenat goniòmetre. Aquest sistema produeix un espectre de línies característiques en relació amb els elements continguts en la mostra. Les diferents energies de l'espectre de fluorescència X són difractades per un cristall i després captades a través d'un detector proporcional de gas o per un comptador de centelleig. La intensitat de la radiació és proporcional a la concentració dels elements presents en la mostra, fet que permet la seva quantificació<sup>[5,6]</sup>.

## **6. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

### **6.1. ÍNDEX DE REACTIUS**

Tots els reactius utilitzats en aquest treball, es detallen a continuació:

*Taula 1. Reactius utilitzats en l'estudi*

<b>REACTIU</b>	<b>CONCENTRACIÓ</b>	<b>REFERÈNCIA</b>	<b>DATA DE CADUCITAT</b>
CARBÓ ACTIU	Extra pur	Merck 1.02184.1000	01-2025
OLI DE PARAFINA	100%	Chem-Lab CL00.1605.1000	05-2025
TIRA DE PARAFINA		IKA C15 3131100	
ETANOL	100%	J.T. Baker™ 8025.1000	11-2024
HEXÀ	+99%	Chem-Lab CL00.0802.1000	11-2027
TOLUÈ	100%	Merck 1.08325.1000	10-2008
HIDRÒXID SÒDIC	0,25 N		
PERÒXID D'HIDROGEN	30%	PanReac 121076.1211	10-2020
CEL·LULOSA		FLUXANA BM-0003-250	
ÀCID CLORHÍDRIC	37 – 38%	J.T. Baker™ 6081.1000	08-2024
CLORUR DE SODI	100%	J.T. Baker™ 0278.1000	06-2024
ÀCID SULFÚRIC	95 – 97%	Sigma-Aldrich 30743-1L-M	
ÀCID BROMHÍDRIC	10%	Chem-Lab CL02.0231.1000	06-2025
PATRÓ D'OLI DE CLOR	30%	ALPHA DMR2101	2 anys des que s'obre
PATRÓ D'OLI DE BROM	10%	ALPHA DMR2137	2 anys des que s'obre

## 6.2. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM AJUDANT A LA COMBUSTIÓ

Primerament es va determinar experimentalment el poder calorífic superior del carbó. Amb l'ús de dos bombes calorimètriques (IKA C2000 i IKA C6000) i sempre amb el mateix obús, es van fer 10 mesures amb cada IKA. Es van pesar uns 0.27 g de carbó actiu i tres gotes d'oli de parafina per ajudar a que comenci la ignició i es va obtenir el valor del poder calorífic superior de cada mesura. Les mesures en cada bomba es van fer seguides i el mateix dia per així tenir les mateixes condicions ambientals.

A l'obús s'afegeix una solució captadora de 10 ml de NaOH 0.25N i 0.5 ml de peròxid d'hidrogen, ja que, així es capten els gasos que es formen durant la combustió. Pel que fa a la determinació del poder calorífic superior, no es necessària aquesta solució, ja que només s'utilitza per injectar la solució a la iònica o per determinar la presència de fluor a la mostra amb l'ús d'un kit. En el meu cas, si que vaig haver d'afegir la solució, ja que els obusos estan calibrats contenint la solució. Després, amb una cubeta metàl·lica és on s'afegeix el carbó actiu i les gotes de parafina i, amb l'ajut d'una tira de parafina, s'uneix el contingut de la cubeta metàl·lica amb el fil metàl·lic de l'obús que es per on passa el corrent elèctric per, posteriorment, produir-se la combustió.

En la següent figura es pot veure com seria el muntatge correcte de l'obús amb la mostra a combustionar.



*Figura 3. Muntatge de la cubeta amb l'obús*

Es pot veure el muntatge esmentat anteriorment. Es veu el fil de ferro en el què passen els electrons, el fil que uneix la cubeta amb el fil metàl·lic (en la figura és un fil de cotó però en el meu cas s'ha fet amb tira de parafina) i la cubeta amb la mostra.

### 6.3. PODER CALORÍFIC SUPERIOR DE MOSTRES REALS UTILITZANT CARBÓ ACTIU

Per veure l'eficàcia del carbó com ajudant a la combustió, es realitza la combustió de diferents mostres de residus que han entrat a la planta per ser eliminades.

Es van escollir 8 mostres heterogènies diferents i 3 mostres homogènies. Amb aquestes 11 mostres, es va determinar el poder calorífic superior de cada una d'elles utilitzant carbó actiu i cel·lulosa microcristal·lina com ajudants a la combustió, per així poder comparar els valors.

Les mostres escollides van ser aquestes:

- Mostra 1: Sepiolita contaminada

Composició de la mostra:

- Fase superior: Líquid viscos (27%)
- Fase inferior: Sòlid (73%)

Test a la flama:

- Fase superior: Inflama
- Fase inferior: No inflama



Figura 4. Sepiolita contaminada

- Mostra 2: Residus sòlids vaporitzats HTR. Són neteges amb aigua de fabricació per canvi de producte del tetranyl al danox.

Composició de la mostra:

- Fase 1: Líquid viscos (26%)
- Fase 2: Pastós (14%)
- Fase 3: Pastós (21%)
- Fase 4: Líquid (39%)

Test a la flama:

- Fase 1: Líquid i inflama
- Fase 2: Líquid i inflama
- Fase 3: Líquid i inflama
- Fase 4: No inflama.



Fase 1  
Fase 2  
Fase 3  
Fase 4

Figura 5. Residus sòlids vaporitzats HTR

- Mostra 3: Llots halogenats. Llots amb pintures amb PVC i residu pastós clorat.

Composició de la mostra:

- Fase superior: Líquid (65%)
- Fase inferior: Sòlid (35%)

Test a la flama:

- Fase superior: Poc inflamable
- Fase inferior: No inflama



Figura 6. Llots halogenats

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
 Arnau Benaiges Chortó

- Mostra 4: Tensioactius aniònics. Procedent de purgues, neteges de línies, neteja de mànegues, etc.

Composició de la mostra:

- Fase superior: Líquid (64%)
- Fase inferior: Pastós (36%)

Test a la flama:

- Fase superior: No inflama
- Fase inferior: No inflama



Figura 7. Tensioactius aniònics

- Mostra 5: Coles i segellants. Restes de fabricació de pintures i lots de pintura obsolets.

Composició de la mostra:

- Fase superior: Líquid viscos (73%)
- Fase inferior: Pastós (27%)

Test a la flama:

- Fase superior: Molt inflamable
- Fase inferior: Inflama



Figura 8. Coles i segellants

- Mostra 6: Escorregut de bidons.

Composició de la mostra:

- Fase 1: Pastós (42%)
- Fase 2: Líquid viscos (37%)
- Fase 3: Sòlid (21%)

Test a la flama:

- Fase 1: Inflama amb bombolleig
- Fase 2: No inflama
- Fase 3: No inflama



Fase 1  
Fase 2  
Fase 3

Figura 9. Escorregut de bidons

- Mostra 7: Àcids orgànics.

Composició de la mostra:

- Fase 1: Líquid viscos (39%)
- Fase 2: Líquid viscos (32%)
- Fase 3: Sòlid (29%)

Test a la flama:

- Fase 1: No inflama
- Fase 2: No inflama
- Fase 3: No inflama



Fase 1  
Fase 2  
Fase 3

Figura 10. Àcids orgànics

- Mostra 8: Fangs amb plàstics. Fangs de la rentadora de plàstic triturat. Rentatge de plàstic triturat.

Composició de la mostra:

- Fase 1: Sòlid + Líquid (50%)
- Fase 2: Líquid (29%)
- Fase 3: Sòlid (21%)

Test a la flama:

- Fase 1: No inflama
- Fase 2: No inflama
- Fase 3: No inflama



Fase 1  
Fase 2  
Fase 3

Figura 11. Fangs amb plàstics

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
Arnau Benaiges Chortó

- Mostra 9: Dissolvents diluïts amb etanol. Fabricació de principis actius farmacèutics.

Composició de la mostra:

- Fase líquida (100%)

Test a la flama:

- Fase líquida: Inflama poc

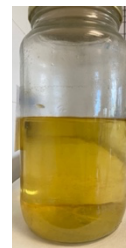


Figura 12. Dissolvents diluïts amb etanol

- Mostra 10: Propanal. Restes de fabricació de resines.

Composició de la mostra:

- Fase líquida (100%)

Test a la flama:

- Fase líquida: Molt inflamable



Figura 13. Propanal

- Mostra 11: Líquids a granel no halogenats. Líquid orgànic.

Composició de la mostra:

- Fase líquida (100%)

Test a la flama:

- Fase líquida: No inflama



Figura 14. Líquids a granel no halogenats

Per fer-ho, es pesen aproximadament 0,27 grams de mostra en una cubeta metàl·lica i la mateixa quantitat de carbó actiu. A més, s'afegeixen 3 gotes d'oli de parafina per a que comenci la ignició i assegurar que la combustió es completa.

A més a més d'haver fets els poders calorífics amb el carbó actiu, també es van fer utilitzant la cel·lulosa. Com en el cas del carbó actiu, es van afegir les mateixes quantitats de mostra i carbó i d'oli de parafina. Per poder comparar els resultats, es van fer servir els mateixos obusos i bomba calorimètrica en cada mostra.

A l'apartat de resultats, a la taula 4, tenim el poder calorífic superior de cada mostra fet amb cel·lulosa i amb carbó actiu per així poder comparar cada valor.

En les taules 33 i 34 de l'apartat annex, es poden consultar els pesos i valor de PCS per cada repetició i mostra.

## 6.4. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM ADSORBENT PER A MATRIUS HETEROGÈNIES

### 6.4.1. PREPARACIÓ DE LES "PAPILLES"

Abans de tot, es va comprovar la quantitat de cel·lulosa i carbó actiu que es necessita per obtenir una "papilla" amb una correcta textura. El que es vol aconseguir, és una consistència seca. Per tant, com que actualment es preparen les "papilles" amb 4 g de mostra i 2 g de cel·lulosa, es va provar amb aigua si tenia bona consistència. Com es pot

comprovar a la figura 15, es va veure que la textura no era correcta, ja que quedava una mostra humida. Per tant, es va anar afegint cel·lulosa fins a la textura desitjada. Amb 4 grams de mostra, es necessiten 3 g de cel·lulosa per fer una bona "papilla". Un cop ja es tenia aquesta dada, es va fer el mateix amb el carbó actiu. Es va

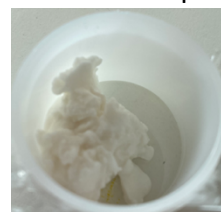


Figura 15. "Papilla" amb cel·lulosa

obtenir que amb 4 g de mostra es necessiten 1.9 g de carbó actiu per obtenir una textura similar que amb els 3 g de cel·lulosa.

