



ZIENTZIA ETA TEKNOLOGIA FAKULTATEA LEIOA

---

# GRADU AMAIERAKO LANA INGENIARITZA KIMIKOA

ANIMALI HEZURRETATIK ETA LOKATZ  
AKTIBATUETATIK PRESTATUTAKO  
IKATZ AKTIBATUAREN BIDEZKO UREN  
ARAZKETA

*Ikaslea Azpiri Solares, Rebeca*  
**Data 2014ko ekaina**

# **I. AURKIBIDEA**

<b>1. SARRERA ETA HELBURUAK.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OINARRIZKO KONTZEPTUAK.....</b>	<b>3</b>
2.1. LOKATZEN PROBLEMATIKA; UR ARAZTEGIETAKO HONDAKINAK.....	3
2.1.1. Lokatzen izaera.....	3
2.1.2. Lokatzen tratamendua.....	3
2.1.3. Lokatzen kudeaketa.....	4
2.1.4. Lokatzen bestekako kudeaketak.....	5
2.2. ANIMALI HEZURRETATIK ERATORRITAKO IKATZA; BONE CHAR.....	5
2.3. IKATZ AKTIBATUA.....	6
2.3.1. Jatorria.....	6
2.3.2. Ikatzen prestaketa.....	7
2.3.3. Ikatz aktibatuen propietate fisiko eta kimikoak.....	9
2.3.4. Ikatz aktibatuen aplikazioak.....	11
2.4. ADSORTZIO PROZESUA IKATZ AKTIBATUETAN.....	12
2.4.1. Adsortzio prozesuen ezaugarri eta aldagai esanguratsuak.....	12
2.4.2. Ingurunearen baldintzak eta faktore ekonomikoak.....	13
2.4.3. Adsortzioari buruzko teoria .....	14
2.4.4. Adsortzio motak .....	15
2.5. UR GARBIEN LORPENERAKO IKATZ AKTIBATUEN BIDEZKO ADSORTZIOA.....	15
2.5.1. Prozesuaren eraginkortasuna eta denbora .....	16
2.5.2. Prozesuaren deskribapena .....	16
2.5.3. Adsortzioan erabilitako ohantzeak .....	18
2.5.4. Apurtze kurbak.....	18
2.6. MIKROKUTSATZAILE ORGANIKOAK.....	19

<b>3. OINARRI MATEMATIKOA .....</b>	<b>20</b>
3.1. OREKA EREDUAK ADSORTZIOAN.ISOTERMAK.....	20
3.1.1. Isotermen irudikapenerako aldagaiak.....	21
3.1.2. Henry-ren isoterma edo isoterma lineala.....	21
3.1.3. Freundlich-en isoterma.....	22
3.1.4. Langmuir-en isoterma.....	22
3.1.5. B.E.T. isotermak.....	23
3.1.6. B.J.H. isotermak (“Barret-Joyner-Halenda”).....	24
3.2. PROZESU ESPERIMENTALAREN EREDU MATEMATIKOA. MATERIA BALANTZEA OHANTZE FINKOAN.....	25
3.2.1. Ohantze finkoaren diseinua. Eredu matematikoa.....	25
3.2.2. Eredu matematikoaren simulaziorako pausoak.....	28
<b>4. PROZEDURA ESPERIMENTALA.....</b>	<b>30</b>
4.1. KUTSATZAILEEN AUKERAKETA.....	30
4.2. IKATZ AKTIBATUAREN LORPENA EDAR LOKATZETATIK ETA ANIMALI HEZURRETATIK ABIATUZ.....	30
4.3. IKATZEN ADSORTZIO PROZESUKO OREKA DATUEN LORPENA. ISOTERMAK.....	34
4.3.1. Prozesu esperimentalean erabilitako teknikak eta ekipo esanguratsuak.....	34
4.3.1.1 Espektrofotometria.....	34
4.3.1.2 Gasen bidezko kromatografia.....	36
4.3.2. Prozesu esperimentala.....	37
4.4. UREN KUTSATZAILEEN ADSORTZIO PROZESUA OHANTZE FINKOAN. APURKETA KURBEN LORPENA.....	40
4.4.1. Prozesu esperimentalean erabilitako ekipoa. Ohantze finkoaren sistema.....	40
4.4.2. Prozesu esperimentala.....	42
<b>5. EMAITZAK ETA ONDORIOAK.....</b>	<b>43</b>

5.1. PROZESU ESPERIMENTALERAKO AUKERATUTAKO KUTSATZAILEAK.....	43
5.2. LABORATEGIAN PRESTATUTAKO IKATZ AKTIBATUAK ETA EUREN EZAUGARRIAK.....	45
5.3. OHANTZE FINKOAREN BIDEZKO KUTSATZAILEEN ADSORTZIOA. APURTZE KURBAK.....	51
5.4. ISOTERMEN LORPENA. OREKA DATUAK.....	53
5.5. DATU ESPERIMENTALAK DOITZEN DITUEN EREDU MATEMATIKOA.....	58
<b>6.NOMENKLATURA.....</b>	<b>61</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>65</b>

## 1. SARRERA ETA HELBURUAK

Gaur egun ematen ari den ur gabezia mundu mailako arazoa bilakatu egin da. Estatu eta herri askotan arazo honi aurre egiteko ezinbesteko bilakatu da ura berrerabiltzeko eta birziklatzeko bide berriak bilatzea.

Ondorioz, hondakin uren arazketa garrantzitsua bilakatu da uraren kontserbaziorako eta hau aurrezteko orduan. Araztegietan burutzen den tratamendu honek ibai eta erreketara ur garbia isurtzea ahalbidetzen du, hondakin-ur zikinak efluente garbi bihurtzen baititu. Hondakin-uren arazketak ekosistemaren babesa ez ezik (ibaiak, errekek eta itsasoak ez zikintzea, alegia), biztanleriaren baldintza higienikoak areagotzea eta izurriteak ekiditea ere bilatzen du: tratatu gabeko hondakin-urak bat etorriko balira, nekazal- jardueretan ondorio tamalgarriak sortuko lirateke. Horregatik, efluente argiak lortzea funtsezko zeregina da, ikuspuntu ekologiko zein osasun-irizpide batetik.

Horrela, herri edo hiri bateko araztegi batek etapa desberdinetan tratatzen ditu jasotako hondakin urak eta tratamendu horien ondoren, alde batetik, efluente garbia sortuko du (erreak, ibai edo itsasora isuriko dena) eta, bestetik, lokatz izena hartzen duen sedimentu solidoa. Honek hondakin-uraren zikinkeria gehiena duena da eta erreaktore biologiko batzuetan prozesu anaerobio baten bidez tratatuko dena.

Lortutako lokatzak maila desberdineko konposatu toxikoez, kutsatzaileez eta konposatu solido gutxi batzuez osatuta daude. Beraz, lokatz hauen tratamendua eta egokitzapena burutzea ezinbestekoa da beste aplikazioetan berrerabiltzeko eta irtenbide bat emateko araztegietan sortutako hondakinari.

Ildo horretatik jarraituz, azkenaldian lokatz horietatik aipatutako uren tratamendurako erabili litzatekeen ikatz aktibatua eratzeko aztertu da. Ikatx aktibatuek ezaugarri jakin batzuk izan behar dituzte uraren garbiketa gauzatzeko, lan honen zehar aztertuko den bezala. Horrela, lokatzetatik sortutako ikatz aktibatua uraren garbiketa emateko eskatutako baldintzak betetzen dituela behatu da. Gainera, ikatz aktibatua sortzeko gizarteak sortu duen hondakin batetik abiatzen gara eta honen birziklapena ematen da, hondakina sortu duen prozesuan berrerabiltzeko. Era berean, lokatzetan ematen diren tratamenduak oso garestiak izaten dira araztegienezako, beraz, kostu hauek murriztu egingo litezke aipatutako irtenbidea emango balitzaieke.

Bestalde, beste motako hondakinetatik eratorritako ikatz aktibatuen aplikazioa ere esanguratsua izan liteke. Animalia hezurretatik eratorritako ikatz aktibatua urak izaten dituen kutsatzaile batzuen adsortziorako interesgarria dela frogatu da, aipatutako ikatz aktibatua prestatetarako beste bide interesgarri bat izan zitekeelarik. Hasiera batean gizartearen hondakin batetik abiatzen gara ura garbituko duen adsorbatzailea prestatzeko.

Dena den, maila industrialean aipatutako hondakinetatik sortutako ikatz aktibatua ez dira oraindik asko erabiltzen eta I+D fasean daude. Beraien aplikazioa laborategi mailara mugatuta dago momentuz eta emaitza gehiagoren beharra eskatzen du eskala handiago batean hauen erabilpena zabala izateko.

Horrez gain, hiriguneetan eta herrietan banatzen den ur edangarria aurretik tratatzea ezinbestekoa da, izan ere, honek industriaren, nekazaritzaren eta abeltzaintzaren eragina jasan ohi baitu. Horrela, ur honek kontzentrazio txikietan baina izaki bizidunen osasunerako oso

arriskutsuak diren konposatuak izaten dituzte, bentzenotik deribatzen diren hainbat konposatu eta kloroa duten hainbat konposatu esate baterako.

Ondorioz, proiektu honetan interesgarria iruditu zitzaidan lehen gauza, ur arazketaren prozesuan sortzen den hondakinaren birziklapena izan zen, prozesu berean berrerabilia izan daitezkeelarik arazketan sortutako lokatzak. Era berean, animalia hezurretatik abiatuz prestatutako ikatz aktibatua erabili ahal izatea deigarria aurkitu nuen. Gainera, fenola, konposatu kloratuak eta beste hondakin organikoak uretatik ezabatzeko arazoak egonda, mota hauetako konposatuen arazketarako bide berriak aztertu behar dira, izan ere, esan den bezala, oso arriskutsuak dira osasunerako kontzentrazio oso txikietan agertu arren eta gaur egun oraindik ere euren ezabaketa zaila gauzatzen da.

Beraz, azalduko den proiektuan bi gertaera horietan oinarritu eta helburu nagusia fenola bezalako mikrokontaminatzaile biologikoen adsortzio maila aztertzea izan da ur araztegi-tako lokatzetatik eta animalia hezurretatik prestatutako ikatz aktibatuan, ohantze finko baten barne.

Ondorioz, zeregin nagusi horren barnean hainbat helburu definitu dira lan hau bideratzeko orduan.

Alde batetik, lehen helburua ikatz aktibatuen prestatutako gauzatzea izan zen. Prozesu honen barne, hainbat pauso eman dira, horrela ikatz aktibatuen propietate optimoak izan dezan aipatutako kontaminatzaileen adsortzio egokirako. Jarduera multzo hauen barne tratamendu fisiko-kimikoak (konposatu kimiko jakin batzuk erabiliz) eta tratamendu termikoak (aktibazio fisikoa) eman dira gas desberdinen bitartez. Ez da prozesu bera erabili lokatzen eta animalia hezurren kasuan.

Erabilitako ikatzen karakterizazioa egin da, gas faseko adsortzioaren zenbait teknika erabiliz. Analisi hauen bidez ikatzaren hainbat ezaugarri aztertu dira eta adsortzio prozesuetan eragina duten aldagai batzuk kuantifikatu egin dira.

Bestalde, bi mota hauetako ikatz aktibatuen jokaera aztertu nahi izan da adsortzio prozesuetan eta hauen adsortzio ahalmena konparatu. Hauen kalitatearen ebaluazioa egitea nahi izan da ezabatutako kontaminatzaile kantitatearen arabera. Horretarako, lortutako emaitzen interpretazioa gauzatuko da eta ohiko ikatz aktibatuen adsortzio mailarekin konparazioa gauzatuko da, bibliografian azaldutako emaitza bat edo besterekin.

Azkenik, aipatutako prozedura esperimentalarekin lortutako emaitzak, simulazio programa baten bitartez lortutako emaitzekin konparatu nahi izan dira, hots, lortutako emaitza teoriko batzuekin. Hauen lorpenerako, prozesuan erabili den ohantze finkoan materia balantze bat egin da eta adsortzio fenomenoaren azaltzen dituzten ekuazioak erabili izan dira honen exekuziorako.

Era berean, prozesu honen materia transferentziarako koefizientea eta difusio koefizientearen lorpenean gauzatu izan nahi da operazio bakoitzerako. Horretarako, optimizazio metodoak erabili dira, non, aipatutako emaitza teorikoak esperimentaletara hurbilduak izan diren, prozesu bakoitzerako koefiziente optimoenak azalduz eta eredu matematiko erabilgarria deskribatuz kasu bakoitzean.

## **2. OINARRIZKO KONTZEPTUAK**

### **2.1. LOKATZEN PROBLEMATIKA; UR ARAZTEGIETAKO HONDAKINAK**

Europar batasunak egindako azken gomendioen arabera (91/271 zuzentaraua), 2000 biztanle baino gehiagoko herrietan hondakin uren tratamendua gauzatu behar da. Ondorioz, ur araztegi berrien eraikuntzarako proiektu kopurua nabarmen handitu egin da eta herrietako ur-baliabideak handitu. Dena den, gertaera honek araztegiatan sortutako lokatz kopurua handitzea ekarri du. Era berean, europar batasunean 10 milioi tonelada lokatz oinarri lehorrean baino gehiago sortzen dira urtero (Laternus eta kol., 2007).

Lokatzen eraketak arazo handiak suposatzen ditu, izan ere, ez dira erabilgarriak izaten nekazal jardueretako eta zabortegeetan leku arazoak izaten dituzte. Beraz, ezinbestekoa da lokatz hauei beste motako irteerak ematea. Esate baterako, Herrialde garatuetan lokatzei tratamendu termikoak aplikatzen ari zaizkie, ondoren hauen balorazio energetikorako. Dena den, prozesuaren ondoren hondakinak sortzen dira eta arazoak izaten dira ere hauek tratatzeko orduan.

Lan honen ulerpena egokia izan dadin, ezin bestekoa da lokatzean aplikatutako tratamenduak eta emandako aldaketak deskribatzea ezinbestekoa da ikatz aktibatua edo azken produktua lortzeko. Era berean, hauen ezaugarri eta prozesuak ezagutzea garrantzitsua da.

#### **2.1.1. Lokatzen izaera**

Hondakin uretatik banatutako ur eta solidoen nahastea da, prozesu natural edo artifizialen ondorioz sortuak. Hondakin ur urbanoak jasotzen dituzten ur araztegiatan, fosa septikoetan eta antzeko konposizioa dituzten urak jasotzen dituzten araztegiatan sortzen dira ( nekazaritzako elikagaien industriatik batez ere). Lan honetan EDAR lokatzetan oinarritutako ikatz aktibatua erabiliko da, hots, hondakin uren arazketarako estazioetan sortzen diren lokatzak.

Aipatutako lokatzak hondakin uren arazketarako hainbat prozesuen multzo eta etapen emaitza dira. Multzo honetan bi lokatz mota nagusi bereizi daitezke. Alde batetik, lokatz primarioak, zeinak dekantagailu primarioetatik sortzen diren eta, bestetik, lokatz sekundarioak. Bigarren hauek lokatz biologiko bezala ere ezagutzen dira eta hondakin uren tratamendu biologikoetatik eratzen dira, tankeen sedimentazioaren ondorioz.

Lokatzen konposizioari dagokionez, hauek bereziki proteinaz, gantzez, ureaz, zelulosaz, silizez, nitrogenoz, azido fosforikoz, burdinez, kaltzio oxidoaz, aluminio oxidoaz, magnesio oxidoaz eta potasaz osatuta daude. Beste motako metal astunak eta mineralak ere agertzen dira kontzentrazio baxuagotan.

#### **2.1.2. Lokatzen tratamendua**

Araztegiatan sortutako lokatzak betidanik azpiproduktu baliran bezala tratatu dira, nekazaritza jardueretan ongarri bezala tratatzeko edo zuzenean zabortegeietara eramateko. Dena den,

europar batasunak legeak aldatu ditu lokatzen kudeaketari dagokionez, izan ere, hauetan aurkitzen diren sustantzia kutsagarrien kantitatea gehituz joan da eta gaur egun hondakin solidoak baliran bezala tratatu behar dira.

Horrela, ur-araztegieta pauso desberdinak ematen dira lokatzen lorpena baino lehen. Lehenik hondakin urak suspentsioan dauden solidoetatik banatzen dira, ondoren, uraren tratamendu primarioa gauzatzeko, non, prozesu fisikoen bitartez beste solido batzuk banatzen diren dentsitatearen ondorioz. Tratamendu sekundarioan ( biologikoa deritzona), materia organikoaren degradazioa ematen da eta flokulazio prozesu bat ematen da, materia organikoaren, inorganikoaren eta biziaren zati bat banatzea baimentzen duena. Erabiltzen den tratamendu nagusia lokatz aktibatua da, non, lokatz kontzentrazio handiak sortzen diren eta hauetan aurkitzen diren konposatu hegazkorak kendu eta materia mineralizazioa ahalbidetzen duen.

Beraz, hondakin uretan aurkitzen diren sustantzia patogeno, toxikoak eta ezaugarri ez atseginak (usainak) lokatzetan metatzen dira, ur honek jaso dituen tratamendu fisiko, biologiko eta kimikoen izaeraren ondorioz. Lokatzak aurkezten dituzten ezaugarrien ondorioz, hauek araztegia utzi baino lehen beharrezkoa da hauen egokitzapena gauzatea, bolumena murriztuz, egonkortuz eta, kasu batzuetan, agente kutsatzaileak kenduz. Ondorioz, lokatzen tratamendua araztegiek aurre egin behar dioten arazo nagusietako bat da (Oleszkiewicz eta Mavinic, 2002).

Lokatzen tratamendurako hainbat prozesu aurkitzen dira eta hauen aukeraketa lokatzen ezaugarrietan, inbertsio kostuetan eta araztegiaren tamaina eta kokapenean oinarrituz egingo da. Araztegi beran ematen diren prozesu nagusien artean loditzea, egokitzapena, egonkortzea eta deshidratazioa dira. Plantatik kanpo ematen diren prozesuen artean lehortzea eta tratamendu azken bat ematen da, lokatz hauen banaketa egokirako.

### **2.1.3. Lokatzen kudeaketa**

Gaur egun, Lokatzen kudeaketarako hainbat irtenbide ematen eta azaleratzen ari dira, baina bide nagusienak nekazal lurretan ongarri moduan erabiltzea, errausketa edo zabortegietan depositatzea dira.

Alde batetik, lokatzak ongarri bezala erabiltzeko orduan, europar batasunak agindutako legeak bete behar ditu, 86/278/EEC zuzentarauan jasotzen den legez. Batzuetan ez da posible izaten lokatzei irtenbide hau ematea, izan ere, arazo eta muga asko egoten dira hau irtenbide bezala aplikatzeko orduan.

Beste aldetik, lokatzak zabortegietara bidaltzea izaten da irtenbide simple eta merkeena. Ez da lokatzen berrerabilpena ematen eta azkenaldian arazoak sortzen ari dira bide honi dagokionez, izan ere, ez dut bat egiten materia organikoa birziklitzeko politikekin eta zabortegi berrien eraikuntza eskatzen du askotan.

Errausketa teknikei dagokionez, beste teknika batzuk ez dituzten hainbat abantaila aurkezten ditu, izan ere, prozesuan sortutako energia ugaria eta merkea izaten da. Gainera, lokatzen



bolumena nabarmenki murriztu egiten da eta toxikotasun altuko materia organikoa ezabatzen da. Dena den, hainbat konposatu kaltegarriak sortzen dira, adibidez, furanoak eta dioxinak.

#### **2.1.4. Lokatzen bestelako kudeaketak**

Alde batetik, lokatzak produktu jakin batzuk lortzeko erabili daitezke. EDAR motatako lokatzek eraikuntzako industrian dute batez ere aplikazioa, horrela, lokatz hauen bolumena murriztuz, energia aurreztuz eta tratamendurako kostuak jaitsez. Adibide esanguratsuen artean Ecobrik izeneko dugu, lokatz hauetaz eta buztinez osatuta dagoen material zeramikoa delarik.

Era berean, adreiluak egiteko erabili daitezke, lokatz hauetako batzuk metal astunak dituzten legez. Eraikuntzatik kanpo, azkenaldian laborategietan erabiltzen den kaltzio azetatoa eta magnesikoa egiteko erabiltzen ari dira.

Lokatzen beste aplikazio nagusietako bat, energiaren lorpenerako izaten da pirolisi, gasifikazio edo eraldaketa termiko bezalako prozesuetan. Hauen artean pirolisiak du garrantzi gehien lan honetan, izan ere, ikatz aktibatua prestatzeko prozesu hau erabili da.

Dena den, lan honetan aztertuko dugun lokatz mota hauen kudeaketa, oraindik ikerkuntza fasean dagoen eta ingurumenaren ikuspuntutik interes handikoa den adsorbatzaileen formazioa da. Aurrerago ikusiko dugun bezala, tratamendu multzo baten aplikazioaren ondorioz, EDAR lokatzak hainbat kutsatzaile mota adsorbatu ditzakeen ikatz aktibatua bilakatu daiteke.

## **2.2. ANIMALI HEZURRETATIK ERATORRITAKO IKATZA; BONE CHAR**

Animali hezurren karbonizaziotik lortzen den solido granularri deritzo. Hezurak tenperatura altuetan berotu egiten dira (400- 500°C artean) oxigenoaren presentziarik gabe, gero erabilgarriak izateko adsortzio prozesuetan. Ondoren adierazten den konposizioa izan ohi dute;

- Karbonoa: % 9-11
- Hauts disolbagarri azidoa: % 3 gehienez
- Fosfato trikaltzikoa: % 70-76
- Kaltzio karbonatoa: %7-9
- Kaltzio sulfatoa: %0.1-0.2
- Beruna: % 0.3 gehienez

Alde batetik, hauen kalitatea koloreagatik determinatu daiteke. Hezur beltzak deritzonak azpi-karbonizaturik egon ohi dira, materia organikoen ez- purutasunak izan ahal dituztelarik. Ondorioz, ez dira gomendagarriak uren tratamendurako, izan ere, kolore eta bestelako usainak transmititu ahal ditzakete. Kolore zuria dutenak gain- karbonizatuta egoten dira eta eraginkortasun gutxi erakusten dute adsortzio prozesuetan. Horrela, gris kolorekoak izaten dira hezur egokienak emaitza onak lortzeko adsortzio prozesuetan. Era berean, karbonizazio

prozesuan egon daitekeen oxigenoaren presentzia baldintzatu dezake lortutako emaitzen kalitatea.

Aplikazioei dagokionez, alde batetik, filtrazio prozesuetan erabiltzen da, batez ere fluoruroen ezabapenerako eta akuarioetako uren filtraziorako.

Bestalde, azukrearen birfindegi industrian ere erabiltzen da dekoloratzailer moduan (Louis Constant, 1812). Begetarianoentzako honek arazoa suposatzen du, izan ere, Estatu Batuetan, esate baterako, birfindutako azukre industriaren %25ak animalia hezurren bidezko filtrazioa erabiltzen du eta kanaberako azukrearen industrian %50ak. Beste herrialdetan (Australian adibidez) ez da erabiltzen hezurrik prozesu hauetan.

Horrez gain, olio gordinaren birfinketa prozesuetan erabiltzen den materiala da eta marrazketako jardueretan, pigmentu beltz bezala.

Dena den, lan honetan hurrengo lerroetan azaltzen den ikatz aktibatua sortzeko erabiliko da, izan ere, EDAR lokatzak bezala, karbono kantitate onargarriak erakusten dituzte material hauen eraketarako. Gainera jada adsorbatzailer moduan erabiltzen da eta ikusiko den legez, tratamendu multzo batzuen ondorioz hezurren adsortzio ahalmena asko handituko da.

## **2.3. IKATZ AKTIBATUA**

Karbono edukiera erlatibo handia duten materialetatik eratorriak eta gainazaleko azalera handia dituzten materialak dira ikatz aktibatuak. Mikroporo kopuru handiak dituzte (bi nanometro baino tamaina txikiagoko poroak) eta aktibazio prozesuak ikatzaren eraginkortasuna handitu egiten du, izan ere, gainazaleko azalera hobetu eta handitzen du. Hurrengo lerroetan azalduko den bezala, hainbat aplikazio izateaz aparte, gas eta likido egoeran dauden hainbat sustantzia adsorbatzeko gai dira.

### **2.3.1. Jatorria**

Hainbat materialetik abiatuz prestatu daitekeen produktua da, hala nola, ikatzetik, turbatik, egurretik edo petroliotik abiaraziz. 1000°C-tik hurbil dauden tenperaturetan berotu egiten dira oxigenoaren presentziarik gabe eta gainazalean milioika poro mikroskopiko dituen produktua lortzen da. Poro kantitate hauen ondorioz, ikatz aktibatuek gainazaleko azalera handiak izaten dituzte, partikulen adsortzioa erraztuz eta hauek ikatzen gainazalean atxikiturik geldituz. Azalduko den bezala, konposatu organikoen banaketarako propietate bikainak aurkezten dituzte.