A més de fer-ho amb aigua, també es va comprovar amb etanol, hexà i toluè per així tenir quatre matrius diferents: una matriu aquosa, una matriu alcohòlica, una matriu hidrocarbur i una matriu dissolvent aromàtic. Com es pot veure a la taula 2, amb totes les matrius es necessitava la mateixa quantitat d'adsorbent que amb la matriu aquosa.

Taula 2. "Papilles" amb diferents tipus de dissolvents

	AIGUA	ETANOL	HEXÀ	TOLUÈ
CEL·LULOSA				
CARBÓ ACTIU				

A part d'això, es va fer una prova mitjançant els volums de cada adsorbent. En una proveta es van afegir 3 g de cel·lulosa i es va eliminar l'aire pegant uns copets a la base de la proveta. Es va veure que ocupaven un volum de 6,3 ml. Per tant, amb el valor del volum, es va tarar la mateixa proveta i es va anar afegint carbó i eliminant l'aire fins que es va arribar al valor del volum. Un volum de 6,3 ml corresponen a 1.9 g de carbó.

#### 6.4.2. CONTAMINANTS QUE SÓN APORTATS A LA "PAPILLA"

És realment el carbó actiu extra pur? Per assegurar-nos que el carbó no ens aporta cap contaminant, es va analitzar al fluorescència una quantitat de carbó i els valors obtinguts d'elements presents, es recullen en la taula 6 de l'apartat de resultats.

Quan preparem les "papilles", a part del carbó actiu i la cel·lulosa, tenim dos factors més que ens poden aportar contaminants. Aquest són l'aigua Mili-Q amb la que es preparen els patrons en base aigua i oli de parafina, amb el que es preparen els patrons en base oli. Per tant, es va preparar una "papilla" amb aigua i cel·lulosa, una amb aigua i carbó, una amb oli de parafina i cel·lulosa i, una última, amb oli de parafina i carbó actiu.

Aquestes mesures ens serviran per tenir una idea de la concentració i del contaminant que hi haurà en cada tipus de "papilla". En la taula 8 dels resultats, podem observar cada contaminant present i la seva concentració.

#### 6.4.3. PATRONS EN BASE AIGUA

Una vegada obtingudes les quantitats de cada adsorbent per preparar la "papilla", es van preparar patrons de diferents elements per així poder comprovar el comportament de la cel·lulosa i del carbó actiu en l'anàlisi mitjançant el RFX. Es van preparar tres patrons a l'1%, al 2% i al 5% de clor a partir d'àcid clorhídric. El mateix es va fer amb el sodi, a partir de clorur sòdic. En aquest cas també serveix per poder avaluar el clor a partir d'una sal. Es van fer patrons en les mateixes concentracions partint d'àcid sulfúric, per veure com el carbó quantifica el sofre. I, finalment, a partir d'àcid bromhídric es van preparar patrons del 0.1%, 1% i 3% en brom. En el cas del brom, es fan patrons a concentracions més baixes, ja que són valors de concentració en brom d'interès per a l'empresa.

Per assegurar que els patrons estaven ben preparats, es va passar cada un per duplicat pel RFX i els resultats es recullen a les taules (9, 10, 11 i 12).

Un cop avaluats i comprovats que tots els patrons preparats eren correctes, es van preparar 10 “papilles” per cada patró en cel·lulosa i 10 en carbó i així poder comparar els resultats en cada adsorbent. Es van pesar 4 grams de patró i 3 grams de cel·lulosa o 1.9 grams de carbó actiu en un vas, es va homogeneïtzar la mescla amb l’ajuda d’una espàtula i es va afegir la “papilla” en una cubeta i es va mesurar al RFX. Al moment d’afegir la mescla a la cubeta, es va tenir en compte que ocupés tota la superfície de la cubeta per la qual incideix el raig i, a més, procurar que la “papilla” estigués ben homogeneïtzada. Es va repetir el mateix procediment per tots i cada un dels patrons.



Figura 16. “Papilles” amb els patrons en base aigua

Tots els pesos de mostra i adsorbent de cada mesura i el resultat en percentatge de l’element en qüestió en les “papilles”, es recullen en les taules de l’apartat 10.3.

#### 6.4.4. PATRONS EN BASE OLI

Amb les mesures fetes fins ara, es va avaluar el comportament de cada adsorbent en matrius aquoses, ja que els patrons estaven preparats en base aigua. Però, com que a l’empresa també arriben mostres orgàniques, també interessa veure com actuen la cel·lulosa i el carbó actiu i es van fer les mesures en patrons preparats en base orgànica. Es van preparar patrons en base oli a partir de patrons certificats. En aquest cas, per falta de temps, només es van poder fer patrons per el clor i el brom. Per al clor es van fer patrons al 1%, 2% i 5% a partir d’un patró al 30% en clor. Per al brom es van preparar patrons al 0.1%, 1% i 3% a partir d’un patró al 10%. Com que aquests patrons certificats estan preparats amb oli de parafina, també es va utilitzar oli de parafina per preparar les dissolucions.

Amb els patrons ja preparats, de la mateixa manera que amb els patrons aquosos, es van passar per duplicat cada patró per obtenir el valor del contingut de l’element en què s’havia preparat. Els resultats es recullen en les taules (17 i 18).

Es van tornar a preparar les “papilles” amb cel·lulosa i carbó actiu amb els mateixos grams que en el cas dels patrons en base aigua i es va passar cada mostra pel fluorescència de raigs X. A les taules (19 i 20), es poden veure els resultats.



Figura 17. “Papilles” amb els patrons en base oli

#### 6.4.5. "PAPILLES" AMB MOSTRES REALS

La idea d'aquest treball era primer fer les "papilles" amb el patrons i després treballar amb les mostres que es van escollir per mesurar els poders calorífics. Com que el temps és molt limitat i, si aquest treball es vol fer per tots els elements es necessitaria molt més temps, es va haver de canviar el plantejament del treball.

Com que per als patrons en base oli només es va poder fer per l'element clor i brom, es van buscar mostres reals que fossin heterogènies i que tinguessin clor o brom, però preferiblement que tinguessin els dos elements. Per tant, en aquest punt es va treballar amb 3 mostres reals.

La primera mostra és la mostra 3 de les mostres utilitzades en la determinació del poder calorífic superior, esmentades a l'apartat 6.3. Aquesta es la mostra que correspon als llots halogenats, que ens serveix ja que conté clor. Pel que fa a les altres tres mostres escollides, són les següents:

- Mostra 1: Llots halogenats. Llots amb pintures amb PVC i residu pastós clorat.
- Mostra 2: Líquids a granel
- Mostra 3: Aigües de la indústria farmacèutica



*Figura 18. Mostra 1.  
Llots halogenats*



*Figura 19. Mostra 2.  
Líquids a granel*



*Figura 20. Mostra 3. Aigües  
de la indústria farmacèutica*

En les mostres 2 i 3 hi ha presència de brom i de clor menys en la mostra 1 que només hi ha clor, segons analítiques prèvies a la mostra.

Per tant, es va procedir de la mateixa manera que amb els patrons. En aquest cas, però, es van fer tres “papilles” per cada adsorbent i mostra. Es van pesar els grams de mostra i els grams de adsorbent i es van passar les “papilles” pel fluorescència de raigs X.

Les textures de les “papilles” per cada mostra i adsorbent són les següents:

- Mostra 1. Llots halogenats



Figura 21. “Papilles” de la mostra 1

- Mostra 2: Líquids a granel



Figura 22. “Papilles” de la mostra 2

- Mostra 3: Aigües de la indústria farmacèutica



Figura 23. “Papilles” de la mostra 3

A diferència dels patrons, en aquestes mostres no sabem la quantitat real de clor o brom que tenim. Com que el RFX és una tècnica semiquantitativa, es va utilitzar la cromatografia iònica per conèixer realment la concentració d'aquests halògens en cada mostra.

Per fer-ho, es combustionava una quantitat de mostra. Un cop combustionada la mostra, es recullen els gasos generats en la combustió sobre una solució captadora de NaOH 0.025N en una estació de recollida de gasos. La solució captadora amb els gasos s'afegeixen a un matràs aforat. El contingut d'aquest matràs, enrasat amb aigua ultrapura, és el que s'injecta al cromatògraf.

Aquest procediment es realitza per cada una de les tres mostres escollides i, una vegada passat el temps d'anàlisi de cada una d'elles, s'obté el cromatògraf que ens indica la concentració de clor i/o brom, que són els ions que ens interessin.

## **7. RESULTATS**

### **7.1. PODER CALORÍFIC SUPERIOR DEL CARBÓ ACTIU**

Després de fer les 20 determinacions del poder calorífic superior del carbó actiu, els valors del pes de carbó i d'oli de parafina i el valor del PCS per cada mesura, es recullen en la següent taula:

*Taula 3. Valors del poder calorífic superior del carbó actiu*

Resultats obtinguts amb el IKA C2000				Resultats obtinguts amb el IKA C6000			
MESURA	g CARBÓ	g PARAFINA	PCS (Kcal/Kg)	MESURA	g CARBÓ	g PARAFINA	PCS (Kcal/Kg)
1	0.2711	0.0856	7698	1	0.2726	0.0902	7826
2	0.2739	0.0880	7715	2	0.2737	0.0849	7663
3	0.2714	0.0874	7762	3	0.2766	0.0923	7702
4	0.2712	0.0891	7628	4	0.2748	0.0879	7654
5	0.2731	0.0871	7641	5	0.2720	0.0839	7821
6	0.2706	0.0927	7694	6	0.2728	0.0985	7693
7	0.2724	0.0871	7688	7	0.2758	0.0844	7768
8	0.2725	0.0871	7783	8	0.2705	0.0831	7672
9	0.2718	0.0906	7725	9	0.2737	0.0934	7735
10	0.2712	0.0882	7812	10	0.2706	0.0873	7773

Si observem els resultats, veiem que l'ús d'una bomba calorimètrica o l'altra, no afecta significativament en la determinació del poder calorífic superior, ja que el resultat en els dos casos és similar. Per tant, després de comprovar que cap dels vint punts és un *outlier*, si fem la mitjana de tots els valors, obtenim que el poder calorífic superior del carbó actiu utilitzat és de 7723 kcal/kg (32333 J/g).

En conseqüència, aquest valor és el que ens aporta el carbó actiu quan l'utilitzem com a ajudant en la combustió de mostres.

## 7.2. ÚS DEL CARBÓ ACTIU PER DETERMINAR EL PODER CALORÍFIC DE MOSTRES REALS

Després d'obtenir el valor del poder calorífic superior del carbó actiu, es van fer els poders calorífics de les 11 mostres reals que es van escollir. Per cada mostra i adsorbent es van fer tres mesures per determinar el PCS.

Primer es van obtenir els valors de PCS utilitzant cel·lulosa i oli de parafina com a ajudants en la combustió. Un cop obtinguts aquests valors, es va fer el mateix però fent servir carbó actiu com a ajudant a la combustió.

En l'annex, es pot veure les taules (taules 33 i 34) amb els pesos de mostra, cel·lulosa o carbó actiu i d'oli de parafina, amb el valor de PCS de cada mostra.

En la següent taula, podem veure la mitjana dels valors de poder calorífic superior per cada mostra i adsorbent. Per tant, es poden veure els valors emprant cel·lulosa o carbó actiu. Els valors de poder calorífic es donen en calories per gram (cal/g).

Taula 4. Valors del poder calorífic superior de cada mostra

MOSTRA	VALOR DE PCS UTILITZANT	
	CEL·LULOSA	CARBÓ ACTIU
1. SEPIOLITA CONTAMINADA	4979	4771
2. RESIDUS SÒLIDS VAPORITZATS HTR	3280	2606
3. LLOTS HALOGENATS	3662	3884
4. TENSIOACTIUS ANIÒNICS	1210	1227
5. COLES I SEGELLANTS	5738	6687
6. ESCORREGUT DE BIDONS	2075	2065
7. ÀCIDS ORGÀNICS	1253	1336
8. FANGS AMB PLÀSTICS	325	226
9. DISSOLVENTS DILUÏTS AMB ETANOL	1792	1843
10. PROPANAL	7277	6797
11. LÍQUIDS A GRANEL NO HALOGENATS	958	754

A més de ser bons ajudants a la combustió, el carbó i la cel·lulosa, en ser adsorbents, són bons materials, ja que així adsorbeixen la mostra que s'afegeix a la cubeta i, així, s'assegura una combustió completa de la mostra.

Si analitzem els valors utilitzant un ajudant o un altre, veiem que no hi ha diferència significativa amb el poder calorífic superior si fem servir cel·lulosa o carbó.

Si ens fixem en les taules 33 i 34 en l'annex, veiem que, per cada mostra, s'obtenen valors repetitius, el que vol dir que l'ús d'un adsorbent o un altre, no afecta en el resultat. Per tant, podem afirmar que el carbó actiu és un bon ajudant per a la combustió de mostres de residus per la determinació del poder calorífic superior.

### 7.3. CONTAMINANTS QUE SÓN APORTATS A LA “PAPILLA”

Com s’ha comentat en la part experimental, primer es determinen els contaminants que conté el carbó actiu que utilitzem per realitzar les “papilles”. Si mirem el certificat d’anàlisi del productor, veiem que conté els següents elements en certes quantitats:

*Taula 5. Contingut de contaminants en el carbó actiu segons el certificat del productor*

ELEMENT	CONCENTRACIÓ
CLOR	≤ 200 ppm
FERRO	≤ 500 ppm
PLOM	≤ 20 ppm
ZINC	≤ 100 ppm

Si ens fixem en els valors que ens va donar la mesura amb el fluorescència, obtenim:

*Taula 6. Contingut de contaminants en el carbó actiu amb el film segons el fluorescència de raigs X*

ELEMENT	CONCENTRACIÓ
MAGNESI	175 ppm
ALUMINI	156 ppm
SILICI	318 ppm
FÒSFOR	228 ppm
SOFRE	172 ppm
CLOR	108 ppm
CALCI	288 ppm
FERRO	182 ppm

En aquest cas, veiem que hi ha presència d’altres elements respecte als valors que ens dona el certificat del productor. Aquest fet es deu a que, segons la bibliografia, el film que s’utilitza per fer les cubetes per al RFX (el Mylar, Ultra-polyester) conté traces d’alguns elements. Per aquest film, la bibliografia en indica que conté impureses de calci, fòsfor, antimoni, ferro i zinc. Per tant, si mirem els valors obtinguts amb el RFX, el fòsfor, el calci i alguna quantitat de ferro provenen del film. Llavors, els contaminants que conté el carbó actiu que utilitzem, segons el RFX, són:

*Taula 7. Contingut de contaminants en el carbó actiu segons el fluorescència de raigs X*

ELEMENT	CONCENTRACIÓ
MAGNESI	175 ppm
ALUMINI	156 ppm
SILICI	318 ppm
SOFRE	172 ppm
CLOR	108 ppm
FERRO	182 ppm

Una vegada coneguts els contaminants que ens aporta el carbó actiu, es van fer les “papilles” amb aigua i oli de parafina amb cel·lulosa i carbó actiu. Els elements presents en cada “papilla” són els següents:

*Taula 8. Elements presents en els blancs de carbó i cel·lulosa de l'aigua ultrapura i l'oli de parafina*

	<b>CEL·LULOSA</b>	<b>CARBÓ ACTIU</b>
<b>AIGUA</b>	0.108% Na	0.115% Na
<b>OLI PARAFINA</b>	0.059% Na	0.041% Na

Com podem veure a la taula 8, tant en les “papilles” utilitzant carbó actiu o cel·lulosa i aigua o oli de parafina, obtenim que hi ha presència de sodi. Però al ser unes concentracions tant baixes i el sodi un element tant lleuger, no podem fer cas d'aquests resultats.

Per tant, al fer les “papilles” amb cel·lulosa o carbó actiu i una matriu aquosa o una matriu oli, no aporta cap contaminant.

## 7.4. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN PATRONS EN BASE AIGUA

### 7.4.1. PATRONS EN BASE AIGUA

Després d'haver fet els càlculs pertinents, es van preparar els patrons en base aigua per cada element. De cada patró, es van passar dues alíquotes per comprovar que el patró estigués ven preparat. En les taules següents, es poden veure els resultats:

Taula 9. Valors de clor dels patrons de HCl

HCl	
	% Cl
1% Cl	1.02
	1.02
2% Cl	1.98
	1.99
5% Cl	5.09
	5.10

Taula 10. Valors de sodi i clor dels patrons de NaCl

NaCl			
	% Na	% Cl	
1% Na	1.02	1.60	1,54% Cl
	1.04	1.60	
2% Na	1.95	3.16	3,08% Cl
	1.94	3.14	
5% Na	5.02	7.96	7,71% Cl
	5.04	7.93	

Taula 11. Valors de sofre dels patrons de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	% S
1% S	0.976
	0.976
2% S	1.94
	1.94
5% S	4.85
	4.83

Taula 12. Valors de brom dels patrons de HBr

HBr	
	% Br
0,1% Br	0.104
	0.103
1% Br	1.01
	1.04
3% Br	3.25
	3.27

Com es pot observar, tots els valors són repetitius i amb valors semblants als teòrics. En els casos en què el valor varia molt, es pot deure a la desviació del propi equip que fa que donin resultats diferents dels esperats.

#### 7.4.2. "PAPILLES" AMB PATRONS EN BASE AIGUA

Un cop ja es tenien els patrons preparats i comprovats que eren correctes, es va començar amb la preparativa de les "papilles". Es van preparar 10 "papilles" per patró i adsorbent, el que vol dir que, per al cas de l'1% en clor, es van preparar 10 "papilles" amb cel·lulosa i 10 amb carbó. I el mateix per tots els altres patrons.

Per fer-ho, de la mateixa manera que amb els patrons en base aigua, es van pesar 4g de patró i 3g de cel·lulosa o 1,9 de carbó actiu, es va homogeneïtzar i es va passar la "papilla" pel fluorescència de raigs X.

Tots els valors de pes de mostra i adsorbent i el percentatge de cada element per a cada patró i mesura, es recullen en les taules (taules 35, 36, 37 i 38) de l'apartat 10.3 en l'annex.

Per visualitzar els resultats, comparem les mitjanes dels resultats juntament amb els factors de correcció per cada element.

- Patró de clor a partir d'àcid clorhídric

Taula 13. Valors de clor dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA			CARBÓ		
1% Cl	% Cl	0.98	1% Cl	% Cl	0.93
	Factor	1.02		Factor	1.08
2% Cl	% Cl	1.91	2% Cl	% Cl	1.86
	Factor	1.05		Factor	1.07
5% Cl	% Cl	4.73	5% Cl	% Cl	4.73
	Factor	1.06		Factor	1.06

Si comparem els resultats, es pot veure que en els dos adsorbents obtenim resultats similars sense importar la concentració de clor a la mostra. Per tant, en aquest cas, l'ús de cel·lulosa o carbó actiu, no afecta en el resultat final.

- Patró de sodi i clor a partir de clorur de sodi

Taula 14. Valors de sodi i clor dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA			CARBÓ		
1% Na 1,54% Cl	% Na	1.13	1% Na 1,54% Cl	% Na	1.70
	Factor	0.89		Factor	0.60
	% Cl	1.51		% Cl	1.68
	Factor	1.02		Factor	0.92
2% Na 3,08% Cl	% Na	2.13	2% Na 3,08% Cl	% Na	3.14
	Factor	0.94		Factor	0.66
	% Cl	2.95		% Cl	3.20
	Factor	1.05		Factor	0.96
5% Na 7,71% Cl	% Na	5.08	5% Na 7,71% Cl	% Na	6.83
	Factor	0.99		Factor	0.75
	% Cl	7.05		% Cl	7.87
	Factor	1.10		Factor	0.98

En aquest cas, es pot veure que per al sodi hi ha molta variació del resultat. Això es pot explicar en el fet que el sodi, en ser un element lleuger, dona un senyal molt dèbil. Però si ens fixem en si el carbó és bon adsorbent o no, veiem, a part de la desviació de l'equip, hi ha una certa repetibilitat dels resultats, el que vol dir que l'ús de carbó actiu com a adsorbent no afecta en la mesura de la "papilla" en l'RFX.

Pel que fa a clor, com en el patró a partir d'àcid clorhídric, també obtenim uns resultats repetitius.

- Patró de sofre a partir d'àcid sulfúric

Taula 15. Valors de sofre dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA			CARBÓ		
1% S	% S	0.96	1% S	% S	1.05
	Factor	1.04		Factor	0.95
2% S	% S	1.88	2% S	% S	2.12
	Factor	1.07		Factor	0.95
5% S	% S	4.47	5% S	% S	4.65
	Factor	1.12		Factor	1.08

Com es pot veure, en el sofre també s'obtenen valors repetitius com en els patrons anteriors. Si ens fixem en el patró de sofre al 5%, veiem que obtenim un factor de correcció bastant elevat, que pot ser degut a la desviació de l'equip.