Alde batetik, karbono proportzio erlatiboki handiak dituen edozein material organikotik abiatuz prestatu daiteke ikatz aktibatua. Industrietatik abiatuz lortzen diren ikatz aktibatuak egurretik, baso- hondakinetatik, biomasa produktuetatik, ikatz mineraletik, polimero desberdinetatik edo zuntz natural edo sintetikoetatik lortu daitezke.

Dena den, salbuespen batzuk eta muga batzuk ere daude. Egitura aldetik, ikatz aktibatuak isotropoak eta estruktura oso desordenatuak dituzte. Beraz, karbonizazio prozesuan fluido edo

pseudofluido fase batetik pasatzen diren materialak ez dira egokiak izango ikatz aktibatuak sortzeko orduan, izan ere, hauek berriz solido bilakatzean euren egiturak ordenatu egiten dira. Ondorioz, ez dira egokiak propietate termoplastikoak aurkezten dituzten hondakinak eta , aldi berean, kokeen propietateak aurkezten dituzten materialak.

Ondoren agertzen diren puntuetan laburtzen dira ikatz aktibatu on batek bete behar dituen baldintzak;

- Eskuragarritasun ona eta kostu baxuak.
- Materia mineralen edukiera txikia.
- Ikatz erresultanteak propietate mekaniko onak izatea eta adsorbatzeko gai izatea.

Horrela, ba, egur hondakinak, koko oskolak, fruitu lehorrak, fruitu batzuen hasiak eta ikatz mineralak, petroliotik eratorritako kokearekin batera jatorrizko material erabilienetako batzuk dira. Dena den, fase esperimentalean edo gutxiago erabiltzen diren beste jatorrizko materialak erabili daitezke, horien artean lan hau egiteko erabili diren txerri hezurak eta EDAR lokatzak daudelarik eta jada aipatu diren beste batzuk; Azukrea, lignita, turba, lokatzak, hezurak...

Ildo beretik jarraituz, ikatz aktibatuaren bidezko adsortzioa prozesu garestia bilakatzen ari da azkenaldian, izan ere, ikatz aktibatu komertzialak erlatiboki garestiak eta material ez berriztagarrietatik sortutako produktuak izaten dira aipatutako koko oskolak erabiliz, egurra edo ikatz bituminosoa.

Interes ekonomikoaren ondorioz eta ikatz aktibatuaren adsorbatzeko gaitasun handia ikusita bide berrien bilaketan ikatz aktibatua hezurretatik eta lokatzetatik eratorri daitekeela behatu da. Izan ere, ikerkuntza hauek industriari eta nekazaritzako azpiproduktuetan eta uren tratamenduko hondakinetan oinarritu dira, esan bezala, ingurumen ikuspuntutik interesgarriak direlako eta merkeak lortzeko. Esate baterako, EDAR lokatzetatik eratorriak diren adsorbatzaileen produkzioak beste ikatz aktibatu komertzialen kostuen % 10 suposatuz lezake soilik ( Bojner, 1973).

### **2.3.2. Ikatzen Prestaketa**

Ikatx aktibatu on bat lortzeko jatorrizko materialak ez ezik, garrantzizkoa da produktuak izango duen fabrikazio prozesua eta izango duen aplikazioa jakitea. Aipatutako fabrikazioa bi etapetan banatu daiteke. Alde batetik, aktibazio fisikoa ( termikoa ere deritzona) eta , bestetik, aktibazio kimikoa.

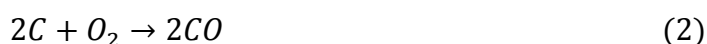
Aktibazio fisikoan lortzen den porositatea tenperatura altuetan ematen den gasifikazio prozesuaren ondorioa da eta aktibazio kimikoan lortzen dena deshidratazio erreakzioen ondorioa da. Ondorengo lerroetan teknika hauek sakonago azalduko dira.

Aktibazio termikoari dagokionez, erreakzioa agente aktibatzailearen ondorioz ematen da, hots, airea, ur- lurrina edo oxigenoa bezalako oxidatzaileen ondorioz. Prozesu honetan hainbat etapa ematen dira eta hau aplikatu aurretik solidoaren egokitzea gauzatzea beharrezkoa izaten da, atxikituz eta tamizatuz.

Horrela, jatorrizko materiala kokearen ezaugarriak aurkezten baditu beharrezkoa oxidazio etapa bat beharrezkoa izaten da prozesu hau eman aurretik. Beste kasu batzuetan, hasierako materiala hauts bilakatu eta trinkotu egiten da aglomerazioaren bidez eta gero berriz atxikitzea nahi den tamaina lortu arte. Aipatutako teknikarekin osagai aktibatzailearen difusio hobea lortzen da eta porositate maila handiagoko solidoa.

Etapu hau eman baino lehenago karbonizazio prozesua ere ematen da, zein aktibazioarekiko independentea edo jarraian eman daitekeelarik. Prozesu honetan jatorrizko solidoa tenperatura altuetara berotu egiten da (800°C aldera) airerik gabe, horrela, sustantzia hegazkorrak kendu eta karbonozko hondakin bat gelditzen da. Hondakin hau gero aktibazio prozesura eramango da. Etapu honetan ere gas hegazkorren irteerak porotasunaren alde egiten du.

Prozesu nagusiari dagokionez, osagai aktibatzaileak karbono partikulekin erreazionatzen du, hautazko errekuntza bat emanez. Materialean poroak sortu eta porositatea handituz doa prozesua aurrera joan ahala. Ohiko agente aktibatzaileak oxigenoa (industrian gutxi erabiltzen da), airea, karbono dioxidoa eta ur lurrina (erabiliena) dira. Oxigenoak hurrengo erreazio kimikoetan parte hartzen du, karbono atomoak eliminatuz (karbono atomoak gas egoerara pasatzen dira) eta, ondorioz, poroen sorkuntza bideratuz (Bandosz, 2006),



Aktibazio kimikoari dagokionez, sustantzia kimiko bat erabiltzen da jatorrizko materialarekin erreazionatzeko. Kasu honetan aktibazioa etapa bakarrean ematen da eta tenperaturak 450-900 °C artean aurkitu daitezke. Aktibazio hau gauzatu ondoren beharrezkoa da ikatza garbitzea geratu zitekeen agente aktibatzailearen zatiak kentzeko. Industrian erabilitako aktibatzaile nagusiak zink kloruroa, azido fosforikoa eta potasio hidroxidoa dira.

Gaur egun aktibazio kimiko erabiliena maila industrialean azido fosforikoaren bidezkoa da, teknika honetan material lignozelulosikoak nahiago direlarik. Ematen diren pausuak materialaren atxikimendua eta sailkapena, azido fosforikoarekin nahastea, tratamendu termikoa 100-200°C-tan eta atmosfera inertean eta beste tratamendu bat 400-500°C-tan.

Ondoren, solidoa garbitu, lehortu eta ikatzaren sailkapena egiten da tamainaren arabera. Erabilitako azido fosforikoa birziklatu egiten da eta jatorrizko materialarekin 1:5 ( azido fosforiko: materiala) proportzioan nahastu nahi da. Dena den, proportzio hau aldakorra da lortu nahi dugun ikatzaren propietateen arabera. Ikatzen etekina %50 izaten da (Bandosz, 2006).

Azkenik, ikatz batzuetan aplikatzen den azido klorhidrikoaren bidezko garbiketa azalduko da. Tratamendu honek ikatz materialen sustantzia inorganikoen kantitatea jaitsi eta araztegietako lokatsetik datozen ikatzetan aurrerago azalduko den BET gainazal espezifikoan hobekuntza handiak ekartzen ditu, gainazal hori 49 m<sup>2</sup>/g- tik 428 m<sup>2</sup>/g-ra handitu daitekeelarik ( Ros y cors, 2007).



Porotasunari dagokionez, aipatu behar dago ikatzak grafitoz osatutako egitura kristalatuaz eta, bestalde, ordenarik aurkezten ez duten konposatu aromatiko alifatikoz osatuta daude. Aktibazio prozesuan kristala osatzen duten osagaien distantzia handiagoa bilakatzen da eta karbono kopurua gutxitu egiten da. Aktibazio prozesuak tarte hutsak husten ditu karbonozko egiturari, gainazal azalera handiko poroak osatuz gehienetan.

Horrela, adsortzio prozesu desberdinetan ( likido edo gas fasean ) adsorbatzen diren atomoak edo molekulak indar fisikoen bitartez (elektroestatikoak eta dispertsioak) eta lotura kimikoen bidez ikatzaren gainazalera atxikiturik gelditzen dira. Hori dela eta, adsortzio prozesuetan garrantzizkoa da ikatz aktibatuek gainazal espezifiko handia izatea. Aurrerago azalduko den bezala, ikatzaren adsortzio maila neurtzeko hainbat prozedura esperimental daude, non, ikatzak gas jakin bat adsorbatzeko duen gaitasuna neurtzen den.

Karbono aktibatuen gainazaleko azalaren balio altuak bertan aurkitzen diren mikroporoak esker dira eta adsortzioaren zati nagusia poro hauetan ematen da. Ikatx aktibatu batean gainazal azalaren %90-95 artean gutxienez dagokio mikroporoak ( Bandosz, 2006). Dena den, makro- eta mesoporoak garrantzitsuak dira ere adsortzio prozesuetan eta beharrezkoak dira solutua mikroporoetarate irizteko. Aipatutako mesoporoetan kapilaritate bidezko kondentsazioa gerta daiteke adsorbatuan meniskoa sortuz. Era berean, mesoporoak gainazal azalera balio txikiak izaten dituzte baina badaude 200 m<sup>2</sup>/g inguruko azalera handiak dituzten mesoporoak ere ( Bandosz, 2006).

Bestalde, kasu batzuetan adsorbatu nahi den produktuaren molekulen tamainaren arabera ( batez ere tamaina handiko molekula organikoetan), arazoak egoten dira partikula hauek poroetatik sartzeko. Era berean, poroek duten formaren arabera arazoak egon daitezke molekulak mikroporoetara iristeko. Beraz, ikatzaren gainazal azalera ez da zuzenean proportzionala honek duen adsorbatzeko ahalmenarekin. Horrela, poro tamainaren banaketa adsorbatzailearen zehar kontuan izan beharreko faktorea da.

Ildo beretik jarraituz, aplikazio jakin batean ikatz aktibatu jakinaren eraginkortasuna, adsorbatzailea berak duen tamaina jakineko poro proportzioaren araberakoa da. Orokorrean gasen adsortziorako nahiago dira mikroporo kantitate handiak dituzten ikatz aktibatuek. Bestalde, disoluzio jakin bateko solutuen adsortziorako nahiago da mesoporoak eta makroporoak kantitate handietan egotea.

Dena den, kasu batzuetan gainazal azalera eta poro banaketa bera duten ikatz aktibatuek adsorbatzeko ahalmen oso desberdinak erakusten dituzte ( Henry eta kol., 1974). Beraz, kontuan hartzen den beste faktore bat ikatzaren gainazalean dauden talde kimiko funtzionalen izaera eta natura da. Ikatzen gainazalean elektroioak aske dituzten karbono atomoak aurkitzen dira eta hauek loturak sortzen dituzten beste elementu batzuekin talde funtzional desberdinak emanez gainazalean.

Talde funtzional hauetan oxigenoa kantitate gehienetan agertu ohi den elementua da. Oxigeno molekularra atomoetan banatu egin daiteke, atomo hauek karbonoarekin erreakzionatuz eta gainazalean talde oxigenatuak lortuz. Oxidazio prozesu hau handitu egiten da tenperaturarekin

, baita lehenago beroketa prozesu bat jasan duten ikatz aktibatuetan. Oxigenoa duten gainazaleko talde funtzionalak ez dira sortzen soilik elementu honen disoziazioaren ondorioz. Era berean, ikatzak beste gas oxidatzaileekin erreakzionatu dezake, hala nola, ozonoa, nitrogeno monoxidoa eta karbono dioxidoa.

Horrela, ikatz aktibatuen gainazalean oxidazio prozesuak aplikatu daitezke elementu hau duten talde funtzionalak lortzeko edo tratamendu termikoak aplikatu daitezke aipatutako talde funtzionalak selektiboki ezabatzeko erabilitako tenperaturaren arabera ( Nikolaev eta kol, 1993).

Beste aldetik, ikatz aktibatuen gainazalaren konposizio aldaketa txikiek aldaketa handiak sortu dezakete hauen adsortzio ahalmenean. Izan ere, gainazalean agertzen diren talde motak eta kopurua eragin handia izan ahal dute karbono atomoen eta adsobatuaren molekulen arteko loturetan.

Ondorioz, bi efektu mota ematen dira nagusiki. Alde batetik, karbonoaren hidrofilitasunean edo hidrofobotasunean eragin dezakete. Elementu hau berez hidrofoboa da baina oxigenoa duten talde polarrekin elkartzen bada bere hidroafinitate maila asko igotzen da. Ur molekulek hidrogeno zubiak eratzen dituzte adsorbatzailean dauden oxigeno atomoekin.

Beste aldetik, gainazalean aurkitzen diren talde funtzionalek eragin handia izan dezakete karbono atomoen basikotasun edo azidotasan izaerari dagokionez. Ikatx aktibatuak berez izaera anfoteroa dute, hots, euren gainazalean orekan dauden konposatu azido eta basikoak agertzen dira. Hala ere, gainazaleko talde funtzionalek eragin handia izan dezakete ikatzen pH-an. Parametro hau talde basiko eta azidoek duten indarrez baldintzaturik egongo da, hots, sendotasuna eta ahultasunaren arabera.

Beraz, orokorrean, ikatz aktibatuen adsortzio maila aldatu daiteke gainazalean dauden talde funtzionaletan aldaketak eraginez edo/eta pH-a aldatuz. Hala ere, gehienetan ikatz basikoak erabiltzen dira adsorbatu behar den solutua azidoa bada edo ikatz azidoak erabiltzen dira solutuaren molekulak izaera basikoa badute. Era berean, katioien adsortzioa hobeto gauzatuko da ikatzaren gainazala negatiboki kargaturik badago eta anioien adsortzioa errazago emango da ikatzaren gainazala positiboki kargatua badago.

#### **2.3.4. Ikatx aktibatuen aplikazioak**

Aurretik aipatutako arrazoiengatik, hots, gainazaleko azalera handia, poro tamaina desberdinen distribuzioa eta gainazalak izaera kimiko desberdinak aurkezteagatik, erabilera anitzena duen adsorbatzailea da. Esan beharra dago, ekoiztutako ikatz aktibatuen %20a soilik gas adsortzio prozesuetan erabiltzen da, baina hauek oso garestiak izaten dira eta saldutako ikatz aktibatu guztien kostuen %40a betetzen dute.

Fase likidoekin erabiltzen diren ikatzetan makroporoen bolumena handiagoa izatea komeni da mesoporoena edo mikroporoena baino. Solidoa granularra, hautsa edo konformatua izan daiteke eta lortu nahi den purifikazio mailaren arabera egiten da erabakia. Honako hauek dira mota hauetako ikatzen aplikazio nagusiak likido adsortzian;

- Azukredun likoreen dekolazioa.
- Uren tratamendua ( usainak, kolore sustantzia kimiko, bakterioen ezabapena).
- Olio, proteinen eta koipeen purifikazioa.
- Medikamendu bezala pertsonen desintoxikazioan.
- Odol plasmaren purifikazioan.
- Elementu metalikoen ( urrea, zilarra...) banaketa gauzatzeko.

Ikatz aktibatuen beste funtzioen artean zigarroen filtroak edo zapatilen barne-zolen produkzioa aurkitzen dira. Dena den, lan honetan adsortzio prozesuez hitz egingo da prozesuaren ondorioz lortutako emaitzak ulertzeko.

## **2. 4. ADSORTZIO PROZESUA IKATZ AKTIBATUETAN**

Adsortzioa gainazal solido edo likido batean ematen den sistema jakin baten osagai bat edo gehiagoren banaketa eta kontzentrazioa da. Adsortzio prozesua solido-likido, solido-gas edo likido-gas bezalako sistema heterogeneo desberdinetan eman daiteke, osagaiak modu selektiboan banatuz bi faseen zehar.

Adsorbatzaile erabilienak aipatutako ikatz aktibatuak eta zenbait erretxina sintetikoak dira, baina silize gela eta alumina ere asko erabiltzen dira. Horrela, ur arazketa prozesuetan ikatz aktibatuak dira gehien erabiltzen diren adsorbatzaileak, 1935. Urtean hasi zirelarik adsorbatzaile honi buruzko ikerketak hondakin uretan egiten. Berrogeita hamarreko hamarkadan pestiziden industrian jada efluenteen tratamendurako erabiltzen ziren eta 1960. Urtetik aurrera hondakin ur urbanoen tratamenduan aplikatzen hasi ziren. Hainbat alde positibo azpimarratu behar dira ikatz aktibatuen aplikazioan hondakin uren tratamendurako;

- Eraginkortasun handia erakusten dute kutsatzaileen kontzentrazio baxuekin lan egitean.
- Ondo egokitzen dira emari eta kontzentrazio aldaketetara.
- Ez dute espazio handiren beharrik.
- Automatizaziorako erraztasuna.
- Adsorbatzailea berreskuratzeko aukera.
- Adsorbatutako solutuak berreskuratzeko aukera, hauek interes ekonomikoa baldin badute.

Alde negatiboen artean, operazio kostu altuak azpimarratu behar dira, beraz, hauen erabilpena soilik tratatutako ura berrerabili egin behar denean edo solutuak berreskuratu behar diren kasuetarako mugatzen dira gehienetan.

### **2.4.1. Adsortzio prozesuen ezaugarri eta aldagai esanguratsuak**

Adsortzio prozesu batean kontuan izan behar diren aldagai edo aspektuei dagokionez, adsorbatzaile- adsorbatu sistema batean ondorengo faktoreak izan behar dira kontuan;



- Aipatutako gainazal espezifikoa eta solidoaren porositatea.
- Partikula tamaina.
- Poroen tamaina, egitura eta banaketa.

Bestalde, aipatutako ezaugarri hauek oso garrantzitsuak dira adsortzio bidezko materia transferentziaren hurrengo etapetan;

- Solutuaren difusioa jariakinaren barnetik solidoaren kanpoko gainazalera.
- Adsorbatutako molekulen difusioa poroen barneraino, hauen gainazal askera iritsi arte.
- Solutuen molekulen adsortzioa solidoaren gainazalean, indar fisiko eta kimikoen ondorioz.

Orokorrean adsortzioaren etapa oso azkarra da difusio prozesuekin alderaturik. Faseen arteko abiadura erlatiboa handia denean kanpo difusioa oso azkar ematen da eta barne difusioa etapa kontrolatzailea izaten da, hots, beste etapak irauten duten denbora arbuigarria da honek irauten duen denborarekin alderatuz. Kasu hauetan erabakigarria izaten da adsorbatzailearen partikulen tamaina eta hauen poroen diametroa.

Bestalde, kontuan izan behar da adsorbatuaren afinitatea, adsorbatzailearen gainazalean dauden talde funtzionalen arabera izaten delarik faktore hau. Era berean, kontuan izan behar da adsorbatuaren presio partziala edo kontzentrazioa fase fluidoan.

Horrela, adsorbatzaile batek solutu jakin bat adsorbatzeko duen gaitasuna prozesu errealearen baldintzen arabera edo beste baldintzen arabera ezarri daiteke. Hala ere, prozesuaren mugan oreka bat ezartzen da disoluzioan solutuak duen kontzentrazioa eta adsorbatutako honen masaren artean, adsorbatzailearen masa unitateko edo gainazal unitateko. Kasu askotan oreka erlazio hau ekuazio sinpleen bidez adierazi daiteke aurrerago ikusiko den moduan, Freundlich bezalako erlazioen bidez.

Era berean, garrantzizkoa izaten da adsorbatuaren molekulen izaera polarra eta hauen tamaina. Izan ere, solutua ikatzean errazago adsorbatuko da honen gainazalarekiko duen afinitatea disolbatzailearekiko duena baina handiagoa denean. Beraz, gainazalaren eta kontsideratutako sustantziaren lotura energia adsorbatu beharreko solutuen izaeraren arabera izango da.

Ondorioz, prozesuaren aspektu termodinamiko eta zinetikoak ezagutzea garrantzitsua da, erregulatzaile bezala jokatzen duten mekanismo eta erresistentziekin batera. Izan ere, beharrezko kontaktu denbora hauen arabera eta, horrekin batera, instalazioaren tamainen determinazioa.

#### **2.4.2. Ingurunearen baldintzak eta faktore ekonomikoak**

Alde batetik, pH-ak konposatu azido eta basikoen ionizazio mailan eragiten du, hala ere, orokorrean, azidotasunak kasu askotan adsortzioa errazten du ikatz aktibatuan. Bestalde, tenperaturak prozesuaren abiaduran eragiten du eta orekaren amaierako egoeran ere.

Faktore ekonomikoei dagokionez, industriaren ikuspuntutik, prozesuren estimazio ekonomikoek kontuan izan behar dute beharrezko inbertsioa eta honen barne adsorbatzailearen berreskurapenerako planta, honen berrerabilpena egin nahi bada. Horrez gain, operazio kostuak izan behar dira kontuan, hala nola, adsorbatzailearen kostua, elikatutako adsorbatzailearen dosia determinatzen duen ikatzaren adsortzio gaitasuna eta honen berreskurapenaren aukera tekniko eta ekonomikoak.

### 2.4.3. Adsortzioari buruzko teoria

Solido baten gainazal berriak gas egoeran dauden molekulak bertan pilatzen dituen indar eremua sortzen du, erreferentziako solidoaren inguruaren hutsuneak betez. Beraz, adsortzio prozesuak kontzentrazioaren igoera bat sortzen du solidoaren gainazalean eta orokorrean ematen den joera da, adsorbatzaile eta adsorbatzailearen elkarrekintzen ondorioz.

Termodinamikari dagokionez, prozesu hau espontaneo da, hots, prozesuaren energia askearen aldaketa negatiboa da ( $\Delta G < 0$ ). Beraz, berez gertatzen den prozesua da eta ez da sistemaren kanpotik inolako lanik egin behar prozesua emateko. Egoera honetan desordenaturik dauden gas molekulak, gainazal batean adsorbaturik gelditzen diren egoera batera pasatzen dira. Hau da, kontzeptualki, gas- solido sistemaren desordena gutxitu egiten da eta, beraz, prozesuaren entropia aldaketa negatiboa da ( $\Delta S < 0$ ) (La Chira Martínez, 2010).

Horrela, prozesuaren energia balantzea egiterako orduan, prozesuaren energia askearen aldaketa eta bertako entropia aldaketa kontuan izan beharreko aldagai bi izanez, honako adierazpenaren bidez prozesuan ematen den energia kantitatearen aldaketa definitu daiteke (La Chira Martínez, 2010);

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad (3)$$

Ekuazio honen (3) arabera argi dago prozesuaren entalpia aldaketa negatiboa izango dela, energia askearen aldaketa eta entropiaren aldaketa negatiboak diren legez. Hau da, prozesu hauek exotermikoak izango dira, energia askatuko dute ingurunera, mota hauetako prozesuak kontzeptualki tenperatura baxuetan faboratuta daudelarik. Adierazpen honetan oinarrituz, adsortzioaren fenomenoaz azaltzen duten hainbat teoria aurkitzen dira.

Alde batetik, esan beharra dago, gasen adsortzio fisikoaren bidezko teoriak direla erabilienak. Adsortzio isotermak oreka deskribatzen duten ezaugarri garrantzitsuenak dira, adsortzio sistema baten barne. Informazio honetatik jakin daiteke zein izan den adsortziorako bolumena, adsorbatzailearen gainazaleko azalera, poroen bolumena eta banaketa, adsortzio prozesuko beroa eta beste motako datuak. Ondoren, adsortzio prozesua azaltzen saiatzen diren teoria nagusiak azaltzen dira (La Chira Martínez, 2010);

- Freundlich-en teoria
- Henry-ren teoria
- Volmer-en teoria
- Hill de Boer-en teoria

- Langmuir-en teoria
- BET teoria
- Polanyi-ren potentzialaren teoria
- Mikroporoen bolumena betetzearen Dubinin-en teoria
- Teoria fraktala

Aurreko teoriak, adsortzioaren fenomenoak deskribatzeko erabiltzen dira eta aurrez aipatutako isotermen lorpenerako metodoak dira. Esan behar dago, lan honetan aurreko prozeduretatik batzuk soilik azalduko direla, aipatutako adsorbatalearen ezaugarrien determinaziorako eta isotermen itsura deskribatu dezaketen ereduak.

#### **2.4.4. Adsortzio motak**

Ikatz aktibatuan ematen den adsortzio prozesua gainazalaren azaleraren arabera da, interfase solido-likido bat eratuz (uren edo disoluzioen tratamendurako kasuetan) edo interfase solido-gas bat eratuz (gasen tratamenduan). Horrela, adsortzio prozesua bi modutan gertatu daiteke.

Alde batetik, fisiosortzioa deritzon prozesuan likidoaren molekulak van der Waals indar ahulen bidez adsorbaten dira solidoaren gainazalera. Adsorbaturako elementuak ez du aldatzen jatorrizko izaera kimikoa, prozesua hasi baino lehenagoko ezaugarri kimikoak mantentzen ditu.

Bestalde, kimisortzioan adsorbatalearen eta adsorbaturaren artean erreakzio kimiko bat gertatzen da, hots, lotura kimiko bat ezartzen da, elektroikopuru bat trukaturik. Trukatze maila eta simetrikotasuna prozesuan parte hartzen duten materialen arabera da.

Horrela, kimisortzioa oso garrantzitsua da katalisi heterogeneoan, non, katalizatzaile solido bat kontaktuan jartzen den fase gaseoso batekin (erreaktiboak). Erreaktiboak katalizatzailearen gainazalean adsorbaten da, lotura kimikoak eratuz. Horrela, erreaktiboaren dentsitate elektronikoa aldatzen da, beste egoeretan eman ez zitezkeen erreakzio kimikoak sortuz.

### **2.5. UR GARBIEN LORPENERAKO IKATZ AKTIBATUEN BIDEZKO ADSORTZIOA**

Aurreko atal baten azaldu den bezala, ikatz aktibatuek uren tratamendurako erabili daitezke hauetan aurkitzen diren disolbatutako hondakin organikoek ezabapena gauzatzeko, tratamendu biologikoan ezabatu ez direnak hain zuzen ere. Beste motatako mikrokontaminanteak eta metal astun jakin batzuk ezabatzeko ere erabili daitezke.

Horrela, ur edangarria lortzeko ur hauen tratamendua gauzatea ezinbestekoa da legediak ezarritako baldintzak betetzeko eta ikatz aktibatua erabiltzea prozesua errentagarria izatea baimentzen du.

Ondorioz, ondoren agertzen diren konposatu organikoek ezabapenerako erabili daitezke ikatz aktibatua, kutsatzaile inorganiko eta estetikoak kentzeko ere erabili daitezkeelarik;

- Garbigarriak
- Sintesirako koloratzaile disolbagarriak
- Pozoiak
- Toluenoa
- Deribatu aromatikoak, batez ere, kloratuak eta nitrogenotik deribatuak
- Bentzenoa
- Fenola eta beste deribatu hidroxilatuak
- Klorodun disolbatzaileak
- Pestizida jakin batzuk

### 2.5.1. Prozesuaren eraginkortasuna eta denbora

Bestalde, tratamendu hauetan erabiltzen den ikatz aktibatuaren eraginkortasuna ondorengo baldintzen arabera izango da;

- Kendu beharreko sustantzia organikoaren izaera. Masa molekular handia eta uretan disolbagarritasun gutxi duten sustantziak hobeto kentzen dira.
- Kendu beharreko sustantziaren kontzentrazioa ( karga faktorea). Kontzentrazioa gero eta handiagoa izan, hobeto kenduko da sustantzia.
- Beste konposatu organikoen presentzia, adsorbatu behar den konposatuarekin adsortzio lehiakorra ematen delarik.
- Tratatu beharreko uraren parametroak ( temperatura, presioa eta hezetasuna esate baterako). Adibidez, pH-ari dagokionez, konposatu azidoak hobeto adsorbatzen dira balio baxuetan.

Era berean, prozesuaren adsortzio denboran ondoko faktoreak eragiten dute;

- Kutsatutako ur kantitatea
- Tratatu beharreko konposatuen izaera eta kantitatea
- Ikatx aktibatua aurkitzen den zutabearen tamaina eta kantitatea. Laborategi mailan industrian baino ohantze askoz txikiagoak erabiltzen dira eta, beraz, partikulen tamaina asko txikitzen da ere. Horren ondorioz karga galerak sortu daitezke eta solidoaren trinkotzea saihesteko ohikoa izaten da kontrakorronteko operazioa.

### 2.5.2. Prozesuaren deskribapena

Honako prozesuetan, ura ikatz aktibatua duen zutabe batetara elikatzen da, ur honek zutabea drainatze sistema baten bidez usten duelarik. Zutabearen dagoen ikatzaren eraginkortasuna prozesua ematen den tenperatura eta sustantzien izaeraren arabera da. Ura modu jarraituan elikatzen da zutabera, filtroan sustantzien pilaketa sortuz. Ondorioz, ikatza ordezkatzeko beharrezkoa izaten da aldizka eta jada azaldutako berreskurapena gauzatzeko. Berreskurapen prozesu hauetan ikatz kantitatearen %5-10-a gutxitu egiten da.

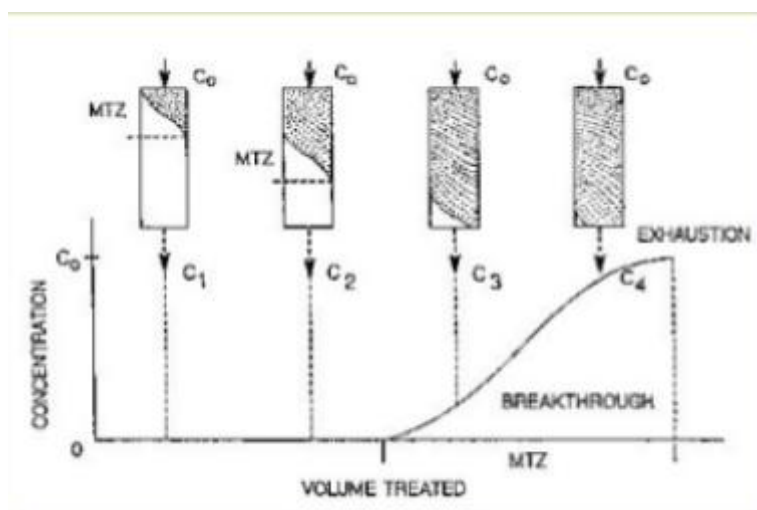
Era berean, esan bezala, prozesuaren eraginkortasuna solutuak uretan duen kontzentrazioaren arabera, tenperatura eta sustantziaren polaritatearen arabera izango da. Orokorrean,

sustantzia polarrak gaizki xurgatzen dira ikatz aktibatuan eta sustantzia ez- polarrak guttiz ezabatuak izan daitezke ur hauetatik.

Ikatz bakoitzak bere adsortzio isoterma du solutu jakin baterako eta uren tratamenduan. Aldi berean, honako prozesuetan apurtze kurbak irudikatzen dira ikatzaren adsortzio prozesuaren deskribapen grafikoa egiteko eta honen asetzeari noiz ematen den behatzeko. Aipatutako prozesuaren bi irudikapen hauek aurrerago sakonago azalduko dira, bertan erabilitako aldagaiak azalduz eta eredu matematikoa azalduz. Ondorengo irudian ( 2.Irudia) ikatzaren asetze prozesua adierazten du.

Behatu dezakegenez  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  eta  $C_4$  denbora desberdinetan neurtutako kontzentrazioak adierazten dituzte,  $C_0$  urak duen ezabatu beharreko solutuaren hasierako kontzentrazioa delarik ( ohantzearen sarreran dagoen kontzentrazioa, konstantea). Irudiaren goiko zatian ohantzearen irudikapena agertzen da aipatutako denboretarako eta behean prozesua deskribatzen duen grafikoa agertzen da, tratatutako uraren aipatutako amaierako kontzentrazioak ematen dituelarik, ohantzetik jada pasatako ur bolumenaren arabera.

Ikusi daitekeenez, hasierako bolumenatarako ( hasierako uneetan), ez da irteten soluturik ohantzetik edo irteten dena arbuigarria da. Hau da, ikatzak solutu gutzia xurgatzen du. Hala ere, behatu daitekeenez  $C_2$  eta  $C_3$  artean, uretan aurkitzen den solutua ohantzetik irteten hasten da ( momentu honetan apurtze kurba hasten dela esaten da) eta denbora tarte bat pasatu ondoren ( tarte honetan kontzentrazioa handituz doa),  $C_4$  kontzentrazioaren inguruan ohantzea asetu egiten da. Hau da, ikatzak ez du xurgatzen solutu gehiago eta ohantzetik irteten den solutuaren kontzentrazioa hasierako kontzentrazioa da.



**2.irudia.** Ohantzetik irteten den solutu kontzentrazioaren eboluzioa, tratatutako ur bolumenaren arabera.

### 2.5.3. Adsortzioan erabilitako ohantzeak

Ikatz aktibatuaren bidezko adsortzioa praktikan modu jarraian edo ez jarraian eman daiteke. Modu ez jarraian ikatz aktibatua hondakin urekin nahastu egiten da eta dekantatzen usten da. Dena den, operatzeko modu nagusia jarraia izaten da, non hauek zutabeetan ematen diren eta ikatz pikortsua erabiltzen den, praktika hau ekonomikoagoa delarik.

Horrela, zutabe hauetan adsortzio, partikula handien atxikipena eta materia koloidalaren baztertze mekanismoak ematen dira eta ezabapenaren eraginkortasuna, batez ere, ikatz aktibatua eta uraren ukitze denboraren araberakoa da.

Ondorioz, ohantzeetan lau funtzio bete behar dira nagusiki. Alde batetik, filtrazio funtzioa ahal den eta gehien murriztu egin behar da. Izan ere, filtroaren buxatzea gertatu daiteke eta hau itzulezina da ez badago garbiketa sistema egokirik. Gainera, ikatza flokuluekin kontaktuan jartzen bada osagai batzuk adsorbatzen ditu eta denbora estimatua baino lehenago ase egin daiteke. Horrela, ura ohantzetik pasa baino lehenago arearen bidez egindako filtrazioa gomendatzen da.

Beste aldetik, bakterio kolonien euskarri moduan joka dezake, arazketaren alde jokatzen duelarik gertaera honek. Era berean, ikatzen propietate oso erabilia euren katalizatzaile portaera da eta, batez ere, ura eta kloro askearen oxidazio erreazioan gauzatzen dutena.

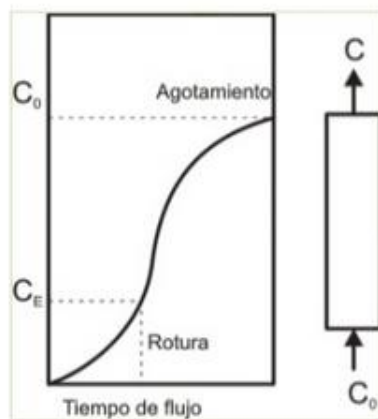
Dena den, ikatzaren funtzio nagusia prozesu hauetan adsorbatzaile moduan jokatzea da. Beraz, ura eta ikatzaren arteko kontaktua ona izatea garrantzitsua da eta ikatzaren kapazitateak jokamolde garrantzitsua badu prozesuaren ekonomian, kontrakorrontean elikatutako sistema kontsideratuko da.

### 2.5.4. Apurtze kurbak

Hondakin urak ikatz aktibatua duen zutabe batera elikatzen direnean, kutsatzaileak gradualki banatzen dira eta urak modu progresiboan purifikatzen dira. Ez dago banaketa netorik tratatutako eta elikatutako uraren artean. Trantsizio zonalde bat ezartzen da, non, kutsatzailearen kontzentrazioa maximo batetik (zonaldearen amaieran), balio nulutik hurbil (zonaldearen hasieran) aldatzen dena. Zonalde hau zutabearen zati aktiboa da eta adsortzio zonaldea deritzo.

Adsortzio zonalde honen mugimendu progresiboa apurketa kurben bidez behatu daiteke. Aurretik esan bezala, kurba hauetako ordenatu ardatzean tratatzen den uretan kutsatzaileak duen kontzentrazioa jartzen da zutabetik ateratzean eta abzisa ardatzean uraren tratamendu denbora. Hala ere, abzisa ardatzean ohikoa izaten da trataturiko ur bolumena jartzea aldagai bezala.

Orokorrean, adsortzio zutabe baten operazioa ez da luzatzen ekipo beraren asetzea gertatu arte. Irteerako uraren kontzentrazio jakin batean operazioa geratu daiteke eta kontzentrazio honi apurketako kontzentrazioa deritzo. Hurrengo irudian behatu dezakegun apurtze kurban (3. Irudia) aipatutako apurketako kontzentrazioa ( $C_E$ ) behatu daiteke.



**3. Irudia.** Apurtze kurba baten irudia, non, abzisa ardatzean uraren irteerako denborak ageri diren eta ordenatu ardatzean uraren irteerako kontzentrazioak, dagokien denborarako ( La Chira Martínez, 2010)

Orokorrean, ikatz aktibatua erabiltzen den zutabetan ez dira orekako baldintzarik ezartzen ezta egoera egonkorrekoak ere eta ikatz aktibatu pikortsua erabiltzen da. Dena den, adsortzio sistema egoki bat diseinatzeko aukera bakarra eskala semipilotuan emandako saiakuntzen bitartez da, eskala errealeko baldintza antzekoekin. Horrela, aipatu beharra dago gure lana laborategi mailakoa izan dela eta hurrengo atal batean azalduko dela ohantzean egindako diseinua, oinarri matematiko bat ezarriz prozesuari.

## 2.6. MIKROKUTSATZAILE ORGANIKOAK

Mota hauetako mikrokutsatzaileak eragin kaltegarria izan dezakete izaki bizidunetan edo ingurumenean, euren toxikotasun maila, iraunkortasuna edo pilaketagatik ingurumenean. Bestalde, kontzentrazio oso txikietan aurkitzen diren sustantzia naturalak edo sintetikoak izan daitezke. Batez ere, ondoren azaltzen diren jardueretatik azaltzen dira;

- Nekazaritza edo abeltzaintzatik datozen kutsatzaileak, esate baterako, plagizidak edo ongarriak.
- Hiri, herrietatik edo hondakin solidoen zabortegetatik datozen kutsatzaileak, adibidez, produktu farmazeutikoak edo higienarako produktuak.
- Sektore industrialeko jardueratik datozen kutsatzaileak, non, konposatu organiko ugari erabiltzen diren. Esate baterako, disolbatzaileak, koipe kitatzaileak, pigmentuak, garbiketarako agenteak edo kontserbatzaileak.

Horrela, esan bezala, lan honetan fenola, paraklorofenola eta tetrakloroetilenoa bezalako mikrokutsatzaile organikoen ezabapenerako saiakuntzak egin dira. Aurretik azalduetako kutsatzaile eta preparatutako ikatzen arteko elkarrekintza ezaugarrien izaeragatik aukeratu dira aurreko kutsatzaileak.

Fenolari dagokionez, sustantzia manufacturatua edo naturala izan daiteke. Batez ere, erretxina fenolikoak egiteko eta nylon-a bezalako zuntz sintetikoak manufacturatzeko erabiltzen da. Bakterioak hiltzeko produktu kimikoen eraketarako edo eztarriko minaren aurkako pilulak

egiteko. Uretan izan dezakeen iraunkortasunari buruz, aste bat edo gehiago geratu daiteke disolbatuta.

Gizakien osasunean izan dezakeen eraginen artean, fenola kontzentrazio baxuetan airean agertzen bada, arnas- bideetan narritadura sortu dezake, buruko minarekin batera eta begiko lama. Orokorrean, fenola kontzentrazio handietan aurkitzen bada sortu dezake ondorio kaltegarriak, kasu batzuetan heriotza suposatuz.

Klorofenolei dagokionez, hauek fenolari kloro elementua gehitzean sortzen dira. 2-klorofenola ezik sustantzia solidoak dira eta usain gogorra dute. Batez ere, pestizidak eta, batez ere paraklorofenola, antiseptikoak egiteko erabili da. Era berean, kloroen bidezko uren tratamenduan konposatu hauek eratu daitezke kantitate txikietan. Izan ere, ingurumenara isuritako klorofenolen zati handiena uretara doa, kontzentrazio txikietan egon arren.

Gizakien osasunean izan dezakeen eraginei dagokionez, animaliekin egindako frogetan klorofenolek lesio kaltegarriak eragin dituzte azalean eta begietan. Azalean erreketak, gorritzeak eta zarakarren eraketak eman ziren eta animali batzuen begiko kornean eragin kaltegarriak izan zituen. Beste animali batzuetan, klorofenolen irenspena kontzentrazio handietan eragin kaltegarriak izan zituen gibelean eta sistema immunologikoan.

Azkenik, tetraklorofenola manufakturatutako sustantzia da zeinak erabilera zabala duen modu lehorrean egindako oihalen garbiketan eta metalen koipeen garbiketan. Beste produktu kimikoren sintesirako eta kontsumorako artikuluak egiteko erabiltzen dira.

Horrela, ingurumenara isuri egiten den tetrakloroetilenoa zati nagusi bat airera pasatzen da, izan ere, errez lurruntzen da airean. Bertan degradatu egin daiteke beste produktu kimikoetara eguzki argiaren ondorioz edo lurrera itzuli daiteke euriaren eraginez.

Gizakien osasunean izan dezakeen eraginei dagokionez, buruko mina, goragaleak, konorte galtzeak eta zorabioak sortu dezake kontzentrazio handietan. Era berean, narritadura sortu dezake azalean, esate baterako, hainbat industriako langileetan zeinak nahigabe konposatu honen kontzentrazio altuak erabili dituzte. Oraindik ez da ezagutzen kontzentrazio baxuetan tetrakloroetilenoa duen ura edatea edo airea arnastea zer ondorio ekar ditzakeen.

### **3. OINARRI MATEMATIKOA**

#### **3.1. OREKA EREDUAK ADSORTZIOAN. ISOTERMAK**

Adsortzio isoterma fase likidoko kontzentrazioa eta adsorbatzaile partikulen gaineko kontzentrazioaren oreka erlazioa da, tenperatura zehatz baterako. Horrela, lehen aipatu den bezala, hainbat eredu garatu dira isoterma esperimentalak egokitzen dituzten ekuazioak emanaz, ikatz bakoitzak bere adsortzio isoterma duenari.

Era berean, adsortzio prozesuetako isoterma esperimentalak doitzeko gehien erabiltzen diren ereduak Henry, Langmuir, Freundlich eta Brunauer, Emmet eta Teller-engatik ( B.E.T.



eredua) garatutakoak dira. Azkenengo hau D.F.T ereduarekin batera ikatzaren karakterizazioa gauzatzeko erabiliko dira.

### 3.1.1. Isotermen irudikapenerako aldagaiak

Esan bezala, isotermak irudikatzen dituzten datuak behar dira likido fasean dagoen solutu kontzentrazio bakoitzarentzako. Adsorbantzia horrek ikatz masa unitaterako adsorbatu den solutuaren masa adierazten du. Laborategian soilik likido faseko kontzentrazioak neurtzeko aukera dago soilik, beraz, adsorbantziaren balioak jakiteko kalkulu batzuk egitea beharrezkoa da, fase esperimentalaz azaltzean argituko direlarik kalkulu hauek.

Era berean, orekako solutuaren adsortzio gaitasuna ikatzean hurrengo ekuazioaren bidez determinatu zen, non, suposatzen den likidoan hasierako kontzentrazioetik desagertu dena ikatzean dagoen ( Zhou eta kol., 2013);

$$q_{i,e} = \frac{(C_{i,0} - C_{i,e}) \cdot V}{m} \quad (4)$$

, non,  $i$  azpiindizeak denbora bakoitzeko laginari egiten dion erreferentzia eta agertzen den bolumena lagin bakoitzean dagoen disoluzioaren bolumena den.

Bestalde, ikatzean adsorbatu daitekeen kontzentrazio maximoa likidoan dagoen hasierako kontzentrazioa da;

$$q_m = \frac{C_{i,0}}{m} \quad (5)$$

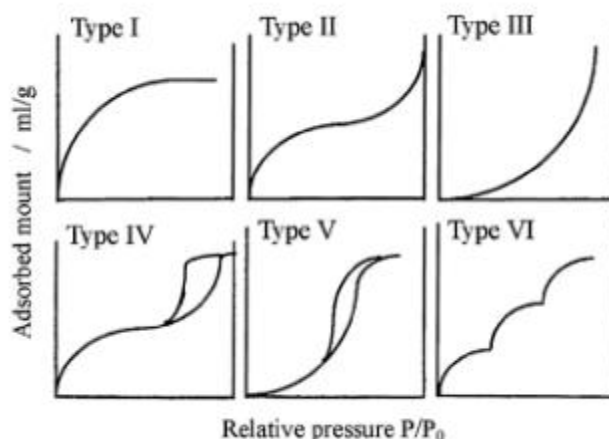
Ondorioz, (4) eta (5) ekuazioetako emaitzak jakinez adsorbatu ahal izan den solutu kantitate maximoarekiko adsorbatu den solutu kopuru errearen ehunekoa atera daiteke hurrengo ekuazioa aplikatuz;

$$\%_{adsorbatua} = \frac{q_{i,e}}{q_m} \cdot 100 \quad (6)$$

### 3.1.2. Henry- ren isoterma edo isoterma lineala

Eredu honen arabera adsortzioa solutuaren kontzentrazioarekiko proportzionala da. Eredu honek Langmuir eta B.E.T. ereduak dagokien isotermen lehen zatia linealizatzen ditu, izan ere, eredu hauetako isotermak kontzentrazio txikietan linealak izaten dira.

Hurrengo irudian ikusten den bezala (4. Irudia), non, grafikoan ordenatu ardatzean adsorbantzia irudikatuta dagoen eta abzisa ardatzean solutuaren presioa disoluzioan, IUPAC-en arabera sailkatutako sei isoterma mota desberdinak aurkitzen dira. Langmuir eta B.E.T ( I eta II motatakoak, hurrenez hurren) eruedetan argi ikusten da nola gas faseko solutuaren oso presio txikietarako isotermak izaera lineala duela.



**4. Irudia.** Adsortzioan ematen diren isoterma esperimentalak IUPAC-en arabera (Bandosz 2006).

Horrela, eredu honen arabera, isotermek honelako ekuazioa betetzen dute (Bandosz, 2006);

$$\frac{x}{m} = k_1 \cdot C_e \quad (7)$$

### 3.1.3. Freundlich- en isoterma

Isotermen datu esperimentalen tratamendurako erabiltzen diren ereduaren artean, Freundlich – en ereduaren erabiliena da hondakin uren arloan erabiltzen diren ikatzen adsortzio gaitasuna neurtzeko.

Eredu honetan ondorengo adierazpena betetzen da (Bandosz, 2006);

$$\frac{x}{m} = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Horrela, Freundlich-en isotermaren konstanteak ( $x/m$ ) eta  $C_e$  balioen erlazioa grafikoki irudikatuz determinatzen dira.

### 3.1.4. Langmuir- en isoterma

Langmuir-en ereduak zenbait hipotesi hartzen ditu kontuan;

- Ikatzen aktibatuaren gainazala homogeneoa da eta adsortzioa puntu finko batzuetan soilik gerta daiteke. Puntu hauetako bakoitzak aktibazio energia bera dute eta molekula bakarra adsorbatu daiteke.
- Adsortzio prozesua itzulgarria da. Temperatura eta presio konstantean, ikatza eta adsorbatutako geruzaren oreka dinamikoa egongo da.

Izan ere, molekulen adsortzio abiadura desorbatzen diren molekulen berdina denean oreka lortuko da. Ondorioz, adsortzioa ematen den abiadura prozesua bera sortzen duen indarrarekiko proportzionala da. Adsorbatutako solutu kantitatearen eta adsorbatu ahal den

solutuaren arteko diferentziari egiten dio erreferentzia indar honek, kontzentrazio jakin baterako. Orekako kontzentrazioa iriztean, indar honen balioa anulatu egiten da.

Horrela, Langmuir-en eredua definitzeko honako ekuazioa erabiltzen da (Bandosz, 2006);

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L \cdot C_e} \quad (9)$$

Ondorioz, (9) ekuazioa linealizatzen bada, aipatutako Langmuir- en eredua konstanteak atera daitezke  $C_e/x/m$  eta  $C_e$  datuetatik abiatuz. Bestalde, adsortzio maximoak ( $q_m$ ) ikatzak solutu hori adsorbatzeko duen kapazitate maximoa adierazten du.

Beraz, laburbilduz, eredu honek kontuan hartzen ditu ikatzaren gainazalean dauden gune aktiboak eta bertan adsortzio selektiboa da, hots, gune aktibatu hauetan adsortzioa preferentziaz ematen da.

### 3.1.5. B.E.T. isotermak

Brunauer, Emmet eta Teller-ek 1940. Urtean adsortzio fisikoaz isoterma batzuk analizatu zituzten. Isoterma hauek gasen adsortzioaren bidez egiten dira eta ikatzaren gainazala gasen molekulaz osatutako geruza bakun osoaz estaltzeko behar den solutuaren kantitatea ezagutzeko erabiltzen da.