- Patró de brom a partir d'àcid bromhídric

Taula 16. Valors de brom dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA			CARBÓ		
0.1% Br	% Br	0.105	0.1% Br	% Br	0.104
	Factor	0.95		Factor	0.96
1% Br	% Br	1.03	1% Br	% Br	1.04
	Factor	0.98		Factor	0.96
3% Br	% Br	3.22	3% Br	% Br	3.28
	Factor	0.93		Factor	0.91

En el cas del brom, en ser element amb un pes molecular elevat, dona un senyal més intensa en ser excitat amb els raigs X. Però, aquest senyal tan intens, fa que l'equip se saturi i, per tant, donar uns resultats erronis.

## 7.5. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN PATRONS EN BASE OLI

### 7.5.1. PATRONS EN BASE OLI

De la mateixa manera que amb els patrons en base aigua, es van preparar patrons en clor i brom de les mateixes concentracions. Es van passar per duplicat cada patró pel fluorescència i vam obtenir els següents valors:

Taula 17. Valors de clor dels patrons de 30% Cl

30% Cl	
	% Cl
1% Cl	1.14
	1.14
2% Cl	2.30
	2.28
5% Cl	5.64
	5.61

Taula 18. Valors de brom dels patrons de 10% Br

10% Br	
	% Br
0.1% Br	0.092
	0.096
1% Br	0.93
	0.95
3% Br	2.90
	3.12

Com es pot observar en les taules, en els dos patrons s'obtenen valors repetitius menys en els patrons al 5% en clor i 3% en brom. Per tant, podem dir que com més elevada és la concentració de l'element, més desviació hi haurà en el resultat. Un altre factor que s'ha de tenir en compte a l'hora d'interpretar els resultats és que la fluorescència de raigs X és una tècnica semiquantitativa, el que vol dir que l'equip no està calibrat ni per tots els elements ni per totes les concentracions. El resultat de les mesures ve calculat per un algoritme propi del programari. Per tant, també és possible que el resultat es vegi afectat per la no correcta calibració de la capa oli.

### 7.5.2. "PAPILLES" AMB PATRONS EN BASE OLI

Un cop ja comprovats els patrons, es va procedir de la mateixa manera que amb els patrons en base aigua. Es van preparar les "papilles" amb els mateixos pesos que amb els patrons aquosos i es van mesurar amb el fluorescència de raigs X.

Per veure les taules dels pesos i valor de cada mesura, consultar l'apartat 10.4 de l'annex. En les taules següents, igual que en els patrons en base aigua, es poden observar les mitjanes dels valors de percentatge i la mitjana dels factors de correcció.

- Patró de clor a partir de clor al 30%

*Taula 19. Valors de clor dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó*

CEL·LULOSA			CARBÓ		
1% Cl	% Cl	1.32	1% Cl	% Cl	0.88
	Factor	0.76		Factor	1.15
2% Cl	% Cl	2.36	2% Cl	% Cl	1.78
	Factor	0.85		Factor	1.14
5% Cl	% Cl	5.89	5% Cl	% Cl	4.50
	Factor	0.85		Factor	1.12

Si ens fixem en les taules, veiem que, per al cas de la cel·lulosa, en augmentar la concentració de clor, el factor de correcció augmenta. El contrari passa amb el carbó. En augmentar la concentració de clor, el factor disminueix. Però, tot i això, en les mesures amb els dos adsorbents, s'obtenen resultats repetitius.

- Patró de brom a partir de brom al 10%

*Taula 20. Valors de brom dels diferents patrons en les "papilles" de cel·lulosa i carbó*

CEL·LULOSA			CARBÓ		
0.1% Br	% Br	0.10	0.1% Br	% Br	0.08
	Factor	1.04		Factor	1.27
1% Br	% Br	0.98	1% Br	% Br	0.87
	Factor	1.02		Factor	1.15
3% Br	% Br	3.05	3% Br	% Br	2.80
	Factor	0.98		Factor	1.08

En el cas del brom, passa el mateix que amb els patrons en base aigua, en ser un senyal més intens, la diferència entre el valor de cada mesura és menor i, per tant, més repetitiu. Si ens fixem, a concentracions baixes en brom, utilitzant carbó actiu com a adsorbent, s'obté un factor molt gran respecte a l'obtingut amb cel·lulosa. En conseqüència, per baixes concentracions en brom, és millor usar la cel·lulosa.

## 7.6. ÚS DEL CARBÓ ACTIU COM A ADSORBENT EN MOSTRES REALS

Una vegada ja obtinguts els factors de correcció, per cada tipus de matriu, patró i element, es procedeix amb l'anàlisi de mostres reals. Es va treballar amb les tres mostres escollides que contenien clor i/o brom.

De la mateixa manera que amb els patrons, es va agafar cada mostra i es van preparar les "papilles" utilitzant cel·lulosa i carbó actiu com a adsorbents.

En aquest cas, però, per qüestions de temps, només es van poder fer tres "papilles" per mostra i adsorbent.

Els resultats per cada mostra es recullen en les taules següents:

### - Mostra 1. Llots halogenats

En la següent taula es mostren els pesos de mostra i cel·lulosa o carbó i el valor del percentatge de l'halogen obtingut. Com que són mostres heterogènies, és molt important que s'agiti la mostra per així agafar una alíquota de totes les fases i, per tant, que el resultat obtingut amb el fluorescència sigui representatiu.

Taula 21. Valors dels halògens en la mostra en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA			CARBÓ		
g mostra	g cel·lulosa	% Cl	g mostra	g carbó	% Cl
4.0202	3.0186	6.190	4.0095	1.9015	6.163
4.0069	3.0452	6.290	4.0148	1.9091	6.100
4.0267	3.0676	6.230	4.0200	1.9050	6.190

Un cop tenim els valors, el que fem és aplicar els factors de correcció obtinguts amb les mesures dels patrons. Per tant, obtenim que el resultat final per cada adsorbent és:

Taula 22. Mitjana del percentatge de cada halogen present en la mostra per cada adsorbent

	CEL·LULOSA	CARBÓ
% Cl	6.61	6.52

A diferència dels patrons, en aquestes mostres no sabem la concentració exacta de clor que tenim. Per tant, es va injectar a la iònica.

Una vegada ja injectada la mostra, vam obtenir el següent cromatograma:

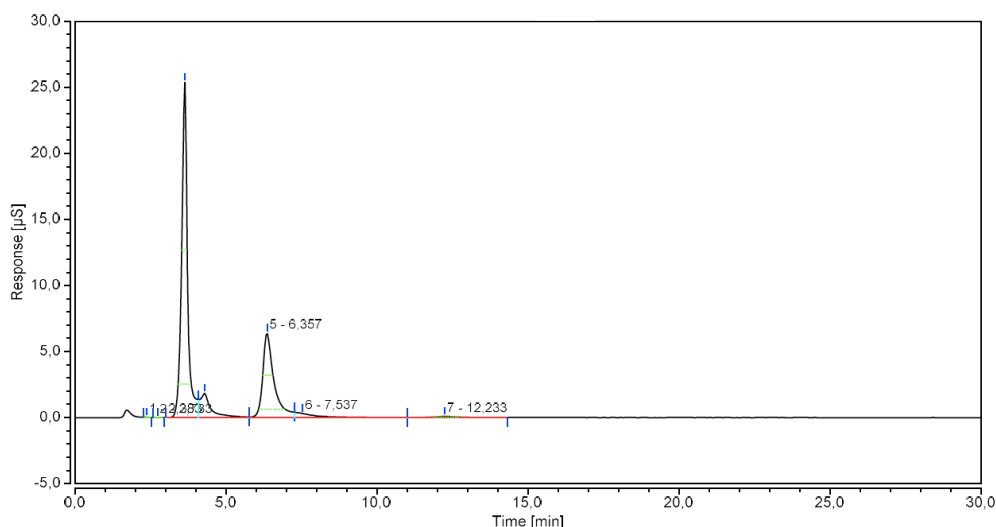


Figura 24. Cromatograma obtingut mitjançant la cromatografia iònica

Si ens fixem en cada pic i temps de retenció i l'assignem a l'analit corresponent, obtenim la següent taula:

Taula 23. Assignació de cada pic amb el seu analit

No.	Peak Name	Retention Time min	Area µS*min	Height µS	REALS ppm	MOSTRA ppm	MOSTRA %
1		2,383	0,002	0,014	n.a.	n.a.	n.a.
n.a.	FLUORURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2		2,733	0,001	0,007	n.a.	n.a.	n.a.
3	CLORURS	3,637	5,803	25,359	37,9044	68050,9173	6,8051
4	NITRITS	4,287	0,789	1,835	9,1948	16507,7030	1,6508
n.a.	BROMURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5		6,357	2,750	6,398	n.a.	n.a.	n.a.
n.a.	NITRATS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6		7,537	0,313	0,314	n.a.	n.a.	n.a.
7		12,233	0,107	0,090	n.a.	n.a.	n.a.
n.a.	SULFATS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
n.a.	IODURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Total:</b>			<b>9,764</b>	<b>34,017</b>			

Per tant, en el cas del clor, si apliquem el factor de correcció pel clor pels errors de treball durant la combustió i el factor de correcció que es fa dels patrons setmanals, obtenim que, en la mostra, hi ha un 6.74% de clor.

Si comparem aquest valor obtingut amb la cromatografia iònica amb els valors obtinguts amb les "papilles", veiem que no hi ha una diferència significativa, el que vol dir que l'ús de cel·lulosa i carbó actiu no afecta en el resultat. Les dues metodologies són correctes.