B.E.T. ereduari Langmuir-en teoria zabaldu egiten da suposizio batzuk eginez, adsortzioa kapa anitzetan eta kondentsazio kapilarra barneratuz. Honako hipotesiak egiten dira eredu hau aplikatzeko orduan;

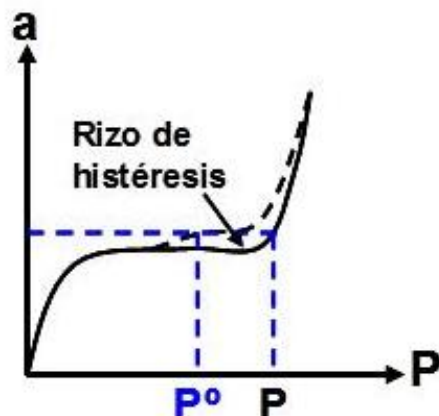
- Lehenengo kapa gauzatzen den adsortzioa energia homogeneoa den lekuetan ematen da.
- Lehenengo kapa adsorbatutako molekulak bigarren kapa adsorbatzeko lekuak bilakatzen dira. Bapore presioaren arabera kasu sinpleenean loditasun infinitu batera hurbiltzen dena, likidoaren saturazioko bapore presiora ( $P^0$ ) hurbiltzen da.
- Kondentsazioaren eta lurrunketaren ezaugarriak antzekoak dira kapa guztietan, lehenengoan ezik. Bigarren kapako adsortzio beroa eta besteena gasaren kondentsazio beroaren berdina dira.

Horrela, ondoko ekuazioa erabiltzen da B.E.T. ereduaren linealizazioa gauzatzeko (Bandosz, 2006) ;

$$\frac{\frac{P}{P^0}}{a \cdot (1 - \frac{P}{P^0})} = \frac{1}{a_m \cdot K} + \frac{K-1}{a_m \cdot K} \cdot \frac{P}{P^0} \quad (10)$$

Hurrengo irudian B.E.T. isotermen adibide bat behatu daiteke (5. Irudia), non, y ardatzean adsorbantzia irudikatuta dagoen eta x ardatzean solutuaren presioa gas fasean. Horrela, irudi honetan histeresi fenomeno behatu daiteke. Fenomeno hau adsortzio isotermak desortzio isotermarekin bat egiten ez duenean ematen da. Gertaera hau gainazalean dauden mesoporoen

presentziaren ondorioz ematen da, adsorbatuan kapilaritate bidezko kondentsazioa sortuz. Horren ondorioz, desortzioa likido puruaren presiopean gertatzen da.



**5. Irudia.** B.E.T. isoterma baten irudia, non, histeresiaren fenomenoaren ematen den.

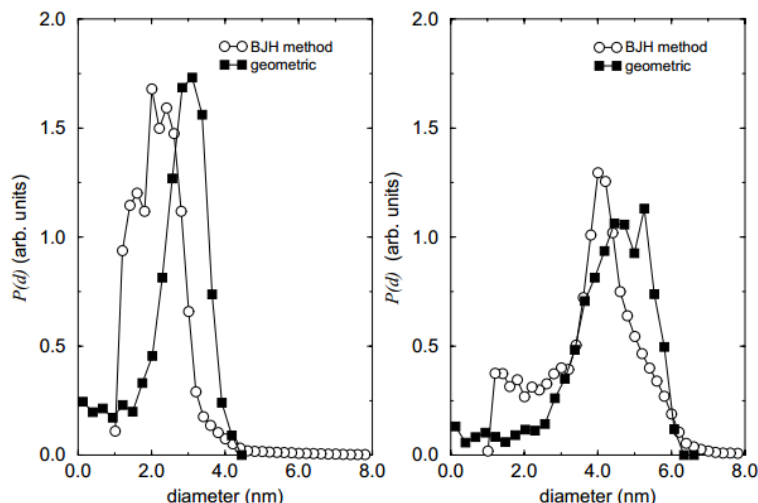
### 3.1.6. B.J.H. isotermak (“Barret-Joyner-Halenda”)

Poroen tamainaren distribuzio jakiteko beste metodo bat B.J.H. metodoa da, non, batez ere, mesoporoak eta tamaina txikiko makroporoak identifikatzen diren. Teoriak poroetan gertatzen den kapilaritate bidezko kondentsazioa hartzen du kontuan, Kelvin-en ekuazioa erabiliz. Ekuazio honetan likido-lurrun menisko hemisferikoa eta ondo definitutako gainazal tentsioa suposatzen dira eta emaitzak likidoaren meniskoaren kurbaturaren erradioa ( $R_k$ ), hauek itxura zilindrikoa dutela suposatuz. Era berean, ekuazioa “likidoaren nukleoan” aplikatzen da. Ondoren agertzen da poroen analisia gauzatzeko erabiltzen den Kelvin-en ekuazioa (Hubbard, 2002) ;

$$\ln \frac{P}{P_0} = - \frac{2\gamma \cdot V_M}{R_k \cdot RT} \cos \theta \quad (11)$$

Kasu honetan, aurreko ekuazioko  $P$  (presioa) oreka presioari egiten dio erreferentzia eta  $P_0$  gainazalean dagoen lurrunaren presioari egiten dio erreferentzia. Horrela, ekuazio honek gasaren kapilaritate bidezko kondentsazioa gertatzen den presioa, poroen tamainarekin erlazionatzen du. Era berean, poroen tamaina txikitu ahala eta zenbait molekulen diametroa baino txikiagoko tamaina izan ahala, ekuazio hau ez da egokia izaten aplikatzeko orduan.

Hurrengo irudian ( 6. Irudia), kontrolatutako kristal porotsu baten (CPG) B.J.H. analisiaren irudia ageri da, non, y ardatzean gasaren kondentsazio presioa eta x ardatzean poroen tamaina agertzen den. Ezkerreko grafikoa poro tamaina txikientzat irudikatuta dago eta eskumako grafikoa poro tamaina handiagoentzako. Irudian adierazten den bezala irudikapena B.J.H. metodoaz eta geometrikoki definitutako isotermekin eginda dago. Behatu daitekeenez, lehenengo teknikak diametro txikiagoko poroak identifikatu dezake eta buztan handia erakusten du poro diametro handiagoetan.



**6. Irudia.** CPG baten B.J.H eta teknika geometrikoaren bidezko errepresentazio grafikoa, non, poro diametro (x ardatza) bakoitzerako gasaren kondentsazioaren presioa (y ardatza) agertzen den, horrela, poroen tamaina desberdinen distribuzio ondorioztatuz kristalean.

Beraz, laburki esanda, isotermak modu esperimentalean lortzean hauek modu teorikoan egokitzen dituzten hainbat eredu daude eta ikatzen adsortzio ahalmena jakiteko hainbat parametro esanguratsu ondorioztatu dezaketen hainbat teknika aurkitzen dira.

Ondorioz, orekako datuen errepresentazioaren oinarri matematikoa jakinez, prozesu esperimentala simulatzen duen eredu matematikoa azalduko da, hots, solutuen ezabapenerako erabili den ohantze- sistemaren eredu matematikoa.

### 3.2. PROZESU ESPERIMENTALAREN EREDU MATEMATIKOA. MATERIA BALANTZEA OHANTZE FINKOAN

Aurreko ataletan aipatu den bezala, likido fasean dagoen solutuaren zati bat ikatzera pasatzen da adsortzio prozesuaren bidez. Beraz, denbora bakoitzean ikatzean dagoen solutuaren kontzentrazioa, likido fasean dagoen kontzentrazioa jakinik, horrela kalkulatu daiteke (Zhou eta kol., 2013);

$$q_s = \frac{C_f(V_f - \varepsilon_b V_b) - \sum C_i(t)V_i(t)}{m} \quad (12)$$

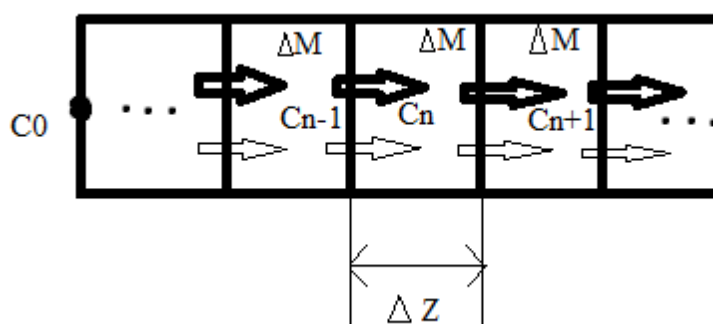
, non, i azpiindizeak momentu bakoitzeko laginen balioei egiten dien erreferentzia eta kasu honetan agertzen den ikatzaren masa ohantzean aurkitzen dena den.

#### 3.2.1. Ohantze finkoaren diseinua. Eredu matematikoa

Lehenik, hurrengo irudian (7. Irudia) behatu daiteke prozesu esperimentalean erabilitako ohantze finkoaren eskema bat, non, sistema n elementuetan banatu den eta sistemaren n.elementuan materia balantzea egin den. Bertan, elementu horretako solutuaren kontzentrazioa likido fasean adierazten da, aurreko eta atzeko elementuetako

kontzentrazioekin batera. Elementu bakoitzaren lodiera ( $\Delta Z$ ) eta bakoitzean dagoen ikatz kopurua ( $\Delta M$ ) ageri dira.

Era berean, disoluzioaren emariaren norabidea ageri da marra lodiekin adierazita eta elikatutako disoluzio honek  $C_0$  solutuaren kontzentrazioa duelarik ohantzearen hasieran. Bestalde, gezi finek materiaren difusioaren norabidea adierazten dute, difusioa sistema honetan eskerretik eskumara joango litzakeelarik. Izan ere, disoluzioa ohantzea zeharkatu ahala solutuaren kontzentrazio baxuagoa izango du, ikatzak adsorbatuz joango delako aipatutako konposatua eta aipatutako fenomenoaren norabide horretan emanez gradiente indarrak direla eta. Bestalde, hiru puntuek ohantzearen hasieratik  $C_{n-1}$  kontzentrazio arteko tartea eta  $C_{n+1}$  kontzentrazioetik aurrerako tartea adierazten dute.



**7. Irudia.** Sistema esperimentaleko ohantzearen irudikapena, emariaren eta difusio gertaeraren norabidea adieraziz, elementuetako kontzentrazio aldaketekin batera.

Horrela,  $n$  elementuz osatutako 7. Irudiko ohantzeari materia balantzea aplikatzerako orduan, honako kontsiderazioak hartu dira kontuan (Zhou eta kol., 2013);

- Likidoaren dentsitate eta biskositatea konstante mantentzen dira ohantzea igarotzen duen denbora guztian.
- Operazio isotermikoa suposatuko da, hots, temperatura konstante mantentzen da ohantze guztian.
- Likidoa emari konstanteaz mugitzen da ohantze guztian zehar.
- Dispersio erradiala arbuiagarria da, hots, ezaugarriak konstante mantenduko dira elementu berean erradioa aldatu arren.
- Materia transferentziaren abiadura adsortzio prozesua indar bultzatzaile linealaren abiaduraren ekuazioaren bidez deskribatzen da.

Aurreko puntuak kontuan hartuta,  $n$ . elementuan materia balantzea egin da, ur fasean eta ikatzean.

Ur fasean solutuari egindako materia balantzea egin baino lehenago, balantzean aurkitzen diren gaiak aurkeztuko dira, hots,  $n$ .elementuko akumulazio gaia ( $A$ ), elementura sartzen den

solutuaren kontzentrazioaren gaia (S), solidorako materia transferentziako gaia (MT<sub>s</sub>) eta difusio bidezko materia transferentzia (D<sub>F</sub>) kontuan hartzen duen gaia;

$$\Delta Z \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot \varepsilon_b \cdot \frac{dC_n}{dt} = A \quad (13)$$

$$\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot v \cdot \varepsilon_b \cdot (C_{n-1} - C_n) = S \quad (14)$$

$$K_m \cdot a \cdot (C_n - C_{ne}) \cdot \Delta M = MT_s \quad (15)$$

$$D_L \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot \varepsilon_b \cdot \left(\frac{C_{n+1} - C_n}{\Delta Z} - \frac{C_n - C_{n-1}}{\Delta Z}\right) = D_F \quad (16)$$

,non, (15) ekuazioko a koefizientea (solidoaren azalera espezifikoa), ΔM eta v ondorengo ekuazioen bidez kalkulatu daitezkeen;

$$a = \frac{4\pi r_p^2}{\left(\frac{4}{3}\pi r_p^3\right) \cdot e} \quad (17)$$

$$\Delta M = \left(\left(\pi \frac{D^2}{4}\right) \cdot \Delta Z\right) \cdot (1 - \varepsilon_b) \cdot e \quad (18)$$

$$v = \frac{Q}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot \varepsilon_b} \quad (19)$$

Beraz, (13), (14), (15) eta (16) gaiak batuz, n elementuan solutuaren balantzea likido fasean ondorengoa izango litzateke;

$$A = S - MT_s + D \quad (20)$$

Aurreko gaiak (ΔZ · ε<sub>b</sub>) elementuaz eta  $\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)$  elementuaz zatituz, ondorengo ekuazioak geldituko lirateke;

$$\frac{dC_n}{dt} = A \quad (21)$$

$$v \cdot \frac{(C_{n-1} - C_n)}{\Delta Z} = S \quad (22)$$

$$K_m \cdot \frac{3}{r_p} \cdot (C_n - C_{ne}) \cdot \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} = MT_s \quad (23)$$

$$D_L \cdot \left(\frac{C_{n+1} - 2C_n + C_{n-1}}{\Delta Z^2}\right) = D_F \quad (24)$$

Bestalde, materia balantzean (20) elementuen lodieraren (ΔZ) limitea hutsera eramaten bada, hots,  $\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \Delta Z$ , ondorengo ekuazio diferentziala lortuko litzateke materia balantzerako;

$$\frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{dC}{dz} - K_m \cdot \frac{3}{r_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot (C_n - C_{ne}) + D_L \cdot \frac{d^2C}{dz^2} \quad (25)$$

Bestalde, solido fasean (ikatzean) solutuarentzako materia balantzea egin behar da. Kasu honetan akumulazio gaia (A) eta solidorako materia transferentziaren gaia ( $MT_s$ ) izango ditugu, ondorengo ekuazioak lortuko ditugarrik;

$$\Delta Z \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot (1 - \varepsilon_b) \cdot e \cdot \frac{dC_{ns}}{dt} = A \quad (26)$$

$$K_m \cdot a \cdot (C_n - C_{ne}) \cdot \Delta M = MT_s \quad (27)$$

Beraz, (26) eta (27) gaiak batuz, n elementuan solutuaren balantzea solido fasean ondorengo izango litzateke;

$$A = MT_s \quad (28)$$

Bestalde, (28) ekuazioko gaiak sinplifikatuz, honako ekuazio orokorra geldituko litzateke;

$$\frac{dC_s}{dt} = \frac{3}{r_p} \cdot e \cdot K_m \cdot (C_n - C_{ne}) \quad (29)$$

Ondorioz, (29) eta (25) ekuazioak elkartzen badira, honako balantzea lortuko da solutuarentzako likido fasean (Zhou eta kol., 2013);

$$\frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{dC}{dz} - \frac{1-\varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot e \cdot \frac{dC_s}{dt} + D_L \cdot \frac{d^2C}{dz^2} \quad (30)$$

,non,  $C_s$  solutuak elementu horretako ikatzean (solido fasean) duen kontzentrazioa den.

Horrela, datu esperimentalak teorikoki simulatzeko aurreko ekuazioak erabili dira, non, programaziorako erabiltzen den software baten bidez egingo den aurreko balioen lorpena eta hurrengo atalean azalduko den emandako pausoak.

### 3.2.2. Eredu matematikoaren simulaziorako pausoak

Lehenik aipatu beharra dago filme solido linealaren indar bultzatzailearen (LDF) eredia erabili dela sistema hau simulatzeko orduan, aurreko atalean aipatutako suposizioak egin direlarik.

Eredu matematiko hau ebazteko Scilab-5.4.1 izeneko software komertziala erabili da eta barne hartzen ditu aipatutako ekuazio diferentzialen ebazpena eta aipatutako ekuazioen emaitzen optimizazioa. Izan ere, eredu honetan esperimentalki lortutako datuetara doitzen diren datu teorikoak lortu nahi dira, horretarako aipatutako difusio koefiziente ( $D_L$ ) eta materia transferentzia koefiziente ( $K_m$ ) egokienak bilatuz.

Beraz, programa honen lehen zatian prozesuko datu esperimentalak eta orekako datu esperimentalak sartzen dira, beste oinarrizko datuekin batera, hala nola, ikatzaren dentsitatea, ohanzearen diametroa eta porotasuna ( emaitzetan zehaztuko da taula baten bitartez sartu beharreko oinarrizko datu guztiak, kasu honetan sartu diren balio numerikoekin batera).



Era berean, beharrezkoa da aipatutako koefizienteen eta emaitza teorikoen hasierako datuak sartzea, emaitzetan azalduko direlarik kasu honetan suposatutako hasierako datuak.

Ondorioz, esan bezala, ekuazio diferentzialak ebazteko orduan sistema hainbat elementuetan banatu da eta elementu bakoitzean ekuazio diferentzial partzialak ebatzi egin dira, (29) ekuazioa eta (30) ekuazioa, zeinak solido eta likido faseko solutuaren kontzentrazioaren emaitzak lortzen dituzten. Horrela, aurreko atalean agertutako (30) ekuazioaren diskretizazioa egin da eta (29) ekuazioa honela gelditu da elementu bakoitzerako;

$$\frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{C_{i-1} - C_i}{\Delta z} - \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot e \cdot \frac{dC_s}{dt} + D_L \cdot \frac{C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1}}{\Delta z^2} \quad (31)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = \frac{3}{r_p} \cdot e \cdot K_m \cdot (C_i - C_{ie}) \quad (32)$$

,non, i elementuen ordenaren zenbakiari erreferentzia egiten dion.

Bestalde, ohantzeko lehen elementuan eta azken elementuan, hots,  $z=0$  eta  $z=L$  direnean honako muga baldintzak betetzen dira (Zhou, 2013);

$$z = 0, D_L \cdot \frac{DC_i}{dz} \Big|_{z=0} = v \cdot (C_{i,z=0} - C_f) \quad (33)$$

$$z = L, \frac{DC_i}{dz} \Big|_{z=L} = 0 \quad (34)$$

Ondorioz, aipatutako elementuetan (31) ekuazioan aldaketa batzuk egin behar dira, (33) eta (34) muga baldintzen arabera. Aipatutako muga baldintzak aplikatuta honako ekuazio diskretizatuak geldituko lirakeke, sistema n elementutan banatu dela kontuan hartuta;

$$z = 0, \frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{C_f - C_1}{\frac{\Delta z}{2}} - \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot e \cdot \frac{dC_s}{dt} + D_L \cdot \frac{C_2 - 2C_f + C_1}{\left(\frac{\Delta z}{2}\right)^2} \quad (35)$$

$$z = L, \frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{C_n - C_{n-1}}{\frac{\Delta z}{2}} - \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot e \cdot \frac{dC_s}{dt} + D_L \cdot \frac{-2C_n + C_{n-1}}{\left(\frac{\Delta z}{2}\right)^2} \quad (36)$$

Aurreko ekuazioak programan sartuta helburu funtzioa definitu zen, hots, (31), (32), (35) eta (36) ekuazio diferentzial partzialak ebatziko zituen komandoa. Ondoren, helburu funtzio hau optimizazio funtzio batera elikatu zen, zeinak  $K_m$  eta  $D_L$  balio egokienak aurkitu behar dituen helburu funtzioan sartuta dauden ekuazio diferentzial partzialak ebazteko. Horrela, optimizazioa gauzatzeko orduan honako helburu funtzioa (HF) definitu zen, honako hau minimizatuz ( Zhou, 2013);

$$HF = \sum_{i=0}^n (C_t(z=L) - C_{t,esp})^2 \quad (37)$$

, non,  $C_{i,esp}$  denbora bakoitzerako kontzentrazioaren balio esperimental den.

Bestalde, bi komandoetan hasierako balio batzuk suposatu izan behar dira ( emaitzetan azalduko dira suposatuko balioak). Behin ekuazioak ebatzita grafiko baten bidez irudikatuko

dira lortutako emaitzak, non, solutuaren kontzentrazioak likidoan duen eboluzioa azaltzen duen denborarekin datu experimental eta teorikoei dagokionez.

#### **4. PROZEDURA ESPERIMENTALA**

Lan honetan laborategian egindako lana lau zati nagusietan banatu daiteke;

- Adsortzio prozesurako kutsatzaileen aukeraketa
- EDAR lokatzetatik eta hezurretatik abiatutako ikatz aktibatuaren prestaketa. Horretarako solidoak aurrerago aipatuko diren agente kimiko batzuekin tratatuko dira eta ondoren tratamendu termiko bat jasango dute gasifikazio bidez.
- Isotermen lorpena prestatutako ikatz aktibatuaren bidez; orekako datuen lorpena.
- Ohantze finkoan emandako kutsatzaileen adsortzioa; apurtze kurben lorpena

##### **4.1. KUTSATZAILEEN AUKERAKETA**

Lehenik prozesuan erabiliko ziren kutsatzaileen aukeraketa egin zen, non, aipatutako aukeraketa ondoko baldintza eta parametroen arabera egin zen;

- Ur edangarrietan agertu daitekeen mikro-kutsatzailea organikoa izatea oinarri teorikoan azaldu diren ikatzaren ezaugarri eta eginkizunengatik.
- Disolbagarritasuna/ Polaritatea; konposatu organikoa zenbat eta disolbagaitzagoa izan uretan hobeto adsorbatuko da ikatz aktibatuan, izan ere, disolbatzailearekiko erakarpen txikiagoa izango du. Era berean, gero eta polaritate gutxiagoa izan urarekin dituen elkar-ekintza indarrak txikiagoak izango dira.
- Bentzenoa duten osagaiak interesgarriak dira, izan ere, hondakin uretan kontzentrazio oso baxuetan agertzen den osagaia da, kontzentrazio oso txikituan aurkitzen delarik.
- Irakite puntua; irakite puntu altuko konposatuak nahiago dira, izan ere, arazoak egon daitezke konposatu hegazkorrekin.

Aurreko kontzeptuak kontuan izanez, zenbait kontsulta bibliografiko egin ziren prozesuan erabiliko ziren kutsatzaileen aukeraketarako.

##### **4.2. IKATZ AKTIBATUAREN LORPENA EDAR LOKATZETATIK ETA ANIMALI HEZURRETATIK ABIATUZ**

Ikatx aktibatuen prestakuntzarako hainbat etapako prozesu luzea ematen da. Era berean, ikatz aktibatuen duten jatorriaren arabera prozesua ez da guztiz berdina izango hauek aktibatzeke orduan. Ondorengo etapetan prozesu osoa azalduko da, ikatz mota bakoitzean aplikatutako prozedurak agerian jarri.

###### 1.Etapa

Lehenik jada laborategian zeuden EDAR lokatzak urarekin garbitzen jarri ziren erlenmeyer baten barne eta agitadore batean bidez, 3 bat egun utzi ziren. Ondoren, huts bidezko iragazketa baten bitartez lokatzak uretatik banatu ziren. Aipatu beharra dago hutsezko sistema

horren barne Buchner inbutu bat, iragaz paper bat, tutu bat, erlenmeyer ontzi bat eta ponpa bat erabili zirela prozesua emateko.

## 2. Etapa

Lokatzean gelditzen den hezetasuna ezabatzeko, solidoa labera sartu zen aurreko prozesuan gelditu zen iragaz paperean, hogeita lau orduz utziz solidoa bertan 100 ° C- tara gutxi gorabehera. Prozesu honen ondoren lokatz lehorra lortu genuen.

## 3. Etapa

Aurreko pausoen lortutako lokatz lehorra birrintzen da mortero baten bidez, horrela tamaina desberdinetako solidoak lortuz. Prozesu honetan ez da gehiegi birrintu behar solidoa, izan ere, lortutako ikatzen diametroa txikiegia bada, ez da egokia izango gure prozesu esperimentalean aplikatzeko.

Ondoren solidoa tamizatu egin zen, eta lanerako interesgarriak ziren, horrela partikulak tamaina desberdinetan sailkatuz. Prozesua bukatu ondoren lanerako interesekoak ziren partikula tamainak aukeratu ziren eta tamaina bakoitzerako lortutako solidoak balantzan pisatu ziren. Emaitzetan adieraziko dira lortutako partikulen tamainak eta bakoitzerako pisatutako frakzioa.

## 4. Etapa

Prozedura esperimentalaren zati hau hasi aurretik laborategian jada zeuden birrindutako eta tamaina jakineko animalien hezurak (HAP) hartu ziren.

Ondorioz, aurreko etapan aukeratutako tamainako eta pisatutako lokatzen eta aipatutako hezurren inpregnazio kimikoa egin da, hots, solido hauen aktibazio kimikoa egin da ikatzen prestakuntzarako.

Horretarako,  $K_2CO_3$  konposatuaren 2M-ko disoluzioa tamaina eta mota bakoitzeko solidoarekin jarri zen kontaktuan 1mmol  $K_2CO_3/g$  solido erlazioan bihal batzuen barne eta hauen irabiaketa leuna egin zelarik hogeita lau orduz. Beraz, bihalen barnean jarri beharreko disoluzio kantitatea ditugun solidoen masaren arabera da, 40 ml disoluzio jarriko genuelarik hauekin batera. Hurrengo ekuazioa erabili zen bihal bakoitzean jarri behar zen jatorrizko disoluzioaren kantitate jakiteko;

$$C_j V_j = C_{AK} V_{AK} \quad (38)$$

Aipatu beharra dago emaitzetan jarriko dela solido bakoitzarentzat jarri zen disoluzioaren bolumena zein zen, bertan jarriko dira eta solido desberdinetan pisatutako kantitateak.

Denbora hori pasa ondoren mota eta tamaina bakoitzeko solidoa hutsean iragazi ziren eta labean utzi lehortzen hogeita lau orduz 100°C inguruko tenperaturan. Ondoren, aipatutako solido desberdinak balantzan pisatu ziren.

## 5. Etapa

Aurreko solidoei aktibazio termikoa aplikatuko zaie. Horretarako solidoak gasifikazio prozesu bat jasango dute CHESA etxeko mufla batean, zeinak forma zilindrikoko kuartzozko erreaktorea duen barnean eta bertan jartzen direlarik preparatutako solidoak edukiontzi desberdinetan.

Prozesuan zehar oinarri teorikoan azaldutako solidoen ezaugarri fisikoak hobetuko dira, hots, gainazal espezifiko eta orokorrean propietate fisikoak hobera egingo dute. Horrela, prozesuan honelako pausoak eman dira;

- Muflara edukiontzi zeramikoak sartzen dira bata bestearen atzetik, hauek euren barne solidoak dituztela eta edukiontzi bakoitzean tamaina jakineko solidoak doazelarik. Mufla ondo itxi egiten da airearen sarrera eragozteko, muflaren sarreran dauden goma batzuen bidez ( temperatura altuetan aire honek ikatzarekin erreakziona dezake oxidoak sortuz solidoaren azalean). Era berean, mufla hiru torlojuekin itxi egiten da erreaktorea guztiz babestuta utziz mufla kanpoko atmosferatik.
- Prozesua martxan jarri aurretik, nitrogenoa (inertea) elikatzen da muflara erreaktorean egon daitekeen airea kentzeko. Horrela, rotametro batekin erregulatu den gas emaria elikatzen da muflara 120ml/min- ko emariarekin hamabost minututan zehar.
- Ondoren prozesuan martxan jartzeko baldintzak ezartzen dira muflara egokitua dagoen programa batekin, non, erreaktorearen berotze malda, erresidentzi denbora eta barnean mantendu nahi den temperatura ezartzen diren. Solido hauen kasuan 15°C/min-ko malda eta hogeita hamar minutuko erresidentzia denbora ezarri da (Gonzalez Saez eta kol., 2007), izan ere, ezaugarri fisikoen aldaketarako mantentze tenperaturak du eragina ( J.H. Tay eta kol., 2001).
- Era berean mantentze tenperatura ezartzen da, zeina 600°C izan zen EDAR lokatz lehorren kasuan eta 550°C animala hezurren kasuan. Erreaktoreak tenperatura hori lortzean, lokatzen kasuan gasifikazioa CO<sub>2</sub> gasarekin eman behar zenez ,nitrogenoaren elikadura moztu eta aipatutako gasa elikatu zen aurrez ezarritako emarian mantendutako tenperaturaren etapa bukatu arte. Hezurretan prozesu berdina emango zen baina nitrogeno gasarekin jarraituz, hots, oxigeno gabeko solidoaren beroketa eman zen (pirolisia).
- Etapa hau bukatu ondoren, berriz nitrogeno gas inertea elikatuko zen erreaktorera gori- gori dadoen solidoa hozteko, muflaren kanpoan dagoen airearekin kontaktuan jarri baino lehen. Pauso hau emango ez bazen ikatzaren zati bat CO<sub>2</sub> moduan joango zen eta ikatzaren gainazalean oxidoak sortuko ziren, adsortzio prozesuan arazoak izanez.
- 80°C- ko tenperatura baino baxuagoan hoztuta dagoenean muflaren atea ireki eta ikatza aurkitzen den edukiontziak kanporatzen dira banaka. Era berean, erreaktorean gelditu ahal izan diren konbustio gas kondentsatuen garbiketa egiten da, izan ere, hauek eragotzi egin dezakete erreaktoreko gasen sarrera eta irtenbideak. Horrela, aurrerago egingo diren prozesuetan ez da egongo arazorik gas emarien sarrerarekin eta irteerekin. Solidoak hozten utzi eta pisatu egiten dira.

Ondorioz, hurrengo taulan (1. Taula) pauso honetan erabilitako bi solidoentzat emandako desberdintasunak laburbildu egiten dira, aurreko azalpenean jada argitu direlarik desberdintasun hauek non ematen diren.

**1. Taula.** Muflaren barnean erabilitako bi solidoentzako emandako operazio baldintza desberdinen laburpena

Solidoa	Mufla barneko mantentze temperatura (°C)	Erreaktorera elikatutako gasa
EDAR lokatz lehorrak	600	Karbono dioxidoa
Animalien hezurak	550	Nitrogeno inerte

## 6. Etapa

Prozedura esperimentalaren zati honetan lokatz lehorretatik abiatutako ikatzei azido klorhidrikoaren (HCl) bidezko garbiketa aplikatuko zaie, izan ere, oinarrizko kontzeptuetan azaldu den bezala, prozesu honek ikatzaren adsortzio ahalmena handitu dezake. Beraz, tamaina bakoitzeko 5g ikatz bakoitzeko 1M HCl-dun disoluzioaren 40 ml bota dira, beraz, tamaina bakoitzeko solidoarentzat behar zien jatorrizko disoluzioaren bolumena kalkulatu zen hiruko erregela batekin. Nahastea irabiaketa leuna aplikatuta utzi da irabiagailu horizontal batean 48 orduz zehar. Denbora hori pasata, solidoak huts bidezko iragazketaz iragazi eta labean lehortzen uzten dira 24 orduz 100°C inguruan. Solidoak labetik ateratzean pisatu egiten dira.

## 7. Etapa

Aurreko etapa eman ondoren beharrezkoa da ikatzei azidotasuna kentzea izan ere, gainazalaren izaera kimikoak azaldu den bezala eragina izan dezake adsortzio prozesuetan. Beraz, zutabeetan kokatu eta modu jarraian ur destilatua ponpatzen zaie depositu handi batetik ponpa baten bitartez. Horrela, zutabetik ateratzen den urearen pH-a neurtzen joan behar da, aipatutako ikatzek izaera basikoagoa izan arte. Lan honen kasuan 3-4 egun elikatu zen ur destilatua sistemara, 6 orduz zehar aldera egun bakoitzean.

Ondoren, atal honekin amaitzeko taula bat (2. Taula) aurkezten da, non, prozesuan sortutako ikatzak agertzen diren eta hauen prestakuntzan eman diren jarduera multzoa biltzen dituelarik, euren jatorriarekin batera.

**2. Taula.** Ikatz desberdinen prestakuntzarako eman diren jardueren multzoa, hasierako eta amaierako egoerarekin batera.

Jatorrizko materiala	Inpregnazio kimikoa (Konposatua)	Aktibazio fisikoa (konposatua)	Garbiketa kimikoa (konposatua)	Amaierako ikatza
EDAR lokatzak	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2M	CO <sub>2</sub>	HCl	Lokatz lehorretik sortutako ikatza
Animali hezurak	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2M	N <sub>2</sub> (inertea)	Ez	Animali hezurretatik lortutako ikatza (Bone Char)

Bestalde, esan beharra dago emaitzetan emango direla datuak modu zehatzean, hots, ikatz desberdinen tamainak eta aplikatutako prozesuen ondorioz emandako masa galerak ( $m_g$ ). Aipatutako masa galerak kalkulatzeko ondorengo ekuazioa erabili da;

$$m_g = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \cdot 100 \quad (39)$$

### 4.3. IKATZEN ADSORTZIO PROZESUKO OREKA DATUEN LORPENA. ISOTERMAK

Lanaren atal honetan aurreko atalean aipatutako prestatutako ikatzen adsortzio ahalmena zein den behatu nahi da. Horrela, oinarrizko kontzeptuetan azaldutako hiru kutsatzaileek ur fasean ikatz hauetan duten adsortzio maila behatu nahi da. Horretarako, ikatzak eta kutsatzaileak kontaktuan jarri dira, orekara heldu behar delarik sistema. Fenol eta paraklorofenolen neurketak espektrofotometriaz egin dira eta tetraklorofenolaren neurketak gasen bidezko kromatografiaz egin dira. Horrela, lehenik erabilitako teknika hauen azalpena gauzatuko da, ondoren prozesuan egindako jarduera multzoak azalduko direlarik.

#### 4.3.1. Prozesu esperimentalean erabilitako teknikak eta ekipo esanguratsuak

##### 4.3.1.1 Espektrofotometria

Sistema kimiko batek xurgatutako erradiazio energiari deritzo, erradiazioaren uhin luzeraren arabera. Era berean, uhin luzera finko batzuetan egindako neurketei ere deritze. Uhin teoriaren arabera argi sorta bat fotoiez osaturik dago, bakoitzak energia kantitate jakina duelarik.

Horrela suposatuko da erradiazio paraleloa duen argi sorta batek b lodierako disoluzio kapa batetik igarotzen dela, C kontzentraziodun solutua duelarik aipatutako disoluzioak. Behatu daitekeenez, argi sortaren fotoien eta disoluzioaren solutuaren arteko elkarrekintzak direla eta, argiak indarra galtzen du.

Ondorioz, disoluzioaren transmitantzia (T) izeneko aldagaia, erradiazio erasotzaitetik ( $I_0$ ) aipatutako disoluzioak transmititzen duen erradiazioa (I) izango da, hurrengo ekuazioan agertzen den legez ehunekotan adierazita ( Brunatti eta Martín, s.f);

$$\% T = \frac{I}{I_0} \cdot 100 \quad (40)$$

Bestalde, absorbantzia (A) definitzeko honako ekuazioa erabiltzen da ( Brunatti eta Martín, s.f);

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I} \quad (41)$$

Beraz, lan analitiko gehienetan ( gure lanean bezala) disoluzioaren kontzentrazioa eta honek erradiazioa absorbatzeko duen gaitasuna erlazionatzen dira. Gure lanean erabilitako espektrofotometroak absorbantzia balioak eman dizkigu, kontzentrazioa eta honen arteko erlazioa lineala delarik tarte jakin batean. Aipatutako erlazioa aurrerago azalduko den kalibrazio baten bidez gauzatzen delarik.

Aipatutako bi aldagai hauek (transmitantzia eta absorbantzia) espektrofotometroa izeneko gailu batean neurtzen dira. Gailu honen interfaseen artean islapen fenomenoak ematen dira, hots, disoluzioa duen edukiontzi eta airearen artean eta edukiontzia eta disoluzioaren artean. Bestalde, argi sorta erresultantearen ahultzea funtsezkoa da eta argi sorten ahultze hau molekula handien dispersioaren ondorioz edo edukiontzian emandako absorzio prozesuengatik eman daiteke.

Aipatutako efektuak konpentsatzeko, neurketa gauzatutako disoluzioak transmititutako argi sorta, disolbatzailea soilik neurtzean transmititutako argi sortarekin konparatu egiten da. Horrela, esperimentalki lortutako absorbantzia ondorengo ekuazioaren bidez lortu daiteke, absorbantzia teorikora asko hurbiltzen delarik ( Brunatti eta Martín, s.f);

$$A = \log \frac{I_{\text{disolbatzailea}}}{I_{\text{disoluzioa}}} \quad (42)$$

Beraz, espektrofotometroak gehienetan 0 eta %100 arteko eskala lineala duen gailu batekin ekipatuta daude, non, % 0T eta %100T izeneko bi doiketa egiten diren transmitantzian. Lehenengo doiketa detektatzailea mekanikoki itxiz egiten da eta bigarrean irekita eta disoluzioa argiaren bidean dagoelarik. Era berean, gaur egungo espektrofotometroek, lan honetan erabilitakoa bezala, eragiketa matematikoak egiten dituen eta absorbantziaren balioa zuzenean ematen duen sistema elektronikoa izaten dute.

Horrela, gure lanean erabilitako espektrofotometroa *Jasco V-630* modeloduna izan da, hau ordenagailu batera konektatu egin delarik aipatutako absorbantziaren emaitzak lortzeko *Spectra Manager* izeneko software-aren bitartez. Hurrengo irudian (8. Irudia) laborategian erabilitako aipatutako espektrofotometroaren irudia behatu daiteke.



**8. Irudia.** Jasco V-630Bio UV-Vis modeloko espektrofotometroaren irudia.

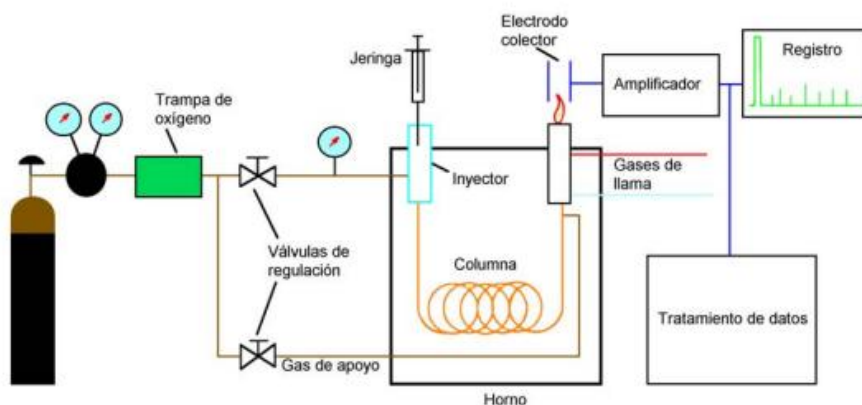
#### 4.3.1.2 Gasen bidezko kromatografia

Kromatografia, berez, bereizketa teknika bat da, baina azken aldian teknika analitiko bezala erabilia izaten ari da, izan ere, lagin konplexuen neurketarako erabilgarria dela ikusi da. Laginen analisirako erabiltzen diren teknika kromatografikoen artean, gasen bidezkoa erabiliena dela esan daiteke, izan ere, beste teknikek ez dute teknika honen besteko banaketa gaitasuna eta sentzibilitatea erakusten konposatu hegazkorrek analizatzeko orduan.

Orokorrean, gasen bidezko kromatografia 1000 g/mol-eko pisu molekularretik beherako konposatuen banaketarako mugatuta dago, 400°C-ko lan tenperatura maximora operatuz. Muga hauen barne laginaren egonkortasun termikoa izango da muga bakarra, izan ere, konposatuak gas fasean banatu egiten dira.

Prozedurari dagokionez, banatu behar den laginaren kantitate txiki bat injektatu egiten da tenperatura altuko gas inerte baten korrontearen barne. Gas honek zutabe kromatografiko bat zeharkatu egiten du, zeinak nahasketaren konposatuak banatuko dituen eta hauek zutabetik azaleratuko dira tarte diskretuetan zehar, detekzio sistema egoki batetatik pasatuz.

Horrela, hurrengo irudian ( 9. Irudia) gasen bidezko kromatografo baten eskema ageri da, non, ekipoa osatzen duten osagai nagusiak ageri direlarik.



**9. Irudia.** Gasen bidezko kromatografo baten eskema, non, ekipoen atal desberdinak agertzen diren



Horrela, aurreko irudian behatu daitekeenez, honako zatitan banatu daiteke kromatografoa;

- Gas inertearen iturria
- Injekzio sistema
- Labea eta zutabe kromatografikoa
- Detekzio sistema
- Arakatzeko sistema

Esan beharra dago, kromatografoan erabiltzen diren gas garraiatzaileak ez dutela eragiten printzipioz banaketan, izan ere, zutabeen sortzen diren adsortzio- desortzio prozesuetan eta partiziozkoetan ez dute eraginik, beraz, ez dute eragiten prozesuaren selektibitatean. Dena den, analisirako denboran eragina izango du aurrez aipatutako faktoreak eta erabilitako gas inertearen ekipoa duen injekzio sistemaren arabera izango da nagusiki.

Bestalde, gas garraiatzaileen iturri bezala purutasun altuko konprimatutako gas zilindroak erabili ohi dira, gasa presio baldintza egokietan eta modu jarraian elikatu dezakeelarik. Zutabearen zeharreko gas garraiatzailearen abiaduraren kontrola balbulen bidez egiten da, emaria konstante mantentzea bideratzen dutelarik eta zutabe buruan presioa konstante mantentzen dutelarik.

Labeari dagokionez, zutabearen tenperatura mantendu behar du aurrez finkatutako tenperaturaren eta zehaztasun handiz ( 1°C-ko errorea gehienez) eta bertan kokatutako kontrol sistemak tenperaturaren igotzea konstantea eta aurretik finkatutako abiadura izateaz arduratu behar da.

Bestalde, gure lanean erabilitako kromatografoa *Serie Agilent 6890* modelokoa da, nitrogeno gas inertearen elikatu delarik aipatutako ekipora eta, espektrofotometroak bezala, ordenagailu batera konektatuta dagoelarik software baten bitartez balioen adierazpenak lortzeko. Hurrengo atalean ekipoa honen erabilpena nola gauzatu den azalduko da eta, bertan, laginen neurketarako emandako pausoak azalduko dira.

#### **4.3.2. Prozesu esperimentalak**

Ikutzen bitartez egindako kutsatzaileen ezabapenean emandako oreka datuen, hots, isotermen lorpena gauzatzeko fenol, paraklorofenol (PCF) eta tetrakloroetilenoa (TCE) erabili dira. Aipatu beharra dago fenol eta paraklorofenolen kontzentrazioa uretan espektrofotometriaz neurtuko direla. Tetrakloroetilenoa, aldiz, kontzentrazio oso baxuak izango ditu preparatutako laginetan, beraz, gasen bidezko kromatografiaz neurtuko da, honek zuzenean kontzentrazio balioak ematen dituelarik.

##### 1. Etapa

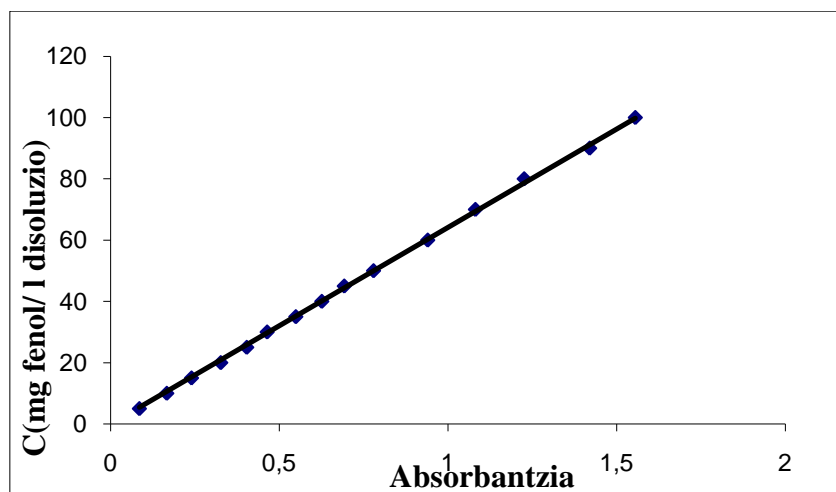
Lehenengo etapa honetan espektrofotometroak ematen dituen absorbantzia ( uhin luzera jakin batean) baloreen eta isotermak irudikatzen diren uretan solutuaren kontzentrazio datuen arteko erlazioa lortu behar da. Aipatutako absorbantzia eta kontzentrazioen balioak erlazionatzeko doiketa kurbak lortu behar dira. Horretarako, aurretik aipatutako bi solutuen

kontzentrazio oso altuko ( 2000 mg/l) disoluzio batetik abiatuz, kontzentrazio jakineko diluzioak preparatzen dira.

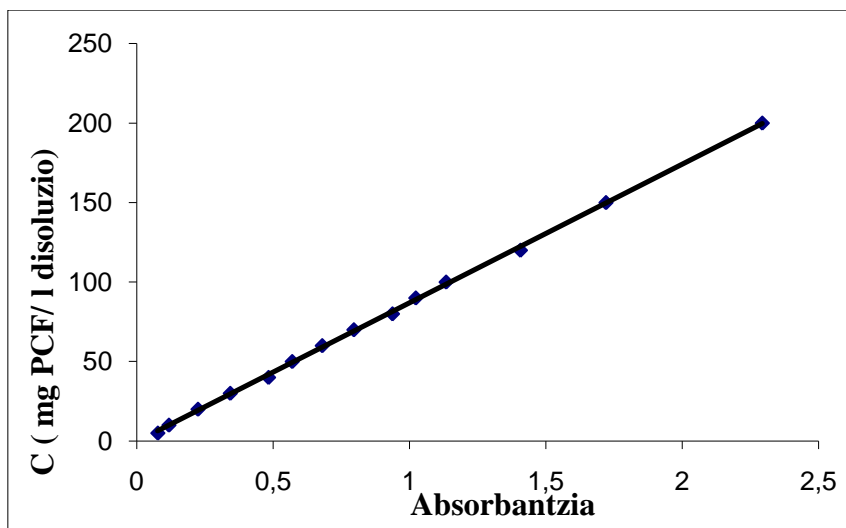
Esan beharra dago lan honen zeharrian prestatutako paraklorofenol eta tetrakloroetileno solutuetatik abiatutako disoluzioak lehenik azetonitriloan disolbatu direla, izan ere, disolbagarritasun txikia dute uretan emaitzetan adieraziko den bezala. Ondorengo diluzioak uraren bitartez egin dira.

Ondoren, kontzentrazio jakineko diluzioak neurtu egiten dira, aipatutako espektrofotometroaren bidez, zeina software informatikoari transmititu egiten dizkion absorbantziaren balioak. Aztertu nahi diren disoluzioak sartu aurretik, lehenik *blank* deritzon lagina sartu behar da, hots, neurgailuak sistemaren erreferentzia moduan erabiliko duen ur distilatua. Neurketa hauek softwarean sartzen diren uhin luzerarekin egiten dira, solutu bakoitzarentzat balio bat dagoelarik ( 270nm fenolak eta 280nm paraklorofenolak). Balio hauek jakiteko *Spectra Manager* programak *Spectra measurement* izeneko aplikazioa dauka, non aztertu behar den solutuarentzako uhin luzera lortzen den. Horrela, prestatutako disoluzio horietarako kontzentrazio balore ezagunen ( y ardatza) eta Neurketa sistemak emandako absorbantzia baloreen ( x ardatza) arteko erlazioa ezartzen da grafiko baten bidez.

Lan honen kasuan 5 mg/l eta 200mg/l diluzioak preparatu dira paraklorofenolarentzako eta fenolaren kasuan, jada programa informatikoan zegoen kalibratutako kurba erabili zen. Bi grafikoetan aurkitutako balio errealeen tartea egokia izan da, izan ere, ez dira bertan agertutako baino absorbantzia balio altuagoak lortu eta grafikoak linealak dira irudikatutako balioentzako. Hurrengo irudietan fenol (10. Irudia) eta paraklorofenolarentzako (11. Irudia) lortutako doiketa kurbak agertzen dira aipatutako aldagaiekin eta lerro zuzenak lortzen direlarik. Era berean, (42) ekuazioak adierazten duen bezala absorbantziak ez du berezko unitaterik.



**10. Irudia.** Fenolaren doiketa kurba, zein lineala den lortutako absorbantzia ( x ardatza) eta fase likidoko solutuaren kontzentrazio ( y ardatza) balioen tartean.



**11. Irudia.** Paraklorofenolaren (PCF) doiketa kurba, zein lineala den lortutako absorbantzia (x ardatza) eta fase likidoko solutuaren kontzentrazio (y ardatza) balioen tartean.

Ondoren, aurreko kurbentzat lortutako zuzenen ekuazioak agertzen dira. Fenolarentzat honako ekuazioa lortu da;

$$y = 64.17x \quad (43)$$

Bestalde, paraklorofenolarentzat hurrengo adierazpena lortu da;

$$y = 87.26x - 0.35 \quad (44)$$

## 2. Etapa

Puntu honetatik aurrera, hiru solutuentzako saiakuntza tutuak prestatu ziren. Horretarako, solutu bakoitzean, ikatz mota bakoitzarentzat bi tutu prestatu ziren, 0.01g- 0.015g ikatz pisatu zirelarik tutu bakoitzean. Ondoren, ikatz berdina duten binakako tutuei (1 eta 2 tutuak daude ikatz bakoitzarentzat) solutu kontzentrazio desberdinak dituzten disoluzioak gehitzen dira (1. Etapan erabilitako metodoarekin prestatu dira). Fenola eta paraklorofenolaren kasuan 20 eta 60 ppm ko disoluzioak gehitu ziren binakako tutu hauei (lokatz txikienetan fenolaren kasuan ezik, bertan 100 ppm gehitu ziren). Paraklorofenolean, aldiz, 1 eta 5ppm-ko disoluzioak gehitu ziren binakako tutuei (disolbagarritasun baxuagatik).