Taula 24. Comparació dels valors de percentatge de cada halogen obtinguts amb les "papilles" al RFX i amb la iònica

	CEL·LULOSA	CARBÓ	IÒNICA
% Cl	6.61	6.52	6.74

- Mostra 2. Líquids a granel

En aquesta mostra es van realitzar els mateixos passos que amb la mostra anterior. Amb la mostra ja agitada, es van preparar les “papilles” amb els dos adsorbents i obtenim els següents valors:

Taula 25. Valors dels halògens en la mostra en les “papilles” de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA				CARBÓ			
g mostra	g cel·lulosa	% Cl	% Br	g mostra	g carbó	% Cl	% Br
4.0034	3.0338	0.264	0.146	4.0083	1.9024	0.181	0.133
4.0169	3.0254	0.223	0.150	4.0201	1.9079	0.198	0.127
4.0181	3.0086	0.242	0.147	4.0106	1.9050	0.168	0.132

Si apliquem els factors de correcció per cada valor de percentatge d’halogen obtingut, tenim que a la mostra hi ha:

Taula 26. Mitjana del percentatge de cada halogen present en la mostra per cada adsorbent

	CEL·LULOSA	CARBÓ
% Cl	0.25	0.20
% Br	0.14	0.13

Una vegada obtinguts els valors amb el RFX, injectem la mostra a la iònica i ens surt el següent cromatograma:

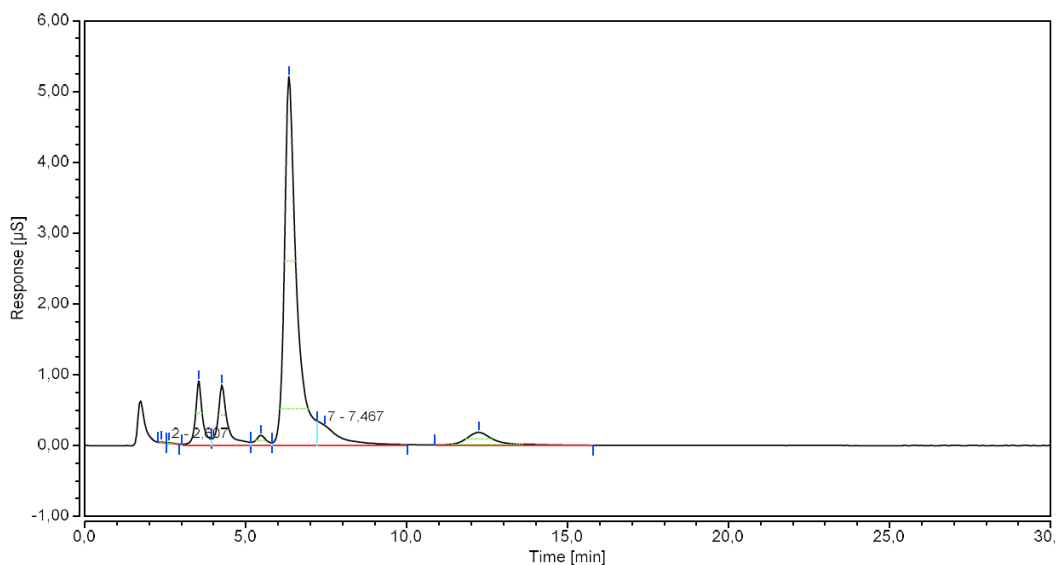


Figura 25. Cromatograma obtingut mitjançant la cromatografia iònica

Que si assignem cada pic a un ió, podem construir la següent taula:

*Taula 27. Assignació de cada pic amb el seu analit*

No.	Peak Name	Retention Time min	Area $\mu\text{S}^*\text{min}$	Height $\mu\text{S}$	REALS ppm	MOSTRA ppm	MOSTRA %
1	FLUORURS	2,383	0,002	0,016	0,0447	79,0306	0,0079
2		2,607	0,002	0,011	n.a.	n.a.	n.a.
3	CLORURS	3,537	0,235	0,914	1,9210	3392,7561	0,3393
4	NITRITS	4,250	0,291	0,858	3,5775	6318,4637	0,6318
5	BROMURS	5,463	0,055	0,147	1,0619	1875,4954	0,1875
6	NITRATS	6,337	2,252	5,213	35,1453	62072,1773	6,2072
7		7,467	0,252	0,279	n.a.	n.a.	n.a.
8	SULFATS	12,227	0,213	0,188	2,3576	4163,8122	0,4164
n.a.	IODURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Total:</b>			<b>3,302</b>	<b>7,625</b>			

Amb els valors del fluorescència de raigs X i els valors de la iònica podem comparar els resultats:

*Taula 28. Comparació dels valors de percentatge de cada halogen obtinguts amb les "papilles" al RFX i amb la iònica*

	CEL·LULOSA	CARBÓ	IÒNICA
% Cl	0.25	0.20	0.35
% Br	0.14	0.13	0.20

Si ens fixem en la taula 28, podem veure que, de la mateixa manera que en el cas anterior, no hi ha molta diferència entre els resultats obtinguts amb cada tècnica, el que vol dir que les dues metodologies (utilitzar cel·lulosa o carbó actiu) són vàlides per la realització de "papilles".

- Mostra 3. Aigües de la indústria farmacèutica

I, aquesta, és la tercera i última mostra en què es va observar l'ús d'un adsorbent o un altre en mostres reals.

De la mateixa manera que amb les dues mostres anteriors, les concentracions de cada halogen mesurat amb el RFX fent la corresponent "papilla", es recullen en la taula 29.

Taula 29. Valors dels halògens en la mostra en les "papilles" de cel·lulosa i carbó

CEL·LULOSA				CARBÓ			
g mostra	g cel·lulosa	% Cl	% Br	g mostra	g carbó	% Cl	% Br
4.0303	3.0262	0.768	0.219	4.0092	1.9084	0.853	0.216
4.0232	3.0067	0.777	0.223	4.0175	1.9045	0.885	0.220
4.0094	3.0218	0.754	0.218	4.0008	1.9084	0.861	0.221

Per tant, aplicant els factors per a una mostra aquosa, tenim que:

Taula 30. Mitjana del percentatge de cada halogen present en la mostra per cada adsorbent

	CEL·LULOSA	CARBÓ
% Cl	0.78	0.94
% Br	0.21	0.21

Com en les dues mostres anteriors, al combustionar la mostra i injectar-la al cromatògraf, obtenim el següent cromatograma:

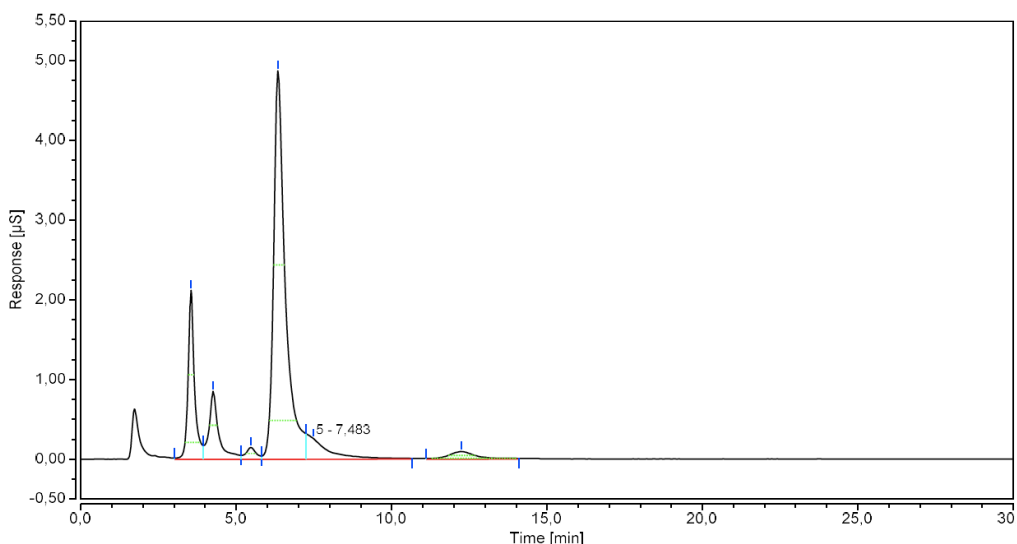


Figura 26. Cromatograma obtingut mitjançant la cromatografia iònica

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
 Arnau Benaiges Chortó

Assignant cada pic al seu analit corresponent segons els temps de retenció:

Taula 31. Assignació de cada pic amb el seu analit

No.	Peak Name	Retention Time min	Area $\mu\text{S} \cdot \text{min}$	Height $\mu\text{S}$	REALS ppm	MOSTRA ppm	MOSTRA %
n.a.	FLUORURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	CLORURS	3,543	0,503	2,119	3,9224	7108,4346	0,7108
2	NITRITS	4,250	0,306	0,853	3,7504	6796,6304	0,6797
3	BROMURS	5,463	0,057	0,147	1,1038	2000,4114	0,2000
4	NITRATS	6,340	2,114	4,873	32,9873	59781,1732	5,9781
5		7,483	0,240	0,258	n.a.	n.a.	n.a.
6	SULFATS	12,230	0,105	0,096	1,1152	2021,0625	0,2021
n.a.	IODURS	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Total:</b>			<b>3,325</b>	<b>8,346</b>			

Si comparem tots els resultats, tenim que:

Taula 32. Comparació dels valors de percentatge de cada halogen obtinguts amb les "papilles" al RFX i amb la iònica

	CEL·LULOSA	CARBÓ	IÒNICA
% Cl	0.78	0.94	0.73
% Br	0.21	0.21	0.22

Per tant, si observem la taula, podem veure que els valors obtinguts amb la iònica i els valors obtinguts utilitzant cel·lulosa com a adsorbent, no canvien molt. En canvi, per al cas del carbó actiu, veiem que, pel que fa al clor, el resultat ens varia bastant. Si ens fixem en els valors obtinguts amb els patrons en base aigua i fent servir carbó actiu per fer la "papilla", veiem que, a concentracions baixes, el valor també es desviava del resultat teòric. Per tant, podríem dir que, per concentracions baixes de clor en matrius aquoses, el carbó actiu dona un resultat que es desvia del teòric.

## **8. CONCLUSIONS**

En aquest treball es volia estudiar el carbó actiu per dos usos diferents: com a ajudant en la combustió de mostres de residus per a la determinació del poder calorífic superior i, per altra banda, com a suport sòlid adsorbent per a la preparativa de “papilles” per homogeneïtzar mostres heterogènies per posterior anàlisi mitjançant fluorescència de raigs X.

Si en fixem en l'ús del carbó com ajudant a la combustió, veiem que, en la determinació del seu poder calorífic superior, s'obtenien resultats repetitius i el carbó combustionava completament, el que ens indica que és un bon combustible.

Per altra banda, en la determinació dels poders calorífics superiors de les 11 mostres reals escollides, també aconseguíem resultats repetitius i similars, tant en l'ús de la cel·lulosa com del carbó actiu. Aquest fet ens indica que, a part de ser els dos bons ajudants a la combustió, també són adsorbents i, per tant, en afegir l'adsorbent a la cubeta amb la mostra, aquest és un bon suport que es barreja bé amb la mostra i, així, fa que la combustió sigui més eficient i, doncs, ens assegura una combustió completa de la mostra a determinar.

Si mirem ara el comportament com a adsorbent per homogeneïtzar matrius heterogènies, veiem que, en els patrons en base aquosa, els resultats eren molt similars, tant si utilitzem cel·lulosa o carbó com a adsorbents. En conseqüència, en matrius aquoses, es pot fer servir qualsevol dels dos adsorbents.