Laginak prestatuta daudenean, berrogeita zortzi orduz usten dira 25 tutuentzat lekua duen irabiagailu birakari batean, gailu hau 20°C inguruko tenperatura konstantea mantentzen duen armairu baten barnean dagoelarik. Ezarritako denbora egokia kontsideratzen da disoluzio sistemen oreka lortzeko.

## 3. Etapa

Aipatutako denbora igarotzen denean, tutuak irabiagailutik hartzen dira eta espektrofotometroaren bidez (fenola eta paraklorofenolaren kasuan) eta gasen bidezko kromatografiaren bidez neurtzen dira (tetraklorofenolaren kasuan). Espektrofotometroaren

bidez egindako neurketetan absorbantzia balioak lortzen dira, tutu bakoitzeko disoluziotik 2 ml hartuz eta 1. Etapako pausoak emanez. Aurretik lortutako doiketa kurben bitartez kontzentrazio baloreetara pasatzen dira lortutako absorbantzia balioak.

Gasen kromatografiari dagokionez, tutu bakoitzari 2 ml kendu eta , ondoren, ekipoa neurketarako erabiltzen dituen hodian sartzen dira laginen bolumen oso txikiak. Era berean, ekipora lotuta dagoen softwarean aurrez tetrakloroetilenarentzako aukeratutako metodoa hartu egiten da. Aipatutako metodoa sustantzia batentzat hau kromatografoan aurretik injektatuz eta hobeen definitutako pikua lortzen denean aukeratzen da.

Tetrakloroetilenarentzako aukeratutako metodoan hasierako tenperatura 50°Ckoa (1 minutu), malda 4°C/minutu-koa izatea 50-100°C tartean (13 minutu eta erdi inguru) eta zutabearen garbiketa ( *post run* tartea) 200°Ckoa izatea (4 minutu) ezartzen da. Aipatutako pausuak lagin bakoitzarentzat ematen dira, hots, 17 minutu eta erdi inguru behar izan dira lagin bakoitzaren neurketarako eta softwareak kontzentrazio baloreak zuzenean ematen ditu.

Horrela, lortutako balio esperimentalekin eta emaitzetan azalduko diren pausoekin ikatz bakoitzean solutu desberdinentzako isotermen puntuak lortzen dira.

#### 4. Etapa

Beharrezko neurketak egin direnean, isotermen adierazpenerako puntu gehiagoren lorpenerako eta ikatz gehiagorik ez xahutzeko, neurtutako laginen tutuetan diluzioak egiten dira, horrela kontzentrazio desberdinak lortuz. Horretarako, fenol eta paraklorofenol solutuentzat 100 mg/l disoluzioaren 2 ml gehitu dira tutu bakoitzean eta 5mg/l disoluzioaren 2ml tetrakloroetilenarentzat lehenengo pausoan, ondorengo pausoetan 10mg/l disoluziotik gehitu delarik bolumen hau.

Aipatutako disoluzioak gehiturik, 3. Pausoa errepikatzen da eta berdin aipatutako prozesuaz berrogeita zortzi ordu pasatzean, 3-4 puntu lortu arte tutu bakoitzean.

### **4.4. UREN KUTSATZAILEEN ADSORTZIO PROZESUA OHANTZE FINKOAN. APURKETA KURBEN LORPENA**

Lanaren atal honetan aurrez prestatutako ikatzak uretan aurkitzen diren kutsatzaileak adsorbatzeko duen gaitasuna neurtu nahi da. Horretarako, kutsatzailearen kontzentrazio oso txikiak dituen ura elikatuko da ikatza aurkitzen den ohantze finko batera. Bertatik irteten den ura denbora desberdinetako laginak modu automatikoan jasotzen dituen lagin kolektore batean jasoko da.

#### **4.4.1. Prozesu esperimentalean erabilitako ekipoa. Ohantze finkoaren sistema**

Lanaren zati honetan prozesuan erabili den ekipoa deskribatuko da. Lehenik, aipatu beharra dago sistema honetan aurkitzen den osagai nagusia ohantze finkoa dela, non, prestatuko ikatza aurkituko den. Ohantze honek modu jarraian operatuko du, baina, etenaldi batzuk egongo dira

programatutako lagin kolektoreak ahal dituen lagin guztiak jasotzen dituenean eta, beraz, lagin hauen neurketa gauzatu behar denean.

Era berean, ohantzerak elikatutako emariak alderantzizko norabidea izango du, hots, ura ekipoaren behealdetik elikatuko da sistemara, ura ohantzearen goi aldetik atera arte. Aipatutako erabakia, oinarri kontzeptualetan azaldu denez, ohantze finkoan sortu daitezkeen arazoengatik hartu zen. Izan ere, erabilitako ohantzearen diametro oso txikikoa da eta karga galerak sortu daitezke. Emaria gorantz elikatzearen solidoaren trinkotzea eta lehentasunezko bideen sorrera saihesten dugu.

Hurrengo irudian (12. Irudia) prozesu esperimentalean erabilitako ohantze finkoa (*Agilent* etxekoa, 1ml edukierakoa) operazioan ageri da, ikatza duelarik bere barne eta zutik mantentzeko behar duen euskarria duelarik. Behatu daitekeenez, ura sarreraren eta amaieran dauden gomazko tutu gardenen bitartez igarotzen da.



### 12. Irudia. Laborategian erabilitako ohantze finkoaren irudia

Ohantze finkora elikatzen den disoluzioa, aurrez kalibratutako edukiontzi batetik irizten da eta aipatutako ohantzearen sarrerako tutua bertara sartuz. Disoluzioa ohantze finkora ponpatzeko *Ismatec* etxeko ponpa peristaltikoa erabili da. 8 kanaleko ponpa burua du eta kanal bakoitzean 0.005-150 ml/min arteko emari balioak. 6 birakari ditu pultsazioa baxua izateko.

Ohantzearen zeharkatu eta bertatik irteten den emaria *Gilson FC203 fraction collector* etxeko lagin kolektore automatikora irizten da, zeinak laginak jasotzeko erabiltzen diren tutuak modu automatikoan betetzen dituen. Kolektore honek programa berezi bat du, non, laginak jaso nahi diren denbora tarteak definitu daitezkeen eta tutu bakoitza betetzeko egon behar den denbora. Parametro hauek prozesu esperimentalean definitzeko orduan sistemaren irteerako emaria kontuan hartu da. Kolektore honek laginak jasotzen ez dituen unetan disoluzioa edukiontzi batean biltzen da.

#### 4.4.2. Prozesu esperimentalak

Atal honetan sistema honekin erabilitako prozesu esperimentalak azalduko da, emaitzen lorpena hasi aurretik sortutako arazoekin eta laginak neurtzeko erabili den metodoarekin batera.

##### 1. Etapa

Lanean interesa duten solutuen disoluzioekin lan egin aurretik ura elikatuz operatu zen, sistemaren egokitasuna behatzeko eta egon zitezkeen arazoak konpontzeko. Era berean, sistema hobetzeko egin zitezkeen aldaketa posibleak gauzatu ziren eta aurretik aipatutako edukiontzia kalibraketa egin zen. Hurrengo taulan ( 3. Taula) etapa honetan sortutako arazoak eta hauei eman zitzaizkien konponbideak behatu daitezke. Aipatutako frogak laborategian aurkitzen ziren ikatz komertzialekin egin ziren.

**3. Taulan.** Ohantze sistemaren operazioan suertatutako arazoak eta hauei emandako konponbideak

Arazoa	Konponbidea
Sistemara jariakinik ez elikatzea, tutuak honen elikadurarako edukiontzian duen posizioarengatik.	Elikadura tutua edukiontzia hondoan kokatu, disoluzio guztia elikatu daitekeela ziurtatzeko.
Emaria ez da ponpatzen ohantzerara.	Ponpa aldaketa.
Tutuak ohantzetik ateratzea eta ikatzaren arrastea.	Ohantze finkoaren aldaketa eta jariakinaren emaria gutxitzea.
Lehentasunezko bideen eraketa eta solidoen atxikitzea.	Emaria ohantzearen behealdetik elikatzea, goi aldetik kanporatuz.
Tamaina txikiko ikatzean arrastea.	Filtro inerte txiki batzuk jarri dira ohantzean.
Lagin kolektoreak ez ditu betetzen tutu batzuk.	Tutuen kokapen egokia ziurtatu da.
Lagin kolektorean finkatutako operazio denbora ondoren sistema martxan jarraitzea.	Ponparen iturri elektrikoa denbora neurtzaile batera konektatu da.

## 2. Etapa

Behin sistemaren funtzionamendu egokia dela ikusten denean, laborategian prestatuko ikatzak ohantzean pisatu, dagokion filtroak jarri eta sistemari konektatzen da sarrerako eta irteerako tutuak jarri, euskarri baten bitartez eusten delarik. Behin pauso hau emanda ura elikatzen da sistemara ordu erdi batez, ikatzak eduki dezakeen ez purutasunak kentzeko. Era berean, emariaren kalibrazioa gauzatzen da ponpa manipulatu. Lagin kolektorearen programazioa ere gauzatzen da. Gure lanean kolektoreak 20 minutuz lagina jaso gabe egon ondoren, hiru minutu egongo da hodi bakoitzean operatzen zortzi hodi bete arte eta ondoren beste 20 minutuz ez du jasoko. Prozesu hau errepikatuko da lagin guztiak bete arte.

## 3. Etapa

Behin aurreko etapako pausoak emanda emariaren elikadurarako erabiltzen den edukiontzian kutsatzailea duen disoluzioa jartzen da. Lan honen kasuan egin diren saiakuntzetan 1mg/l kontzentrazioko fenol disoluzioa erabili da. Ondorioz, laginak jasotzeko programa eta ponpa aldi berean martxan jarri eta saiakuntzari hasiera ematen zaio ( honen bukaera lagin kolektorean ezarritako programazioaren arabera izango da). Aipatutako saiakuntza prestatu den ikatz bakoitzerako gauzatu da.

## 4. Etapa

Behin saiakuntza bukatuta laginak kolektoretik jaso eta aurreko atalean azaldutako *Spectra manager* programaren bidez laginen absorbantzia balioak jasotzen dira, espektrofotometroan aurretik azaldutako prozeduraren bidez.

## **5. EMAITZAK ETA ONDORIOAK**

Lan honetan lortutako emaitza esperimentalak ondorengo bost zati nagusietan banatu daitezke;

- Adsortzio prozesurako aukeratutako kutsatzaileak
- EDAR lokatzetatik eta hezurretatik abiatutako ikatz aktibatuak eta hauen ezaugarriak
- Prestatutako ikatz aktibatuen bidez lortutako isotermak. Oreka datuak
- Ohantze finkoan emandako kutsatzaileen adsortzioa. Apurtze kurbak
- Ohantze finkoan lortutako apurtze kurba esperimentalak doitzen dituen eredu matematikoa. Materia transferentziako eta difusio koefizienteen lorpena.

### **5.1. PROZESU ESPERIMENTALERAKO AUKERATUTAKO KUTSATZAILEAK**

Atal honetan prozesu esperimentalean jada azaldutako kutsatzaileen aukeraketa egin zen, bertan agertutako ezaugarriak kontuan izanez. Horrela, prozesu esperimentalean erabiltzea erabaki diren kutsatzaileak 4. Taulan agertzen dira, bakoitzari dagokion irakite tenperatura eta disolbagarritasunarekin.

**4. Taula.** Lanean erabilitako kutsatzaileak dagokien solugarritasun eta irakite tenperaturekin

Kutsatzailea	Disolbagarritasuna (g/L), 20°C	Irakite Tenperatura (°C)
Fenola (s)	83	181.7
Paraklorofenola (s)	27	220
Tetrakloroetilenoa (s)	0.15	121

Behatu dezakeguz aukeratutako hiru kutsatzaileak konposatu organikoak dira eta jada komentatu den bezala ur arazketako prozesuetan kontzentrazio txikietan agertu daitezkeen osagaiak dira.

Bestalde, uretan duten disolbagarritasun maila baxua da hiru konposatuentzat. Behatu daiteke fenolak disolbagarritasun maila altuagoak aurkezten dituela beste bi konposatuak baino, hala ere, laborategian ikusi da uretan disolbatzen zaila den konposatua dela. Beste bi konposatuei dagokionez, aipatu beharra dago lehenik azetronitriloan disolbatu egin behar izan zirela, izan ere, hasiera batean solido egoera zeudelarik ezin ziren zuzenean uretan disolbatu. Tetrakloro etilenoaren kasuan konposatu ia disolbagaitza dela esan daiteke

Era berean, fenola eta paraklorofenola bentzenotik deribatutako osagaiak dira, bigarren konposatuaren kasuan kloro talde bat dugula ere itsatsirik molekulara. Azaldu den bezala, mota hauetako konposatuen araztea oso garrantzitsua da uren kutsagarritasun maila jaisteko. Tetrakloroetilenoa, aldiz, ez da deribatzen bentzenotik, baina, araztu beharreko uretan maiz aurkitzen den osagai kutsakorra izanik eta aipatutako disolbagarritasuna txikia izanik konposatu interesgarria iruditu zaigu lanean erabiltzeko.

Azkenik, irakite puntuari dagokionez, konposatu guztiek urak duena ( 100°C inguru) baino irakite puntu balio altuak dituzte. Taulako osagaiak pisu molekular nahiko altua dute eta, ondorioz, zailagoa egiten da partikulen arteko loturak desagitea. Argi dago paraklorofenola irakite puntu altueneko sustantzia dela, pisu molekular handiena aurkezten duenak. Bestalde, tetrakloroetilenoak irakite tenperatura baxuena aurkezten du, baina uraren baliotik 20°C urruntzen da ala eta guztiz ere.

Esan beharra dago ere, aurreko aukeraketa merkatuan eskura dauden osagaien arabera egin dela prozesu esperimentalean erabili zitezkeen osagaiak zeintzuk ziren behatu eta gero.



## 5.2. LABORATEGIAN PRESTATUTAKO IKATZ AKTIBATUAK ETA EUREN EZAUGARRIAK

Lehenik lortutako ikatz motak adieraziko dira, euren jatorria, tamaina eta jasotako tratamenduen arabera. Ondoko taulan ( 5. Taula) prestatutako ikatzak agertzen dira aurretik azaldutako ezaugarriekin.

**5. Taula.** Laborategian prestatutako ikatz aktibatuak, euren tamaina, jasotako tratamendua eta izendatzeko erabilitako nomenklaturekin batera.

Ikatza	Diametroaren tamaina tartea (mikra)	Aktibazioa ( $K_2CO_3$ )	Tratamendu termikoa	Garbiketa (HCl)	Nomenklatura
Lokatz aktibatua	<250	Bai	Bai ( $CO_2$ )	Bai	$AsKCr_{1,0}T_{600(<250)mic}$
Lokatz aktibatua	250-355	Bai	Bai ( $CO_2$ )	Bai	$AsKCr_{1,0}T_{600+HCl(250-355)mic}$
Lokatz aktibatua	355-500	Bai	Bai ( $CO_2$ )	Bai	$AsKCr_{1,0}T_{600+HCl(355-500)mic}$
Lokatz aktibatua	500-710	Bai	Ez	Ez	$AsKCr_{1,0}T_0$ (500-710)mic
Animali hezurra ( <i>Bone Char</i> )	<250	Bai	Bai ( $N_2$ )	Ez	$BcKCr_{1,0}T_{550 (<250)mic}$

Behatu daitekeenez bost ikatz mota prestatu dira laborategian. Lokatzak 4 tamaina desberdinekoak preparatzeko aukera egon da ( prozedura esperimentalean azaldutako pausoen arabera) eta hezurak jada zeuden tamaina bakarretik abiatuz prestatu dira. Guztiei  $K_2CO_3$  bidezko aktibazioa aplikatu zaie.

Horrela, pauso hau eman ondoren 500-710 mikra tartean zeuden lokatz solidoentzat ez da tratamendu gehiagorik aplikatu, izan ere, prozedura esperimental gaiztatzeko partikula tamaina handiegia zuten eta gorde egin ziren aurrerago izan dezaketen tratamenduetarako. HCl bidezko garbiketa, era berean, gelditzen ziren beste hiru tamainako ikatz solidoei aplikatu zaie ( hezurretan ez zen aplikatu tratamendu hau prozedura esperimentalean azaldu den bezala).

Ondorioz, argi dago lanean erabilitako ikatzak 500 mikra baino tamaina txikiagoko diametroak izan dituztela, hauek guztiak esferikoak direla kontsideratu delarik. Aukeratutako tamaina tartea egokia kontsideratu daiteke laborategi mailan lan egiten dela kontsideraturik eta ohandzearen bidezko adsortzio sisteman ekipoa duen tamaina ikusita. Partikulen arrastea suertatu daitekeen arazoa da, baina prozedura esperimentalean 3. Taulan agertzen den metodoaz konpondu izan da.

Bestalde, hurrengo bi tauletan (6. Taula eta 7. Taula) etapa bakoitzean pisatutako solido mota bakoitzaren masa eta tratamenduen ondorioz eta guztira emandako masa galerak agertzen dira, aipatutako galerak kalkulatzeko (39) ekuazioa erabili delarik.

**6. Taula.** Etapa bakoitzean pisatutako ikatz mota bakoitzaren masa

Ikatza	Tamaina tartea (mikra)	Masa hasieran (g)	Masa, $K_2CO_3$ bidezko aktibazioa ondoren (g)	Masa, tratamendu termikoa ondoren (g)	Masa, HCl bidezko garbiketa ondoren (g)
Lokatz aktibatua	<250	6.92	4.52	4.28	3.61
Lokatz aktibatua	250-355	5.16	5.25	3.33	2.73
Lokatz aktibatua	355-500	4.48	6.99	3.26	2.76
Lokatz aktibatua	500-710	35.12	34.58	Ez da aplikatu	Ez da aplikatu
Animali hezurra ( <i>Bone Char</i> )	<250	10.40	9.57	7.86	Ez da aplikatu

**7. Taula.** Ikatz bakoitzarentzat etapa bakoitzeko masa galerak ehunekotan eta prozesuaren masa galera totala.

Ikatza	Tamaina tartea (mikra)	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> bidezko aktibazioaren ondoriozko masa galera (%)	Tratamendu termikoaren ondoriozko masa galera (%)	Masa galera totala (%)
Lokatz aktibatua	<250	1.23	15.47	38.45
Lokatz aktibatua	250-355	0.83	18.15	47.2
Lokatz aktibatua	355-500	2	15.50	47.82
Lokatz aktibatua	500-710	1.54	-	1.54
Animali hezurra ( <i>Bone Char</i> )	<250	7.98	17.86	24.42

Aurreko emaitzetan etzanez, 6. Taulan behatu daiteke hasieran lokatzetatik abiatutako ikatzen kantitateak desberdinak izan arren amaieran bakoitzaren kantitate antzerakoak lortu direla. Animalia hezuraren ikatzetan, adibidez, ez da HCl bidezko garbiketarik egin, beraz, ikatz honen masa gehiago lortu da (dena den, hasieran ere hezur solido gehiago genituen lokatzak baino).

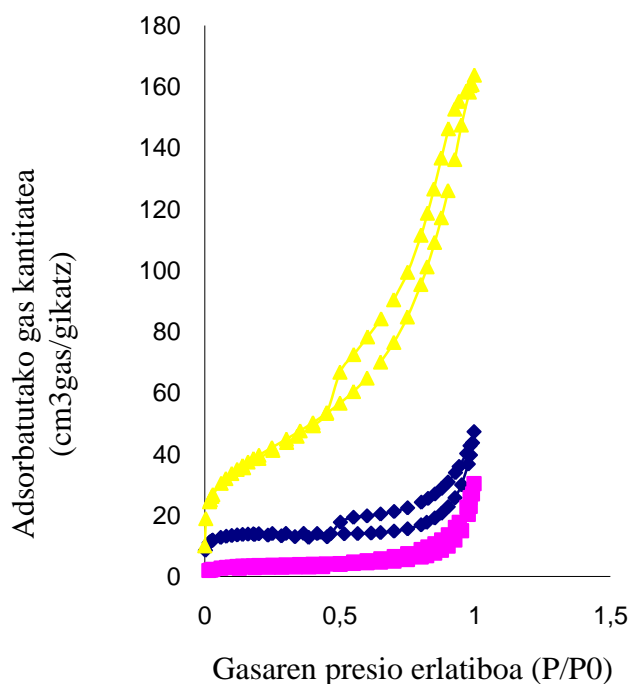
Beraz, 7. Taulan tratamendu bakoitzean emandako masa galerak behatzen badira, bistakoa da galera gehienak suposatzen dituen tratamendu termikoa da. Ikatz guztietan %15-20 tarteko masa galerak egon dira eta hasierako solidoaren zati handi bat galdu dela. Honi azalpen bat aurkitzeko orduan, argi dago mota honetako tratamenduetan solidoaren ez purutasun asko lurruntzen direla, hots, solidoak dituen konposatu hegazkorrek kanporatzen dira, errautsekin batera, prozedura esperimentalean eta oinarri kontzeptualetan azaldu den bezala. Orokorrean prozesu osoan emandako masa galerak altuak dira eta bere baitan barneratzen dituzte azaldutako tratamendu termikoaren galerak eta ohiko errore esperimentalak.

Bestalde, esan bezala 500 eta 710 mikrako lokatzak ez dira ondorengo prozedura esperimentalean erabili, beraz, ez dira kontuan hartzen aurreko suposizioak egiteko orduan edo atal honetako emaitzak bezala, tauletan agertu arren. Era beran, 250 mikra baino txikiagoko lokatzak ez dira erabili prozesuan, izan ere, partikula tamaina txikiegiek prozedura esperimentalean arazoak ekar zezaketen eta.

Horrez gain, oinarri teorikoan azaldu den bezala ikatzei gasen bidezko adsortzio teknika aplikatu zaie gainazaleko poro eta gainazal espezifikoari buruzko informazioa jasotzeko. Prozesu hau nitrogeno gasaren bidez gauzatu da eta neurketa hauek ez dira prozesu

esperimentalaren barne eman, baina erabilgarriak izango dira honetan lortutako ikatzei buruzko emaitzekin konparatzeko.

Ondorioz, hurrengo irudian (13 . Irudia)  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600}+\text{HCl}_{(250-355)\text{mic}}$  (lerro arrosa),  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600}+\text{HCl}_{(355-500)\text{mic}}$  (lerro urdina) eta  $\text{BcKCr}_{1,0}\text{T}_{550}(<250)\text{mic}$  (lerro horia) ikatzei dagozkien gasaren adsortzio isotermak aurkitzen dira, abzisa ardatzean presio erlatiboa dagoelarik irudikatua eta adsorbatutako gas kantitatea ordenatu ardatzean.



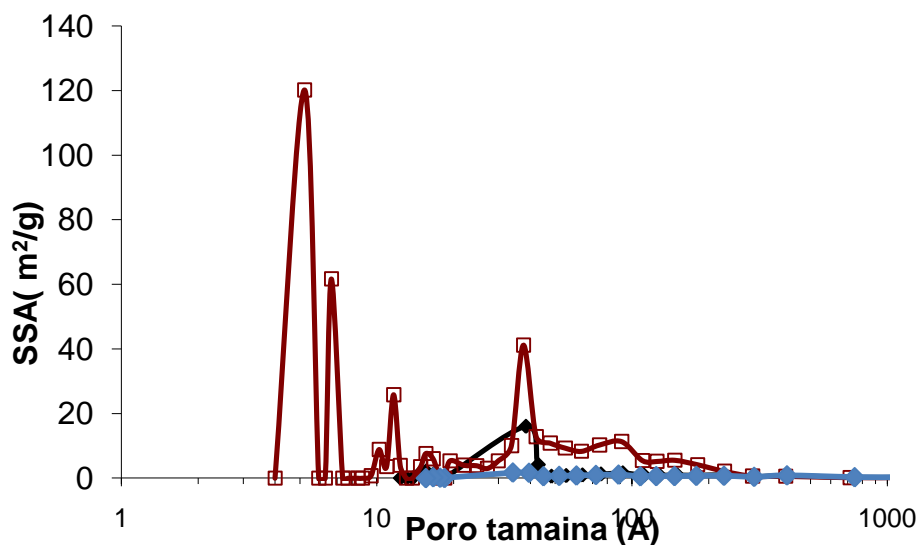
**13. Irudia.** Aipatutako hiru ikatz motentzako gasen adsortzio isotermak, adsorbatutako gas kantitatea adierazten delarik gasaren presio erlatiboaren balio bakoitzerako.

Beraz, alde batetik esan dezakegu oinarri matematikoan azaldutako 4. Irudian, non, adsortzioan eman zitezkeen isoterma mota desberdinak agertzen ziren, 4. Motako isotermak deskribatzen duela hobeen aurreko grafikoan agertzen diren kurbak. Presio erlatiboaren erdiko balioetan adsorbatutako gasaren kantitatea handitu egiten da. Era berean, mota hauetako kurbak mesoporotsuak diren solidoetan agertzen dira.