Pel que fa als patrons en base oli, veiem que en els dos elements estudiats (clor i brom), usant el carbó actiu per a la realització de la “papilla”, s'obtenen uns factors de correcció bastant elevats respecte als que s'obtenen amb la cel·lulosa. Això ens indica que, en aquest tipus de matrius, el carbó no té la mateixa capacitat per adsorbir com en les matrius aquoses. Per tant, en matrius que siguin base oli, és recomanable emprar la cel·lulosa com a adsorbent, tot i que també es pot utilitzar el carbó actiu però tenint en compte la desviació del resultat amb aquest adsorbent.

Pel que fa a les matrius que siguin alcohòliques es pot fer servir cel·lulosa o carbó actiu, ja que el comportament d'aquest tipus de matrius és molt similar al de les matrius aquoses.

Si ens fixem en els valors obtinguts amb les tres mostres escollides, com que la mostra 1 i la mostra 2 són matrius alcohòliques i la mostra 3 és una mostra aquosa, s'obtenen resultats molt similars, perquè l'ús d'un adsorbent o de l'altre, no afecten en el resultat final.

Per tant, amb tot això, podem afirmar que, en les matrius estudiades, el carbó actiu és un molt bon ajudant a la combustió i, que per matrius aquoses i alcohòliques, és un bon adsorbent per homogeneïtzar mostres heterogènies i, que per mostres orgàniques, es pot fer la "papilla", ja que adsorbeix la mostra, però que el resultat obtingut es desvia del valor real.

## **CONCLUSIONS**

In this experiment we wanted to study activated coal for two different uses: as an aid in combustion of waste samples for the determination of superior heat power and, on the other hand, as adsorbing solid support for the preparation of "papilles" to homogenize heterogeneous samples by subsequent analysis by X-ray fluorescence.

If we look at the use of coal as an aid to combustion, we see that, in determining its heat power, repetitive results were obtained and coal completely combusted, indicating that it is a good fuel.

On the other hand, in determining the heat powers of the 11 actual samples chosen, we also achieved repetitive and similar results, both in the use of cellulose and active coal. This fact tells us that, apart from being the two good combustion assistants, they are also adsorbents and therefore, by adding the adsorbant to the cubet with the sample, this is a good support that mixes well with the sample, and this makes the combustion more efficient and thus ensures that the sample is fully combusted to determine.

If we now look at the behaviour as adsorbing to homogenize heterogeneous matrices, we see that, in aqueous patterns, the results were very similar, whether we use cellulose or coal as adsorbents. Consequently, in aqueous matrices, either of the two adsorbents can be used.

Regarding oil-based patterns, we see that in the two studied elements (chlorine and bromine), using the activated carbon for the preparation of the "papilla", fairly high correction factors were obtained with in relation to those obtained with cellulose. This tells us that, in such matrices, coal does not have the same capacity to adsorb as in aqueous matrices. Therefore, in organic matrices, cellulose will be better used as adsorbent.

As for matrices that are alcoholic, cellulose or activated coal can be used, as the behaviour of such matrices is very similar to that of aqueous matrices.

If you look at the values obtained with the three samples chosen, because sample 1 and sample 2 are alcoholic matrices and sample 3 is an aqueous sample, you get very similar results. Thus, the use of one adsorbent or the other does not affect the final result.

Therefore, with all of this, we can say that active coal is a very good combustion helper; for aqueous and alcoholic matrices, it is a good adsorbent to homogenize heterogeneous samples, and for organic samples, the "papilla" can be made, since it adsorbs the sample, but the result obtained deviates from the actual value.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Chand Bansal, R.; Goyal, M. *Activated Carbon Adsorption*; Taylor & Francis Group, 2005.
- [2] John U. Kennedy Oubagaranadin, Z. V. P. M. *Activated Carbon. Classification, Properties and Applications*. In *Activated Carbon*; Kwiatkowski, J. F., Ed.; Nova Science Publishers, Inc, 2016; pp 240–260.
- [3] Sifuentes Sancho, J. F. Determinación del poder calorífico.
- [4] Estrada, D.; Fernandez, Felix, J.; Idae; Nogués, F.; Royo, J.; Prensa, D. E.; De, D. E. A.; Upme; Rosenberg, N.; Fernandez, Felix, J. Poder Calorifico. *Cátedra Máquinas Térmicas 2007, Capítulo 1*, 1–22.
- [5] Rigaku Corporation. FLUORESCENCIA DE RAYOS X <https://www.rigakuedxrf.com/es/x-ray-fluorescence/> (accessed May 23, 2023).
- [6] ThermoFisher. Academia de fluorescencia de Rayos x (XRF) <https://www.thermofisher.com/es/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/elemental-structural-analysis-information/xrf-academy.html> (accessed May 23, 2023).
- [7] Fichas Internacionales de Seguridad Química. FISQ [https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/fisq?p\\_p\\_id=es\\_insst\\_buscadores\\_web\\_BuscadoresMVCPortlet&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&\\_es\\_insst\\_buscadores\\_web\\_BuscadoresMVCPortlet\\_javax.portlet.action=search&p\\_auth=hmFAG8ie](https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/fisq?p_p_id=es_insst_buscadores_web_BuscadoresMVCPortlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_es_insst_buscadores_web_BuscadoresMVCPortlet_javax.portlet.action=search&p_auth=hmFAG8ie) (accessed Jun 13, 2023).

## **10. ANNEX**

### **10.1. PODERS CALORÍFICS SUPERIORS DE LES MOSTRES REALS UTILITZANT CEL·LULOSA COM AJUDANT A LA COMBUSTIÓ**

*Taula 33. Valors de PCS amb els pesos per cada repetició i mostra*

<b>MOSTRA</b>	<b>REPETICIÓ</b>	<b>g MOSTRA</b>	<b>g CEL·LULOSA</b>	<b>g PARAFINA</b>	<b>PCS (Kcal/Kg)</b>	<b>MITJANA</b>
<b>1</b>	1	0.2731	0.2646	0.0921	5436	4979
	2	0.2738	0.2663	0.0953	5141	
	3	0.2870	0.2822	0.0919	4359	
<b>2</b>	1	0.2790	0.2874	0.0919	3302	3280
	2	0.2883	0.2740	0.0914	3171	
	3	0.2715	0.2641	0.0997	3367	
<b>3</b>	1	0.2780	0.2686	0.0915	3195	3662
	2	0.2753	0.2652	0.0931	3586	
	3	0.2765	0.2782	0.0921	4206	
<b>4</b>	1	0.2701	0.2681	0.0989	1263	1210
	2	0.2881	0.2692	0.0949	1176	
	3	0.2789	0.2623	0.0951	1190	
<b>5</b>	1	0.2874	0.2869	0.0925	5295	5738
	2	0.2771	0.2734	0.1010	5977	
	3	0.2667	0.2679	0.0991	5943	
<b>6</b>	1	0.2866	0.2663	0.0941	2038	2075
	2	0.2816	0.2843	0.0991	2101	
	3	0.2750	0.2779	0.0970	2087	
<b>7</b>	1	0.2868	0.2763	0.0990	1264	1253
	2	0.2790	0.2782	0.0987	1225	
	3	0.2865	0.2866	0.1023	1271	
<b>8</b>	1	0.2876	0.2716	0.0998	322	325
	2	0.2718	0.2758	0.0987	348	
	3	0.2707	0.2531	0.0996	304	
<b>9</b>	1	0.2752	0.2461	0.1006	1773	1792
	2	0.2725	0.2721	0.0929	1863	
	3	0.2792	0.2715	0.1015	1740	
<b>10</b>	1	0.2717	0.2353	0.0951	7396	7277
	2	0.2886	0.2474	0.0982	7341	
	3	0.2630	0.2772	0.0991	7094	
<b>11</b>	1	0.2848	0.2924	0.1000	997	958
	2	0.2917	0.1734	0.0995	924	
	3	0.2770	0.1734	0.1033	954	

**10.2. PODERS CALORÍFICS SUPERIORS DE LES MOSTRES REALS UTILITZANT CARBÓ  
 ACTIU COM AJUDANT A LA COMBUSTIÓ**

*Taula 34. Valors de PCS amb els pesos per cada repetició i mostra*

MOSTRA	REPETICIÓ	g MOSTRA	g CARBÓ	g PARAFINA	PCS (Kcal/Kg)	MITJANA
<b>1</b>	1	0.2876	0.2757	0.0901	4372	4771
	2	0.2772	0.2771	0.0929	4909	
	3	0.2850	0.2711	0.0957	5032	
<b>2</b>	1	0.2802	0.2775	0.0896	2308	2606
	2	0.2854	0.2766	0.0931	2499	
	3	0.2807	0.2764	0.0971	3012	
<b>3</b>	1	0.2732	0.2812	0.0959	3723	3884
	2	0.2839	0.2755	0.0957	3925	
	3	0.2718	0.2749	0.1054	4004	
<b>4</b>	1	0.2808	0.2700	0.0976	1231	1227
	2	0.2850	0.2815	0.1066	1334	
	3	0.2891	0.2697	0.0966	1115	
<b>5</b>	1	0.2850	0.2711	0.1002	6541	6687
	2	0.2816	0.2743	0.0799	6785	
	3	0.2811	0.2749	0.0867	6735	
<b>6</b>	1	0.2828	0.2659	0.0981	2021	2065
	2	0.2829	0.2717	0.1035	2098	
	3	0.2811	0.2736	0.0997	2076	
<b>7</b>	1	0.2707	0.2877	0.0932	1347	1336
	2	0.2798	0.2828	0.0999	1425	
	3	0.2852	0.2864	0.0970	1235	
<b>8</b>	1	0.2724	0.2720	0.1004	479	226
	2	0.2789	0.2762	0.1067	53	
	3	0.2876	0.2693	0.1017	145	
<b>9</b>	1	0.2859	0.2675	0.0979	1847	1843
	2	2.2675	0.2655	0.1015	1884	
	3	0.2826	0.2723	0.0961	1799	
<b>10</b>	1	0.2706	0.2723	0.0981	6843	6797
	2	0.2841	0.2687	0.0969	6652	
	3	0.2737	0.2631	0.0909	6896	
<b>11</b>	1	0.2802	0.2624	0.1072	763	754
	2	0.2832	0.2802	0.0935	797	
	3	0.2780	0.2894	0.0986	702	

### 10.3. "PAPILLES" DE PATRONS EN BASE AIGUA

#### 10.3.1. PATRONS A PARTIR DE HCl

Taula 35. Valors de % de clor amb els pesos per cada repetició i "papilla"

HCl					CARBÓ				
CEL·LULOSA					CARBÓ				
Patró	g patró	g cel·lulosa	% Cl	Factor	Patró	g patró	g carbó	% Cl	Factor
1% Cl	4.0186	3.0054	0.979	1.02	1% Cl	4.0062	1.9046	0.890	1.12
	4.0033	3.0080	0.996	1.00		4.0257	1.9070	0.957	1.04
	4.0077	3.0018	0.941	1.06		4.0117	1.9147	0.944	1.06
	4.0246	3.0153	0.956	1.05		4.0340	1.9022	0.940	1.06
	4.0263	3.0180	0.954	1.05		4.0109	1.9016	0.917	1.09
	4.0055	3.0002	0.984	1.02		4.0143	1.9013	0.907	1.10
	4.0199	3.0325	0.963	1.04		4.0386	1.9002	0.922	1.08
	4.0249	3.0323	0.975	1.03		4.0212	1.9031	0.927	1.08
	4.0372	3.0136	0.983	1.02		4.0210	1.9038	0.933	1.07
	4.0221	3.0144	1.04	0.96		4.0314	1.9041	0.938	1.07
2% Cl	4.0097	3.0058	1.91	1.05	2% Cl	4.0091	1.9031	1.81	1.10
	4.0158	3.0022	1.94	1.03		4.0266	1.9140	1.89	1.06
	4.0026	3.0058	1.90	1.05		4.0306	1.9227	1.88	1.06
	4.0131	3.0077	1.91	1.05		4.0137	1.9041	1.81	1.10
	4.0028	3.0354	1.84	1.09		4.0017	1.9083	1.75	1.14
	4.0112	3.0201	1.90	1.05		4.0013	1.9008	1.91	1.05
	4.0223	3.0071	1.94	1.03		4.0219	1.9021	1.93	1.04
	4.0061	3.0214	1.93	1.04		4.0204	1.9027	1.90	1.05
	4.0012	3.0357	1.95	1.03		4.0167	1.9033	1.95	1.03
	4.0113	3.0032	1.91	1.05		4.0283	1.9009	1.80	1.11
5% Cl	4.0126	3.0468	4.76	1.05	5% Cl	4.0137	1.9007	4.77	1.05
	4.0130	3.0253	4.70	1.06		4.0211	1.9114	4.67	1.07
	4.0000	3.0361	4.77	1.05		4.0134	1.9059	4.65	1.08
	4.0097	3.0492	4.71	1.06		4.0009	1.9005	4.81	1.04
	4.0305	3.0322	4.70	1.06		4.0068	1.9002	4.73	1.06
	4.0186	3.0571	4.70	1.06		4.0363	1.9008	4.77	1.05
	4.0220	3.0052	4.85	1.03		4.0244	1.9007	4.77	1.05
	4.0008	3.0621	4.74	1.05		4.0120	1.9042	4.75	1.05
	4.0107	3.0413	4.61	1.08		4.0312	1.9037	4.68	1.07
	4.0087	3.0645	4.73	1.06		4.0416	1.9003	4.68	1.07

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
 Arnau Benaiges Chortó

10.3.2. PATRONS A PARTIR DE NaCl

Taula 36. Valors de % de sodi i clor amb els pesos per cada repetició i "papilla"

NaCl						CARBÓ					
CEL·LULOSA						Patró					
Patró	g patró	g cel·lulosa	% Na	% Cl	Factor	Patró	g patró	g carbó	% Na	% Cl	Factor
1% Na 1,54% Cl	4.0187	3.0085	1.12	1.57	0.89	1% Na 1,54% Cl	4.0376	1.9037	1.51	1.63	0.66
	4.0023	3.0437	1.40	1.59	0.71		4.0267	1.9085	1.45	1.60	0.69
	4.0112	3.0361	1.12	1.49	0.89		4.0144	1.9022	1.57	1.60	0.64
	4.0253	3.0091	1.06	1.49	0.94		4.0287	1.9004	1.80	1.63	0.56
	4.0285	3.0017	1.02	1.44	0.98		4.0179	1.9015	1.82	1.64	0.55
	4.0198	3.0136	1.18	1.50	0.85		4.0035	1.9014	1.90	1.90	0.53
	4.0054	3.0184	1.08	1.48	0.93		4.0136	1.9059	2.37	1.73	0.42
	4.0195	3.0510	0.97	1.50	1.03		4.0159	1.9004	1.49	1.67	0.67
	4.0320	3.0492	1.11	1.51	0.90		4.0181	1.9017	1.60	1.72	0.63
4.0262	3.0372	1.23	1.53	0.81	4.0303	1.9010	1.44	1.64	0.69		
2% Na 3,08% Cl	4.0005	3.0186	2.10	2.87	0.95	2% Na 3,08% Cl	4.0281	1.9039	3.02	3.12	0.66
	4.0057	3.0438	2.22	2.95	0.90		4.0170	1.9029	3.88	3.23	0.52
	4.0136	3.0386	2.04	2.79	0.98		4.0088	1.9066	2.83	3.18	0.71
	4.0470	3.0329	2.09	2.88	0.96		4.0473	1.9001	2.46	3.06	0.81
	4.0240	3.0094	2.16	2.83	0.93		4.0045	1.9070	3.11	3.26	0.64
	4.0153	3.0327	2.31	3.04	0.87		4.0188	1.9038	4.22	3.43	0.47
	4.0298	3.0346	2.34	3.08	0.85		4.0181	1.9005	2.67	3.20	0.75
	4.0082	3.0223	1.88	3.02	1.06		4.0165	1.9040	3.85	3.28	0.52
	4.0239	3.0353	2.01	2.99	1.00		4.0202	1.9046	2.80	3.15	0.71
4.0130	3.0506	2.16	3.01	0.93	4.0186	1.9007	2.56	3.12	0.78		
5% Na 7,71% Cl	4.0037	3.0159	5.27	7.09	0.95	5% Na 7,71% Cl	4.0231	1.9062	6.38	7.79	0.78
	4.0369	3.0019	4.82	7.24	1.04		4.0119	1.9020	6.49	7.94	0.77
	4.0074	3.0201	5.38	7.21	0.93		4.0341	1.9039	7.51	8.13	0.67
	4.0012	3.0096	5.39	7.34	0.93		4.0126	1.9046	9.52	8.28	0.53
	4.0093	3.0054	5.28	7.11	0.95		4.0246	1.9038	7.05	7.94	0.71
	4.0300	3.0282	4.96	6.77	1.01		4.0051	1.9037	6.31	7.77	0.79
	4.0095	3.0224	4.96	7.12	1.01		4.0119	1.9031	6.81	7.74	0.73
	4.0181	3.0656	5.05	6.90	0.99		4.0003	1.9058	5.26	7.46	0.95
	4.0384	3.0474	4.81	6.72	1.04		4.0235	1.9067	6.62	7.83	0.76
4.0152	3.0096	4.87	6.96	1.03	4.0187	1.9017	6.39	7.86	0.78		

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
Arnau Benaiges Chortó

10.3.3. PATRONS A PARTIR DE H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Taula 37. Valors de % de sofre amb els pesos per cada repetició i "papilla"

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>									
CEL·LULOSA					CARBÓ				
Patró	g patró	g cel·lulosa	% S	Factor	Patró	g patró	g carbó	% S	Factor
1% S	4.0167	3.0453	0.936	1.07	1% S	4.0202	1.9078	0.950	1.05
	4.0019	3.0018	0.947	1.06		4.0308	1.9059	1.05	0.95
	4.0139	3.0227	0.931	1.07		4.0287	1.9021	1.06	0.94
	4.0089	3.0220	0.936	1.07		4.0159	1.9008	1.10	0.91
	4.0092	3.0147	0.958	1.04		4.0122	1.9083	1.10	0.91
	4.0342	3.0059	0.949	1.05		4.0277	1.9016	1.09	0.92
	4.0165	3.0096	1.00	1.00		4.0114	1.9054	1.13	0.88
	4.0031	3.0039	0.958	1.04		4.0133	1.9008	1.05	0.95
	4.0405	3.0026	1.02	0.98		4.0298	1.9014	1.05	0.95
	4.0020	3.0213	0.991	1.01		4.0111	1.9091	0.968	1.03
2% S	4.0330	3.0086	1.84	1.09	2% S	4.0060	1.9027	2.05	0.98
	4.0099	3.0269	1.85	1.08		4.0100	1.9023	2.11	0.95
	4.0282	3.0023	1.92	1.04		4.0076	1.9033	2.06	0.97
	4.0272	3.0167	1.93	1.04		4.0158	1.9062	2.19	0.91
	4.0168	3.0075	1.85	1.08		4.0003	1.9020	2.07	0.97
	4.0095	3.0034	1.85	1.08		4.0175	1.9030	2.00	1.00
	4.0078	3.0368	1.83	1.09		4.0187	1.9028	2.10	0.95
	4.0061	3.0036	1.88	1.06		4.0071	1.9096	2.16	0.93
	4.0336	3.0051	1.92	1.04		4.0163	1.9049	2.20	0.91
	4.0230	3.0156	1.89	1.06		4.0265	1.9078	2.24	0.89
5% S	4.0289	3.0366	4.35	1.15	5% S	4.0132	1.9024	4.72	1.06
	4.0088	3.0119	4.44	1.13		4.0073	1.9084	4.61	1.08
	4.0045	3.0006	4.51	1.11		4.0110	1.9007	4.53	1.10
	4.0266	3.0269	4.55	1.10		4.0142	1.9019	4.56	1.10
	4.0161	3.0015	4.47	1.12		4.0060	1.9009	4.57	1.09
	4.0131	3.0157	4.46	1.12		1.0194	1.9021	4.47	1.12
	4.0019	3.0148	4.31	1.16		4.0338	1.9086	4.66	1.07
	4.0164	3.0833	4.46	1.12		4.0094	1.9002	4.86	1.03
	4.0158	3.0095	4.57	1.09		4.0165	1.9008	4.80	1.04
	4.0022	3.0110	4.53	1.10		4.0118	1.9079	4.72	1.06

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
 Arnau Benaiges Chortó

10.3.4. PATRONS A PARTIR DE HBr

Taula 38. Valors de % de sofre amb els pesos per cada repetició i "papilla"