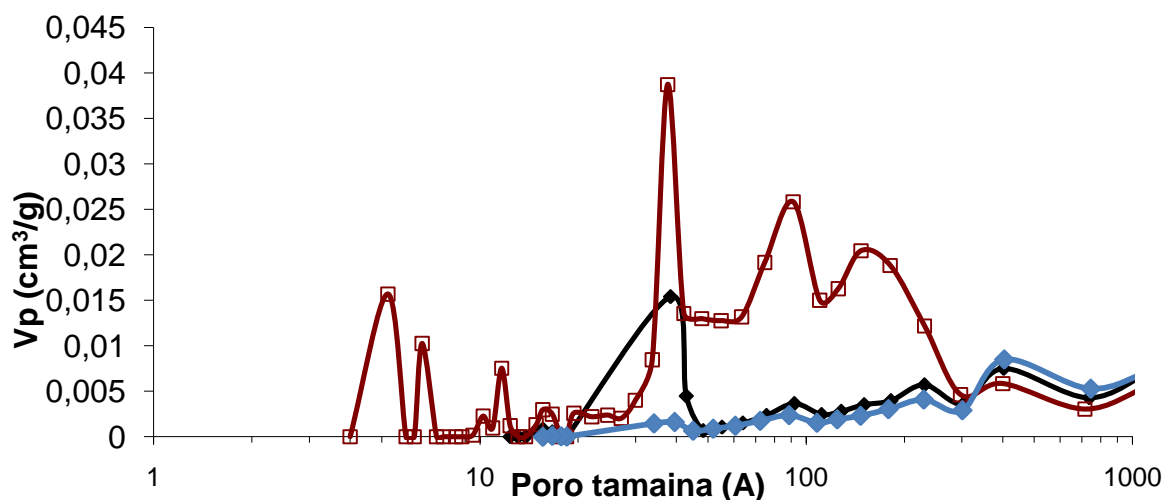
Dena den, esan beharra dago hezurretatik eratorritako ikatzak ( marra horia) adsortzio balio handienak ematen dituela, ondoren 355-500 mikra arteko lokatz aktibatuak adsortzio maila baxuagoak aurkeztuko zituelarik. Aipatutako bi mota hauetako ikatzek oinarri kontzeptualetan azaldutako histeresi fenomenoaren aurkezten dute, mesoporoen presentziaren seinale bezala. Bestalde, 250-355 mikra arteko lokatz aktibatuak 4. Motako kurbatik aldendu daitezke, 3. Motako kurbara hurbilduz. Mota hauetako kurbak adsorbatzailearen eta solutuaren arteko elkarrekintzak baxuak direnean ematen dira gehienbat.

Beste aldetik, hurrengo bi irudietan (14. Irudia eta 15. Irudia) oinarri matematikoan aipatutako BJH ereduaren errepresentazio grafikoak agertzen dira. Bi irudian 250-355 mikra ( marra

urdira) eta 355-500 mikra arteko ( marra beltza) lokatz aktibatuen eta *Bone Char* ( marra gorria) motako ikatz aktibatuentzat poro tamainaren banaketaren arabera gainazaleko azalera espezifiko (14. Irudia) eta bolumen espezifikoaren (15. Irudia) banaketak ageri dira.



**14. Irudia.** BJH teknikaren bidez lortutako poro tamaina bakoitzarentzako azalera espezifikoa adierazten duen irudia hiru ikatzentzat.



**15. Irudia.** BJH teknikaren bidez lortutako poro tamaina bakoitzarentzako bolumen espezifikoa adierazten duen irudia hiru ikatzentzat.

Horrela, 20. Irudia behatuz, hezurretik eratorritako ikatzei dagokionez, mikroporoen zonaldean (20 Å baino txikiagoak) azalera handiko poroak aurkezten dira tamaina desberdinetako poroetan, mesoporoetan (20-500 Å artean) azalera txikiagoko poroak aurkeztuz eta ez hain banatuta poro hauek. Makroporoak (500 Å baino handiagoak) dagokionez, hauek ez dute ia azalera erakusten.

355-500 mikra ( tamaina ertaina) tarteko lokatz lehorrei dagokionez, mesoporoak direla argi ikusi daitezke, izan ere, ez dute ia azalera erakusten mikroporo eta

makroporoetan. Dena den, lokatz hauetan garatutako mesoporoen azalera hezurretan agertutako baino txikiagoa da, azkeneko hauek mikroporotasun maila handiagoak aurkeztu arren. Bestalde, tamaina txikiko lokatz aktibatuek orokorrean azalera balio txikiak aurkezten dituzte poro tamaina desberdinetan, aipatutako azaleraren balio handienak makroporoetan egon arren. Aztertutako hiru ikatzetik azalera balio txikienak aurkezten dituzte.

Bestalde, 14. Irudiarekin 15. Irudian agerian geratu den porotasunaren banaketa baieztatu daiteke. Hezurrei dagokionez, makroporoetan bolumen espezifikoaren balio txikiagoak aurkezten dituzte, azaleraren balio handiak izan arren. Izan ere, aipatutako azalera tamaina desberdinetako makroporoetan aurkezten dira, hots, makroporoak hainbat tamaina desberdinetan aurkitu daitezke. Aipatutako banakortasun honek poroen bolumenaren balioak txikiagoak izatea eragiten du. Dena den, mota honetako ikatzak balio handienak aurkezten jarraitzen ditu bolumenean ere. Tamaina ertaineko lokatzei dagokionez, mesoporoen bolumenaren proportzioa handiagoa da, izan ere, tamaina ertaineko poro hauek ez dute banaketa hain garbia eduki tarte desberdinetan azalerari dagokionez.

Bestalde, tamaina txikiko lokatzetan azalerarekiko bolumen proportzioa handia dela behatu daiteke. Esan bezala, azkeneko ikatz mota honek makroporoetan aurkeztu ditu azaleraren balio handienak, mikroporo eta mesoporo gutxi aurkeztuz. Ez da egon tamaina banaketa handirik makroporo hauetan, beraz, bolumen espezifikoaren balioak handitu egin dira zonalde honetan.

Laburbilduz, orokorrean, hiru ikatzen bolumen espezifikoen balio handienak makroporoetan aurkitu dira, hauek tamaina handieneko poroak diren legez. Bestalde, bolumen espezifikoaren balioen proportzioa handitu egin da azaleraren balioak poro tamaina distribuzio txikiagoa izan duen kasuetan.

Ondorioz, aurreko hiru irudiak behatuz eta ikatz desberdinen emaitzak kontuan izanez, hezurretatik abiatutako ikatzak adsortzio prozesurako ezaugarri hoberenak aurkezten dituela ematen du. Gasen adsortzio bidezko isoterman adsortzio maila altuenak aurkezten zituen histeresiarekin batera. Bestalde, behin BJH eredu aplikaturik, behatu daiteke histeresiaren sortzaileen banaketa, hots, mesoporoena.

Aipatu beharra dago ikatz honek mikroporoetan aurkeztu duela azalera balio handienak eta banaketa garbiena ere bertan azaldu da. Gainera, tamaina ertaineko ikatzak gainazal balio handienak mesoporoetan aurkeztu arren, azaleraren balio hauek hezurretan aurkeztutakoak baino txikiagoak izan dira.

Bestalde, porotasun balio baxuenak tamaina txikiko lokatz aktibatuan lortu dira, zeinak makroporotasun maila altuagoak aurkeztu dituen mikroporo eta mesoporoetan baino. Bolumen espezifikoaren proportzioa handiagoa izan da azalera espezifikoko balioetan etzanez, makroporotaun horren seinale eta tamaina distribuzio txiki baten ondorioz.

Beraz, egindako analisisian etzanez eta aipatutako ikatzen bidez adsortzio prozesuen emaitzak aurkeztu aurretik, hezurretatik abiatutako ikatzek porotasun maila altuenak aurkezten dituzte

eta emaitza hoberenak eman dituzte gasen bidez egindako analisietan. Oinarri kontzeptualetan aipatu den bezala, ikatzen porotasuna eta gainazal espezifikoa garrantzi handiko aldagaiak dira adsortzio prozesuan, kasu honetan hezurrek aurkeztuz balio handienak.

### 5.3. OHANTZE FINKOAREN BIDEZKO KUTSATZAILEEN ADSORTZIOA. APURTZE KURBAK

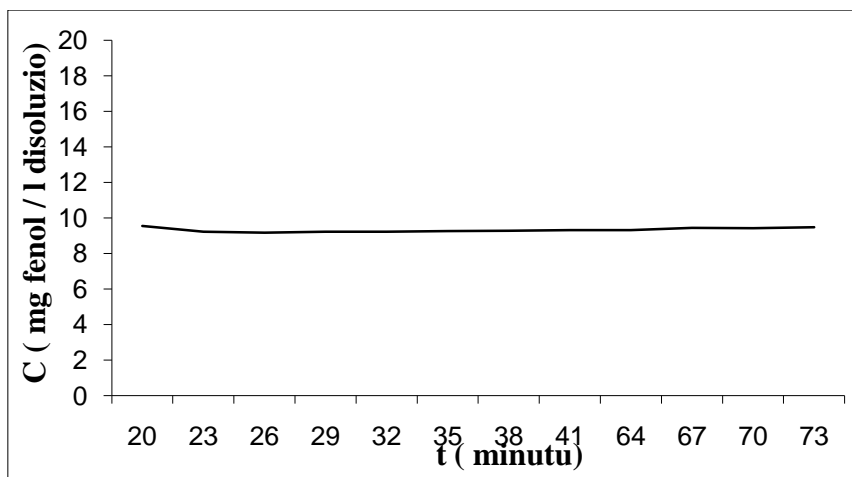
Lanaren atal honetan hiru saiakuntza egin ziren emaitzen lorpenerako, non, aipatutako hiru motako ikatzetatik bi erabili ziren. Ondorengo taulan ( 8. Taula) saiakuntza bakoitzean ezarritako parametroen balioak eta baldintzak agertzen dira.

**8. Taula.** Ohantze finkoaren sisteman egindako saiakuntza bakoitzerako ezarritako parametroen balioak.

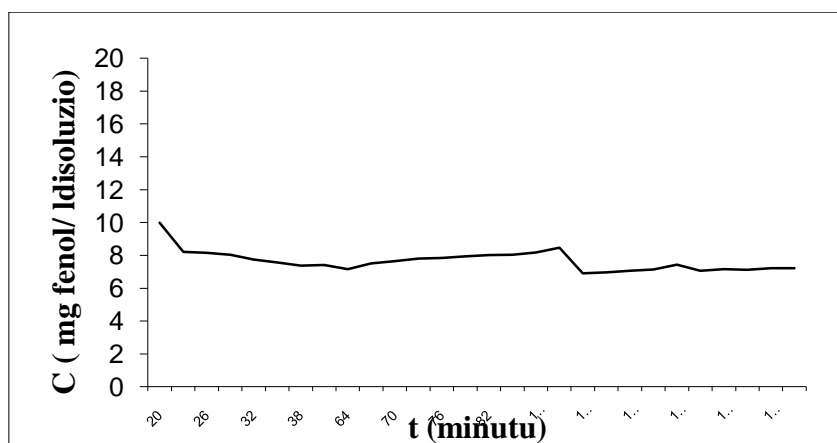
Ikatza	Kutsatzailea	Saiakuntza zenbakia	Pisatutako ohantze barneko ikatza (g)	Zutabearen diametroa (mm)	Zutabearen altuera (cm)	Emaria (ml/min)
AsKCr <sub>1,0</sub> T <sub>600</sub> +HCl <sub>(250-355)mic</sub>	Fenola (10mg/l)	1	0.61	5	3	4
AsKCr <sub>1,0</sub> T <sub>600</sub> +HCl <sub>(250-355)mic</sub>	Fenola (10mg/l)	2	0.62	5	3	0.25
BcKCr <sub>1,0</sub> T <sub>550</sub> (<250)mic	Fenola (10mg/l)	3	0.61	5	3.25	1

Behatu daitekeenez, pisatutako ikatza antzekoa da prozesu bakoitzean, horrela, ikatzen arteko adsortzio mailaren konparazio egokia egin daiteke. Zutabearen diametroa berdin mantentzen da eta altuera antzekoa da hiru esperimentuetan. Bestalde, emarian egindako aldaketak batetik bestera aurrekoan ikusitako emaitzen arabera izan da ( ondoren azalduko da aldaketaren zergatia).

Beraz, prozesuan erabili diren parametroak ikusita ondorengo irudietan 1. Saiakuntzarako ( 16. Irudia) eta 2. Saiakuntzarako (17. Irudia) lortutako emaitzak agertzen dira, non, kolektoretik lortutako absorbantzia balioetatik abiatuz (43) ekuazioa erabili delarik denbora bakoitzerako (abzisa ardatza) kontzentrazio balioak (ordenatu ardatza) ateratzeko.



**16. Irudia. 1.** Saiakuntzarako lortutako emaitza esperimentalak ohantze finkoan.

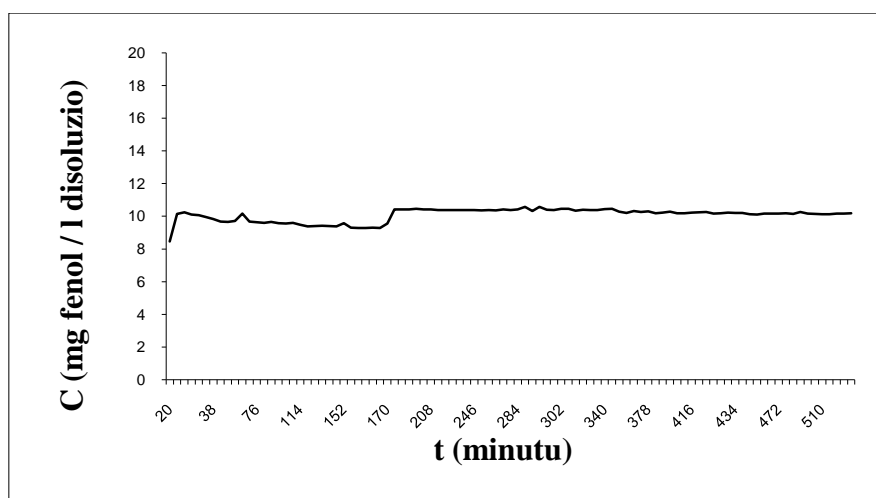


**17. Irudia. 2.** Saiakuntzarako lortutako emaitza esperimentalak ohantze finkoan.

Behatu daitekeenez, ikatz bera erabilitako bi prozesu hauetan solidoak kutsatzailea ez duela adsorbatzen behatu daiteke. Ohantzera elikatzen den kutsatzailea (fenola) 10 mg/l-ko kontzentrazioan sartzen da eta ia kontzentrazio berarekin irteten da denbora desberdinetan lortutako laginetan behatu daitekeenez. Esan beharra dago 1. Saiakuntzako emaitzak behatzean 2. Saiakuntzan emari txikiagoa elikatu zela 8. Taulan adierazten den bezala. Ikusi daiteke ikatzak kasu honetan kutsatzailearen kontzentrazioa zertxobait gehiago jaisten dela baina ez du zer ikusirik adsorbatzaile komertzialek lortzen dituzten apurtze kurbekin, 3. Irudian behatu daitekeen bezala.

Emaitza hauek lortzean, hezurren bidez lortutako ikatz aktibatuarekin pentsatu genuen prozesua errepikatzea. Izan ere, aurreko atalean azaldu den bezala adsorazio prozesuan garrantzia duten porotasun eta gainazaleko azalera espezifikoaren balio oso txikiak lortu ziren lokatz hauetarako. Ondorioz, hurrengo irudian (18. Irudia) laborategian egindako 3. Saiakuntza ageri da, aurreko saiakuntzetako prozedura berbera errepikatu delarik 8. Taulan agertzen diren baldintzekin.





### 18. Irudia. 2. Saiakuntzarako lortutako emaitza esperimentalak oihantze finkoan.

Aurreko irudian behatu daitekeenez, hezurretatik abiatutako ikatzak ez zuen adsorbatu sistemara elikatutako fenola, konstante mantentzen da eta kutsatzailearen kontzentrazioa denboraren zehar.

Ondorioz, aipatu beharra dago hezurretatik abiatutako ikatzak porotasun eta gainazal espezifiko balio altuagoak izan arren ez duela erakutsi aipatutako kutsatzailea adsorbatzeko gaitasunik. Honi azalpen bat ematerako orduan, alde batetik, adsorbatzaile komertzialek gainazal espezifiko altuagoak izaten dituzte. Esate baterako, Zhou eta kol. 2013. Urtean argitaratutako aldizkari batean erabilitako adsorbatzaileak (HD-01 erretsina mikroporotsua)  $1645.5 \text{ m}^2/\text{g}$ -ko balioak aurkezten zituen. Lan honetan preparamutako ikatzetan lortu diren balio altuenak (hezurrei dagokienak)  $142 \text{ m}^2/\text{g}$  ingurukoak izan dira.

Bestalde, porotasuna eta gainazal espezifikoaz gain, badaude beste faktore batzuk adsortzio prozesuan eragiten dutenak oinarri kontzeptualetan azaldu den bezala. Adibidez, fenolak aipatutako ikatzekin eduki ditzakeen elkarrekintza indarrak aipatu behar dira.

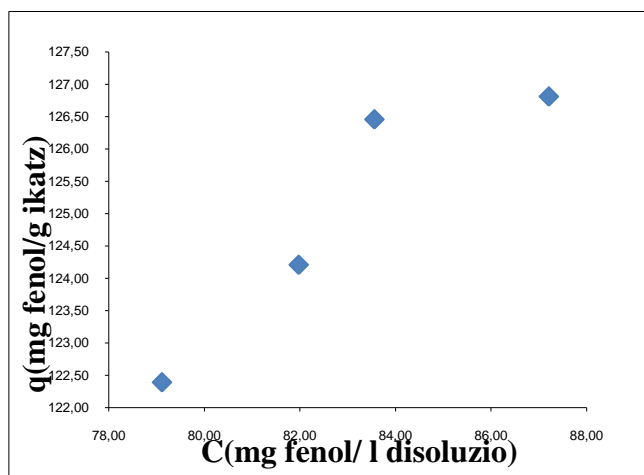
Fenola tamaina txikiko molekula da eta, ondorioz, ikatzean mikroporoen kantitatea gero eta handiagoa izan, orduan eta hobeto ezabatuko da kutsatzaile hau (Sarmiento eta kol., 2004). Fenolaren ezaugarriak direla eta, hauen adsortziorako solido oso mikroporotsuak behar dira, gure lanean ez dugularik lortu mikroporotasun maila oso alturik. Bestalde, fenolaren adsortzio prozesuari buruz ikerketa ugari argitaratu diren arren, oraindik ez dago argi zein den kutsatzaile honen adsortzio mekanismoa (Leng eta Pinto, 1997). Izan ere, fenola fisisortzioaren prozesuaz gain gainazaleko polimerizazio prozesu baten bitartez adsorbatua izan daiteke. Horretarako, oxigenoaren presentzia beharrezkoa da gainazalean, adibidez, metal oxidoen presentziaren bidez (Grant eta King, 1990).

### 5.4. ISOTERMEN LORPENA. OREKA DATUAK

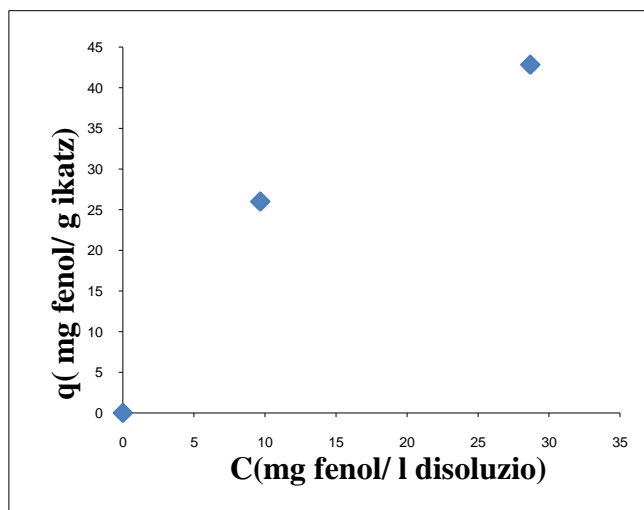
Lanaren atal honetan prozedura esperimentalean azaldutako pausoekin lortutako balioen adierazpen grafikoa eta euren interpretazioa egingo da. Puntu hauen lorpena gauzatzeko espektrofotometroak ematen dituen absorbantzia balioetatik (paraklorofenola eta fenolaren

kasuan azaldu den bezala) (44) eta (43) adierazpenen bitartez likido faseko kontzentrazioak atera dira. Ondoren (4) ekuazioaren bitartez ikatz gramoko bakoitzeko adsorbatu den kutsatzailearen masa ateratzen da.

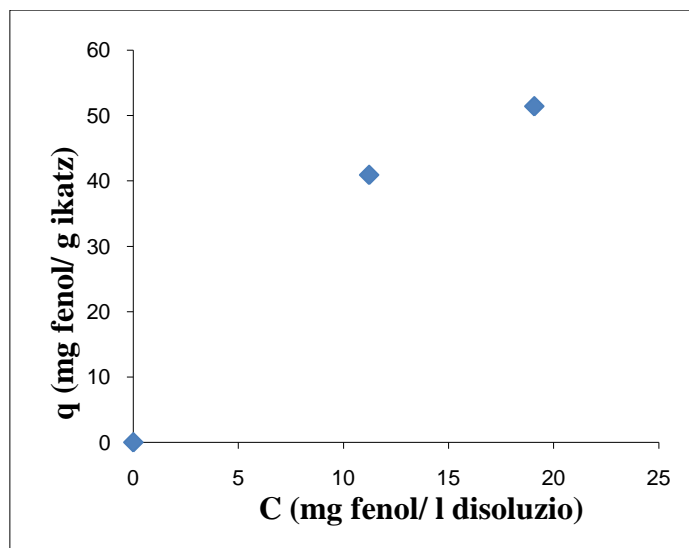
Ondorengo irudietan fenola solutu bezala erabilia lortutako isotermak agertzen dira. 19. Irudia  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600} + \text{HCl}_{(250-355)\text{mic}}$  ikatzaren bitartez egindako saiakuntzei dagokio, 20. Irudia  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600} + \text{HCl}_{(355-500)\text{mic}}$  ikatzari eta 21. Irudiak  $\text{BcKCr}_{1,0}\text{T}_{550 (<250)\text{mic}}$  ikatzaren bidez lortutako isoterma adierazten du.



**19. Irudia.**  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600} + \text{HCl}_{(250-355)\text{mic}}$  ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko fenolaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.



**20. Irudia.**  $\text{AsKCr}_{1,0}\text{T}_{600} + \text{HCl}_{(355-500)\text{mic}}$  ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko fenolaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.



**21. Irudia.** BcKCr<sub>1,0</sub>T<sub>550 (<250)mic</sub> ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko fenolaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.

Lehenik, hiru irudi hauek behatuz ondorioztatu dezakegu emaitzak Langmuir- en eredura hurbiltzen direla, hots, oinarri matematikoan azaldutako 4.Irudian, lehenengo motako grafikora hurbiltzen direla eta Langmuir ereduari buruzko azaldutako hipotesiak betetzen dira.

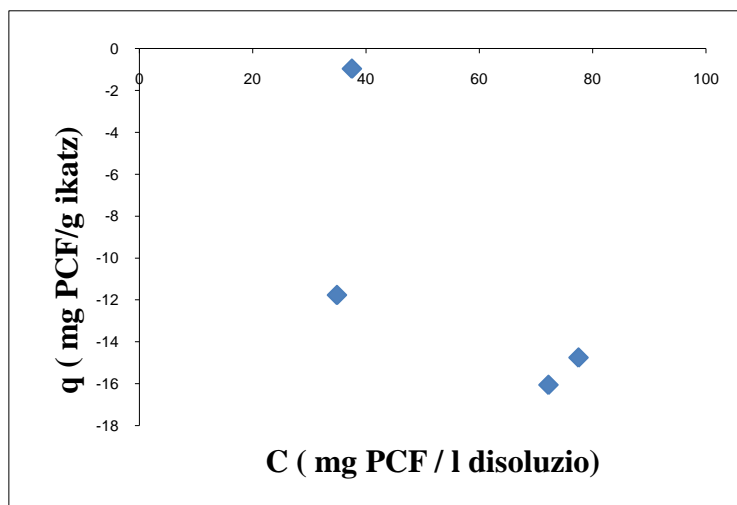
Dena den, esan beharra dago tamaina txikieneko lokatz aktibatuek (19. Irudia) ikatzean adsorbatutako fenol balio handiagoak erakusten dituztela beste lokatzak eta hezurak baino, hauek ondorioztatutako aurreko emaitzetan adsortzio maila txikiena erakusten zutelarik. Esan beharra dago likido fasean kutsatzailearen kontzentrazio handiak jarri zirela ikatz horretan beste bi ikatzetan baino. Bestalde, beste bi ikatzen isotermak irudikatzeko hartutako puntu esperimentalak urriak dira, izan ere, lortutako beste puntu esperimental batzuek ez zuten ematen koherentziarik lortu behar zen ereduari ( Langmuir-en eredia).