HBr									
CEL·LULOSA					CARBÓ				
Patró	g patró	g cel·lulosa	% Br	Factor	Patró	g patró	g carbó	% Br	Factor
0,1% Br	4.0283	3.0046	0.105	0.95	0,1% Br	4.0090	1.9093	0.105	0.95
	4.0279	3.0070	0.106	0.94		4.0196	1.9058	0.0983	1.02
	4.0176	3.0056	0.105	0.95		4.0137	1.9056	0.103	0.97
	4.0153	3.0076	0.106	0.94		4.0178	1.9068	0.105	0.95
	4.0151	3.0015	0.106	0.94		4.0125	1.9000	0.105	0.95
	4.0183	3.0041	0.106	0.94		4.0154	1.9053	0.109	0.92
	4.0148	3.0879	0.104	0.96		4.0244	1.9054	0.104	0.96
	4.0076	3.0110	0.105	0.95		4.0161	1.9013	0.104	0.96
	4.0202	3.0258	0.105	0.95		4.0133	1.9030	0.104	0.96
4.0013	3.0126	0.106	0.94	4.0172	1.9062	0.103	0.97		
1% Br	4.0143	3.0027	1.03	0.97	1% Br	4.0336	1.9030	1.07	0.93
	4.0209	3.0054	1.02	0.98		4.0032	1.9053	1.05	0.95
	4.0097	3.0142	1.03	0.97		4.0120	1.9043	1.02	0.98
	4.0016	3.0481	1.02	0.98		4.0242	1.9050	1.05	0.95
	4.0151	3.0372	1.03	0.97		4.0164	1.9060	1.05	0.95
	4.0002	3.0012	1.03	0.97		4.0119	1.9050	1.05	0.95
	4.0346	3.0213	1.03	0.97		4.0240	1.9042	1.05	0.95
	4.0300	3.0286	1.01	0.99		4.0158	1.9065	1.04	0.96
	4.0074	3.0161	1.03	0.97		4.0004	1.9049	1.01	0.99
4.0304	3.0015	1.02	0.98	4.0052	1.9002	1.04	0.96		
3% Br	4.0095	3.0084	3.26	0.92	3% Br	4.0092	1.9011	3.28	0.91
	4.0279	3.0430	3.23	0.93		4.0143	1.9024	3.25	0.92
	4.0335	3.0108	3.23	0.93		4.0191	1.9050	3.29	0.91
	4.0172	3.0242	3.24	0.93		4.0052	1.9036	3.31	0.91
	4.0159	3.0385	3.21	0.93		4.0067	1.9087	3.31	0.91
	4.0264	3.0721	3.17	0.95		4.0298	1.9007	3.31	0.91
	4.0194	3.0101	3.19	0.94		4.0282	1.9004	3.28	0.91
	4.0002	3.0512	3.23	0.93		4.0053	1.9019	3.32	0.90
	4.0169	3.0134	3.22	0.93		4.0214	1.9006	3.24	0.93
4.0143	3.0170	3.22	0.93	4.0185	1.9026	3.22	0.93		

#### 10.4. "PAPILLES" DE PATRONS EN BASE OLI

##### 10.4.1. PATRONS A PARTIR D'UN PATRÓ EN 30% EN Cl

Taula 39. Valors de % de clor amb els pesos per cada repetició i "papilla"

30% Cl									
CEL·LULOSA					CARBÓ				
Patró	g patró	g cel·lulosa	% Cl	Factor	Patró	g patró	g carbó	% Cl	Factor
1% Cl	4.0128	3.0101	1.35	0.74	1% Cl	4.0030	1.9048	1.13	0.88
	4.0024	3.0108	1.32	0.76		4.0180	1.9024	0.972	1.03
	4.0146	3.0365	1.32	0.76		4.0050	1.9018	0.884	1.13
	4.0065	3.0117	1.29	0.78		4.0119	1.9018	0.709	1.41
	4.0131	3.0287	1.39	0.72		4.0153	1.9071	0.790	1.27
	4.0154	3.0120	1.35	0.74		4.0071	1.9040	0.950	1.05
	4.0094	3.0447	1.22	0.82		4.0077	1.9058	0.853	1.17
	4.0143	3.0049	1.33	0.75		4.0064	1.9087	0.821	1.22
	4.0210	3.0308	1.20	0.83		4.0104	1.9019	0.928	1.08
	4.0118	3.0256	1.39	0.72		4.0125	1.9054	0.812	1.23
2% Cl	4.0085	3.0233	2.44	0.82	2% Cl	4.0074	1.9019	1.83	1.09
	4.0027	3.0215	2.18	0.92		4.0054	1.9005	1.80	1.11
	4.0035	3.0061	2.46	0.81		4.0063	1.9071	2.14	0.93
	4.0012	3.0464	2.15	0.93		4.0127	1.9067	1.79	1.12
	4.0208	3.0348	2.23	0.90		4.0031	1.9016	1.91	1.05
	4.0049	3.0365	2.29	0.87		4.0024	1.9002	1.50	1.33
	4.0004	3.0668	2.40	0.83		4.0127	1.9069	1.91	1.05
	4.0002	3.0137	2.33	0.86		4.0014	1.9001	1.50	1.33
	4.0032	3.0164	2.22	0.90		4.0019	1.9049	1.72	1.16
	4.0145	3.0274	2.89	0.69		4.0007	1.9042	1.69	1.18
5% Cl	4.0143	3.0078	5.69	0.88	5% Cl	4.0109	1.9006	4.03	1.24
	4.0186	3.0315	5.96	0.84		4.0080	1.9018	5.08	0.98
	4.0151	3.0456	5.37	0.93		4.0098	1.9042	4.59	1.09
	4.0092	3.0672	5.93	0.84		4.0098	1.9055	4.35	1.15
	4.0072	3.0251	5.34	0.94		4.0154	1.9006	5.44	0.92
	4.0016	3.0258	5.49	0.91		4.0064	1.9048	4.66	1.07
	4.0062	3.0491	6.08	0.82		4.0123	1.9025	4.41	1.13
	4.0091	3.0593	7.11	0.70		4.0102	1.9044	4.29	1.17
	4.0243	3.0119	6.02	0.83		4.0122	1.9030	4.20	1.19
	4.0177	3.0043	5.95	0.84		4.0084	1.9044	3.97	1.26

Estudi del carbó actiu com a ajudant a la combustió i com adsorbent  
 Arnau Benaiges Chortó

10.4.2. PATRONS A PARTIR D'UN PATRÓ EN 10% EN Br

Taula 40. Valors de % de brom amb els pesos per cada repetició i "papilla"

10% Br					10% Br				
CEL·LULOSA					CARBÓ				
Patró	g patró	g cel·lulosa	% Br	Factor	Patró	g patró	g carbó	% Br	Factor
0,1% Br	4.0040	3.0191	0.101	0.99	0,1% Br	4.0028	1.9005	0.083	1.20
	4.0022	3.0007	0.098	1.02		4.0074	1.9059	0.086	1.16
	4.0095	3.0598	0.097	1.03		4.0192	1.9097	0.093	1.08
	4.0163	3.0331	0.098	1.03		4.0037	1.9057	0.090	1.11
	4.0165	3.0272	0.094	1.06		4.0011	1.9036	0.089	1.12
	4.0163	3.0064	0.096	1.04		4.0127	1.9082	0.076	1.31
	4.0017	3.0366	0.096	1.05		4.0113	1.9019	0.083	1.20
	4.0170	3.0366	0.095	1.05		4.0064	1.9030	0.060	1.68
	4.0057	3.0030	0.094	1.06		4.0023	1.9057	0.087	1.15
	4.0105	3.0652	0.094	1.06		4.0140	1.9022	0.061	1.64
1% Br	4.0042	3.0401	1.01	0.99	1% Br	4.0142	1.9029	0.88	1.13
	4.0046	3.0594	0.98	1.02		4.0114	1.9014	0.92	1.09
	4.0077	3.0189	0.95	1.05		4.0201	1.9047	0.86	1.16
	4.0038	3.0033	0.99	1.01		4.0180	1.9084	0.92	1.09
	4.0055	3.0602	0.99	1.01		4.0188	1.9067	0.86	1.16
	4.0043	3.0620	0.98	1.02		4.0012	1.9076	0.82	1.22
	4.0094	3.0444	0.99	1.01		4.0061	1.9015	0.82	1.21
	4.0004	3.0412	0.98	1.02		4.0073	1.9053	0.83	1.20
	4.0075	3.0556	0.94	1.06		4.0096	1.9012	0.88	1.13
	4.0111	3.0253	0.99	1.02		4.0002	1.9034	0.89	1.13
3% Br	4.0049	3.0226	3.20	0.94	3% Br	4.0173	1.9053	3.00	1.00
	4.0108	3.0323	3.09	0.97		4.0038	1.9011	2.62	1.15
	4.0029	3.0300	3.05	0.98		4.0039	1.9031	2.96	1.01
	4.0001	3.0858	3.02	0.99		4.0130	1.9030	3.34	0.90
	4.0096	3.0738	2.99	1.00		4.0055	1.9050	2.74	1.09
	4.0150	3.0292	3.03	0.99		4.0065	1.9017	2.65	1.13
	4.0064	3.0009	3.07	0.98		4.0125	1.9016	2.59	1.16
	4.0084	3.0349	3.03	0.99		4.0220	1.9039	2.84	1.06
	4.0150	3.0509	2.99	1.00		4.0119	1.9014	2.54	1.18
	4.0120	3.0253	3.04	0.99		4.0034	1.9036	2.68	1.12

## 10.5. TOXICITAT I MANIPULACIÓ DELS REACTIUS UTILITZATS<sup>[7]</sup>

- Etanol  
Toxicitat: Molt inflamable. Nociu en cas d'ingestió. Irritació ocular greu.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.
- Hexà  
Toxicitat: Altament inflamable.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants i ulleres de seguretat.
- Toluè  
Toxicitat: Altament inflamable.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants i ulleres de seguretat.
- Hidròxid de sodi (0.25N)  
Toxicitat: Nociu en cas d'ingestió. Provoca cremades greus i lesions oculars. Pot ser irritant al ser inhalat.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.
- Peròxid d'hidrogen (30%)  
Toxicitat: Molt comburent. Nociu en cas d'ingestió. Tòxic. Provoca cremades greus i lesions oculars. Pot ser irritant al ser inhalat.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.
- Àcid clorhídric (37-38%)  
Toxicitat: Tòxic. Provoca cremades greus i lesions oculars. Pot ser irritant al ser inhalat.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.
- Àcid sulfúric (95-97%)  
Toxicitat: Mortal si s'inhalat. Provoca cremades greus i lesions oculars. Pot ser irritant al ser inhalat.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.
- Àcid bromhídric (10%)  
Toxicitat: Corrosiu pels ulls, pell, tracte respiratori i ingestió.  
Manipulació: A la campana extractora, amb guants, bata i ulleres de seguretat.