Beraz, esan daiteke oihantze sisteman ez bezala, ikatz hauek fenola xurgatzeko gaitasuna dutela erakusten dela, gaitasun hau oso txikia bada ere eta solido- likido sistema denbora luzaroen egon behar badira ere solutuaren materia transferentzia gauzatzeko.

Era berean, lortutako kurben fidagarritasuna ez da handia, izan ere, lortutako puntu esperimental baliagarriak urriak dira eta ez dira nahikoak aipatutako ereduaren parametroak doitzeko, hots, (9) ekuazioeko parametroen ondorioztapenerako. Ondorioz, (5) eta (6) ekuazioak erabiliz adsorbatu daitekeen fenol kopuru maximoa eta benetan adsorbatu zen ehuneko atera ziren. Lortutako balioak ez dira adierazgarriak, aurreko emaitzen erroreen ondorioz, izan ere, adsorbatutako ehunekoak askotan % 100-tik gora ematen zuen, ezinezkoa dena.

Bestalde, paraklorofenolari (PCF) dagokionez, aipatu beharra dago prestatutako ikatzek ez zutelara solutu hau adsorbatzen, lortutako emaitzen arabera. Hurrengo irudian (22. Irudia) BcKCr<sub>1,0</sub>T<sub>550 (<250)mic</sub> ikatzarentzat lortutako balio esperimentalak ageri dira. Ikatzen honentzat

lortutako balioen irudia soilik adieraziko da, izan ere, beste ikatzentzat lortutako isotermak ere kutsatzailea ikatzean ez zela adsorbatu agerian usten dute.

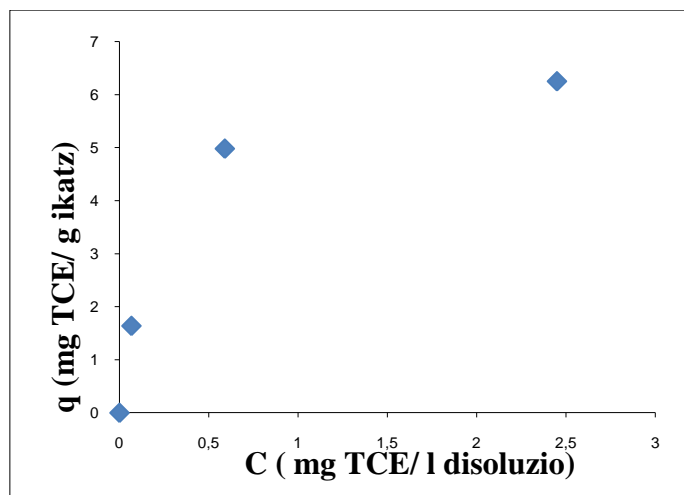


**22. Irudia.** BcKCr<sub>1,0</sub>T<sub>550 (<250)</sub>mic ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko paraklorofenolaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.

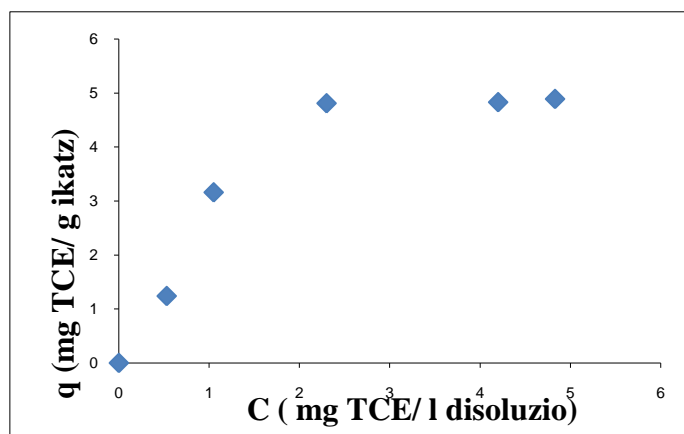
Behatu dezakegunez lortutako emaitzak negatiboak dira. Hau ezinezkoa da, izan ere, masaren balioak ezin daitezke inoiz negatiboak izan eta ikatzak ezin du adsorbatu likido fasean dagoen kutsatzaile kantitatea baino gehiago. Lortutako balio negatiboen zergatia neurgailuak ( espektrofotometroak ) duen errore marjinagatik dela suposatu da.

Beraz, argi dago lokatz aktibatuetatik eta hezurretatik abiatutako ikatz hauek ez dutela paraklorofenola xurgatzeko gaitasunik, denbora luzaroan solido fasea eta likido fasea kontaktuan egon arren. 4. Taularen arabera, paraklorofenolak fenolak baina disolbagarritasun maila baxuagoak aurkezten ditu baina molekula handiagoa da, kloro atomoa gehitzen zaio eta aurreko konposatuari. Beraz, poro tamaina handiagoko ikatzen beharizana zentzuzkoa litzateke kutsatzaile honen adsortziorako. 14. Irudiaren arabera lan honetan ekoiztutako ikatzen poroen gainazal espezifikaren balio handiagoak lortzen dira mikroporoetan, mesoporoetan eta makroporoetan baino. Horrela, ikatzek fenola adsorbatzeko gaitasun txikia erakusten duten bitartean ( aipatu den bezala fenola molekula txikia da), paraklorofenola bezalako molekula handiagotatik ez da erakusten hau adsorbatzeko gaitasuna dutenik.

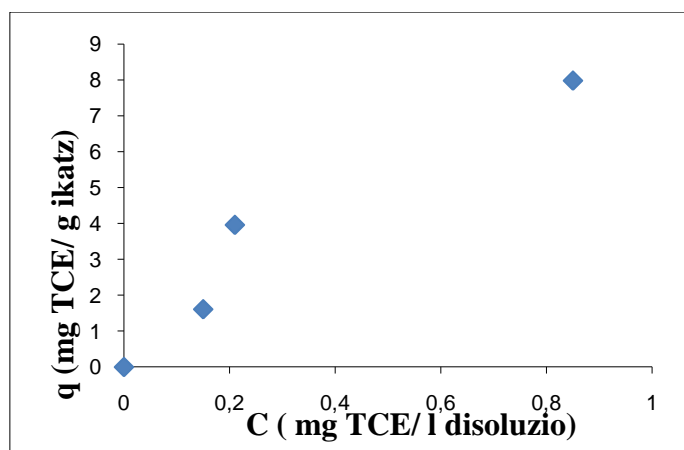
Azkenik, tetrakloroetilenoarentzat (TCE) hurrengo isotermak lortu dira 23. Irudia AsKCr<sub>1,0</sub>T<sub>600+ HCl(250-355)</sub>mic ikatzarekin, 24. Irudia AsKCr<sub>1,0</sub>T<sub>600+ HCl(355-500)</sub>mic ikatzarekin eta 25. Irudia BcKCr<sub>1,0</sub>T<sub>550 (<250)</sub>mic ikatzarekin. Esan bezala, hau neurtzeko gasen bidezko kromatografia erabili da, zuzenean likido faseko kontzentrazioak ematen zituelarik neurgailuak. Ondoren, beste bi kasuetan bezala, (4) ekuazioa erabili da ikatzean adsorbatutako kutsatzaile kantitatea lortzeko.



**23. Irudia.** AsKCr<sub>1,0</sub>T<sub>600</sub>+ HCl<sub>(250-355)mic</sub> ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko tetrakloroetilenoaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.



**24. Irudia.** AsKCr<sub>1,0</sub>T<sub>600</sub>+ HCl<sub>(355-500)mic</sub> ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko tetrakloroetilenoaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.



**25. Irudia.** BcKCr<sub>1,0</sub>T<sub>550</sub> (<250)mic ikatzaren bitartez lortutako isoterma, non, likido faseko fenolaren kontzentrazioak ikatzean xurgatu direnekin erlazionatzen dituen.

Aurreko irudiak behatuz, fenolaren kasuan bezala, lortutako emaitzek Langmuir-en isotermaren antza hartzen dute. Esan beharra dago eredura doitu egiten ziren datuak hartu direla kontuan, hauen irudikapena behatu daitekeelarik. Esan beharra dago fenolaren kasuan baino puntu esperimental gehiago lortu direla, beraz, emaitzak fidagarriagoak dira. Dena den, behatu dezakegu puntu esperimental bat edo beste (hezurren kasuan) doiketarik zertxobait aldentuta gelditzen dela, hots, lortutako kurba pixka bat ereditik aldentzen da. Baliteke neurgailuak duen errore marjina eragina izatea honetan, emaitzak errealitatekin aldatuz. Dena den, kromatografia teknikak oso zehatzak izaten dira eta baliteke aurreko puntu bat edo beste lortzean kontzentrazioak kalibratutako baloretatik pixka bat aldentuak egotea.

Ikatzek erakusten duten kutsatzaile honekiko adsortzio balioei dagokionez, lortutako emaitzen arabera kutsatzaile hau adsorbatu egin daiteke prestatutako adsorbatzaileetan. Hezurrek adsortzio maila handiena erakusten dute (8 mg PCE/ g ikatz inguru), aurreko ataletako emaitzekin bat eginez ( lokatzetatik prestatutako ikatzek adsortzio ahalmen baxuagoak erakusten dituzte). Dena den, lokatz txikiek lokatz handiagoek baino adsortzio maila handiagoa erakutsi dute emaitzen arabera, azkeneko balio hauek antzekoak izan arren (5-6 mg PCE gramo ikatz bakoitzeko).

Horrela, 4. Taularen arabera parakloroetilenok disolbagarritasun maila oso baxuak erakusten ditu (uretan ia disolbaezina) eta, beraz, aipatutako ikatzean adsorbatzeko erraztasun handiagoa erakutsiko du fenolak eta paraklorofenolak baino alde horretatik. Baliteke hiru konposatuetatik pisutsuena izatea ,baina uretan disolbagarritasun maila txikia erakusten du kutsatzaile honen adsortzio prozesua faboratuz.

## 5.5. DATU ESPERIMENTALAK DOITZEN DITUEN EREDU MATEMATIKOA

Lehenik aipatu beharra dago atal honetako emaitzak lortzeko bibliografian aurkitutako data erabili dira eta baita laborategian beste urteetan egin diren esperimentuen data. Kasu honetan erabilitako solutua metileno urdina (MB) izan zen eta saiakuntzak solido komertzial batekin egin ziren. Izan ere, lan honetan erabilitako datuak ez ziren baliagarriak izango ez dira lortu eta aipatutako apurtze kurbak. Hurrengo tauletan (9. Taula eta 10. Taula) softwarean ereduaren garapena egiteko erabili diren parametroen balioak ageri dira.

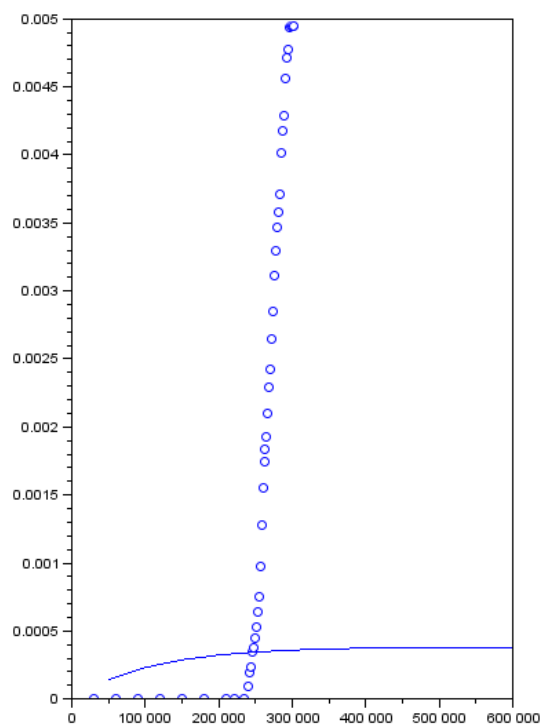
**9. Taula.** Eredu matematikoa garatzeko erabilitako parametroen balioak euren unitateekin

Parametroa (unitatea)	Balio numerikoa
$e$ (kg/m <sup>3</sup> )	1000
$\varepsilon$	0.3
$C_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	$5 \cdot 10^{-3}$
$L$ (m)	$12 \cdot 10^{-3}$
$D$ (m)	0.05
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$2.8 \cdot 10^{-8}$

**10. Taula.** Eredu matematikoa garatzeko erabilitako oreka datuak, orekako likido faseko eta ikatzak adsorbatutako balioak erlazionatzen dituen, dagokien unitateekin.

$C_e$ (kg/m <sup>3</sup> )	$q_e$ (kg MB/kg ikatz)
0	0
$19 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$
$117 \cdot 10^{-3}$	$351 \cdot 10^{-3}$
$533 \cdot 10^{-3}$	$585 \cdot 10^{-3}$
$1269 \cdot 10^{-3}$	$693 \cdot 10^{-3}$
$1984 \cdot 10^{-3}$	$714 \cdot 10^{-3}$
$5000 \cdot 10^{-3}$	$715 \cdot 10^{-3}$

Ondorioz, lehenik oinarri matematikoa azaldutako ekuazio diferentzialak ebazten dituen programaren emaitzak adieraziko dira hurrengo irudian ( 26. Irudia), non, datu esperimentalak puntuen bidez adierazita dauden eta datu teorikoak lerro jarrai baten bidez.



**26. Irudia.** Ekuazio diferentzialak ebazten dituen programan lortutako emaitza, non, ordenatu ardatzean kontzentrazioaren balioak agertzen diren likido fasean (kg/m<sup>3</sup>) eta abzisa ardatzean denboraren balioak (segundotan).

Aurreko irudia behatuz ikusi daiteke balio teorikoak ez direla hurbiltzen eta ez dutela osatzen datu esperimentalak osatzen duten apurtze kurba. Izan ere, aipatutako lehen programa honek (materia transferentzia eta difusio koefiziente balioen optimizazioa gauzatzen ez duena) guk sartutako aipatutako koefizienteekin lan egiten du, ez ditu aldatzen balio egokienak aurkitu arte. Kasu honetan emaitza hau materia transferentziak  $10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$  eta difusio koefizienteak  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  balioak izanda lortu da. Dena den, lortutako kurba teorikoaren itxura ez da apurtze kurba batena. Bestalde, aipatutako koefizienteen suposatutako hasierako balio batzuekin ez zen emaitza teorikorik lortzen, hots, programak ez zuen simulatzen. Beraz, optimizazioa gauzatzen duen programa erabili aurretik hasierako balioen mugak finkatu behar izan ziren.

Horrela, aurreko koefizienteen optimizazioa gauzatzen duen programaren simulazioa gauzatu zenean ez zen emaitzarik lortu, izan ere, scilab 5.4.1 programak ez zuen aurkitzen emaitza teorikorik kurba esperimentala doitzen zuena. Honi azalpen bat emateko orduan, alde batetik, programan sartutako parametroen balioak oso intuitiboak izan ziren. Ez ziren benetan laborategian erabili izan ziren parametroak. Esate baterako, solidoaren dentsitatea eta porotasuna bezalako balioak bibliografikoak izan ziren eta ez emaitza esperimentalak lortzeko erabili ziren adsorbatzailearen datuak. Programa honetan ordezkatu beharreko parametroak errealitatekoak izatea komeni da, laborategian erabili eta lortutako balioekin.

Bestalde, programa barnean erabilitako optimizazio komandoak ( `fminsearch`) minimo lokalak aurkitzen zituen ekuazio sistemaren ez jarraitasunaren ondorioz. Ondorioz, optimizatu beharreko bi koefizienteak muga batzuen barne finkatu behar ziren, muga horien barne ez zelarik emaitzarik lortu. Beraz, scilab ordezkatu beste programa intuitiboan erabilpena egokia litzateke planteatutako ekuazio sistema ebazteko, esate baterako, FlexPD.



## 6. NOMENKLATURA

<b>Ikurra</b>	<b>Unitateak</b>	<b>Deskribapena</b>
$\Delta G$	J/mol	Sistemaren energia askearen aldaketa
$\Delta S$	J/K	Sistemaren entropiaren aldaketa
$\Delta H$	J/mol	Sistemaren entalpia aldaketa
$\varepsilon_b$	-	Ohantze finkoaren porotasuna
$\gamma$	N/m	Likidoaren gainazaleko tentsioa (Kelvin ekuazioa)
$\theta$	-	Kondentsatutako fasearen eta solidoaren arteko kontaktu angelua (Kelvin ekuazioa)
$v$	m <sup>2</sup> /s	Likidoaren abiadura interstiziala (Ohantzearen diseinua)
a, x/m, q	kg solutu/ kg ikatz	Adsorbantzia
$a_m$	kg solutu/ kg ikatz	Adsortzio maximoa monokapa sortzean (B.E.T. eredua)
C	kg/m <sup>3</sup>	Likido faseko solutuaren kontzentrazioa
$C_0$	kg/m <sup>3</sup>	Likido faseko solutuaren kontzentrazioa prozesuaren hasieran
$C_{AK}$	Kg/m <sup>3</sup>	Inpregnazio kimikoan bihaleen K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> kontzentrazioa (prozedura esperimentalak)
$C_e$	kg/m <sup>3</sup>	Adsorbatu ondorengo solutuaren oreka kontzentrazioa fase likidoan
$C_f$	kg/m <sup>3</sup>	Ohantzera elikatutako ur emariaren solutu kontzentrazioa

$C_j$	$\text{kg/m}^3$	Inpregnazio kimikoan $\text{K}_2\text{CO}_3$ disoluzioaren jatorrizko kontzentrazioa (prozedura esperimentalak)
D	m	Ohantze finkoaren diametroa
$D_L$	$\text{m}^2/\text{s}$	Dispersio koefiziente axiala (Ohantzearen diseinua)
e	$\text{kg/m}^3$	Ikatzen partikulen dentsitatea (Ohantzearen diseinua)
K	-	Lehenengo kaparen adsortzio beroa eta beste kaparen adsortzio beroa erlazionatzen duen konstantea (B.E.T. eredua)
$k_f$	$\text{m}^3/\text{kg}$ ikatzen	Solutuaren adsortzio kapazitatea eta solutuak adsorbatzailearekiko duen afinitatea adierazten duen konstante enpirikoa (Freundlich-en eredua)
$k_H$	$\text{m}^3/\text{kg}$ ikatzen	Adsorbatzaile eta solutu batentzat emandako konstante enpirikoa, tenperatura jakin batean (Henry-ren eredua)
$k_L$	$\text{s}^{-1}$	Adsortzio energiari erreferentzia egiten dion konstante enpirikoa (Langmuir-en eredua)
$K_m$	$\text{s/m}^2$	Materia transferentzia koefizientea ( Ohantzearen diseinua)
$k_H$	$\text{m}^3/\text{kg}$ ikatzen	Adsorbatzaile eta solutu batentzat emandako konstante enpirikoa, tenperatura jakin batean (Henry-ren eredua)
L	m	Ohantze finkoaren altuera
m	kg	ikatzen masa (Isotermen kalkulua)
$m_0$	kg	Prozesuaren hasierako ikatzen masa ikatzen prestaketan
$m_f$	kg	Prozesuaren amaierako ikatzen masa
$m_g$	kg	Prozesu bakoitzean emandako masa galera

n	-	Adsorbatuaren saturazio abiadura adierazten duen konstantea (Freundlich-en eredua)
P	Pa	Presioa
P <sub>0</sub>	Pa	Prozesua hasi aurreko presioa
Q	m <sup>3</sup> /s	Ohantzearen zeharreko likidoaren emaria (Ohantzearen diseinua)
q <sub>e</sub>	kg solutu/ kg ikatz	Orekako adsorbantzia
q <sub>m</sub>	kg solutu/ kg ikatz	Adsortzio maximoa
q <sub>s</sub>	kg solutu/ kg ikatz	Une bakoitzeko adsorbantzia ohantze finkoan
R	J/mol.K	Gasen konstantea
R <sub>k</sub>	m	Likidoaren meniskoaren kurbaduraren erradioa (Kelvin ekuazioa)
r <sub>p</sub>	m	Ikatx partikulen erradioa (Ohantzearen diseinua)
s	-	Solidoa
t	s	Denbora (Ohantzearen diseinua)
T	K	Tenperatura
V	m <sup>3</sup>	Laginen bolumena
V <sub>AK</sub>	m <sup>3</sup>	Inpregnazio kimikoan bihaleen K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> disoluziaren bolumena

$V_b$	$m^3$	Ohantze finkoaren bolumena
$V_f$	$m^3$	Ohantzera elikatutako disoluzio bolumena
$V_j$	$m^3$	Inpregnazio kimikoan erabilitako jatorrizko $K_2CO_3$ disoluziotik hartu beharreko bolumena (prozedura esperimentalak)
$V_M$	$m^3/mol$	Kondentsatutako adsorbatuaren bolumen molarra ( Kelvin ekuazioa)

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Bandosz, T.J. Activated carbon surfaces in environmental remediation. Editorial Elsevier. Amsterdam, 2006.
- Bojner, G., 1973. Thermal and activated carbon treatment. *Water and Waste Treatment* 16 (8), 23–25.
- Bottani, E.J., Tascón, J.M.D., 2008. Adsorption by carbons, 1st ed. Elsevier, Amsterdam.
- Castells, X.E., 2012. Vías de tratamiento y valorización de fangos de depuradora, Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- Grant, T.M., King, C.J., 1990. Mechanism of irreversible adsorption of phenolic-compounds by activated carbons. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 29 (2), 264–271.
- Henry, R.J., Cannon, D.C., Winkelman, J.W., 1974. *Clinical chemistry: Principles and tecnies*, Harper & Row, 2<sup>nd</sup> ed., New York.
- Hubbard, A.T., 2002. *Encyclopedia of surface and colloid science-*, volume 1, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Laternus, F., von Arnold, K., Gron, C., 2007. Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils – false alarm regarding possible problems for food safety. *Environmental Science and Pollution Research* 14 (1), 53–60.
- Leng, C.C., Pinto, N.G., 1997. Effects of surface properties of activated carbons on adsorption behavior of selected aromatics. *Carbon* 35 (9), 1375–1385.
- Oleszkiewicz, J.A. y Mavinic D.S., 2002. Wastewater biosolids: an overview of processing, treatment, and Management. *Journal of Environmental Engineering Science* 1, 75-88.
- Przepiorski, J., 2006. Enhanced adsorption of phenol from water by ammonia-treated activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 135 (1–3), 453–456.
- Rio, S., Faur-Brasquet, C., Le Coq, L., Le Cloirec, P., 2005. Structure characterization and adsorption properties of pyrolyzed sewage sludge. *Environmental Science and Technology* 39 (11), 4249–4257.
- Rio, S., Le Coq, L., Faur, C., Le Cloirec, P., 2006. Production of porous carbonaceous adsorbent from physical activation of sewage sludge: application to wastewater treatment. *Water Science and Technology* 53 (3), 237–244.
- Ros, A., Lillo-Rodenas, M.A., Fuente, E., Montes-Moran, M.A., Martin, M.J., Linares-Solano, A., 2006. High surface area materials prepared from sewage sludge-based precursors. *Chemosphere* 65 (1), 132–140.

Ros, A., Lillo-Rodenas, M.A., Canals-Batlle, C., Fuente, E., Montes-Moran, M.A., Martin, M.J., Linares-Solano, A., 2007. A new generation of sludge-based adsorbents for H<sub>2</sub>S abatement at room temperature. *Environmental Science and Technology* 41(12), 4375–4381.

Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing, K.S.W., 1999. *Adsorption by powders and porous solids*, Elsevier Ltd. Marseille.

Sarmiento, C., Sánchez, J., García, C., Rincón, Y., Benítez A., Ramírez, J., 2004. Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. *Ciencia* 12 (1), 52-63.

Sholl, D.S., Steckel, J.A., 2009. *Density functional theory. A practical introduction*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Snoeyink, V.L., Weber, W.J., Mark, H.B., 1969. Sorption of phenol and nitrophenol by active carbon. *Environmental Science and Technology* 3 (10), 918–926.

Tay, J.H., Chen, X.G., Jeyaseelan, S., Graham, N., 2001. Optimising the preparation of activated carbon from digested sewage sludge and coconut husk. *Chemosphere* 44, 45-51.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Higher Education, New York.

Wena, Q., Li, C., Cai, Z., Gao, H., Chena, L., Zenga, G., Shua, X., Zhao, Y., 2011. Study on activated carbon derived from sewage sludge for adsorption of gaseous formaldehyde. *Bioresource technology* 102, 942-947.

Zhou, J., Wu, J., Liu, Y., Zou, F., Wu, Jian, Li, K., Chen, Y., Xie, J., Ying, H., 2013. Modeling of breakthrough curves of single and quaternary mixtures of ethanol, glucose, glycerol and acetic acid adsorption onto a microporous hyper-cross-linked resin. *Bioresource technology*. 143, 360-368.

### **Web orriak**

[http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/03\\_manual\\_directiva\\_91\\_271\\_cee\\_tcm7-28959.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/03_manual_directiva_91_271_cee_tcm7-28959.pdf) (2014ko maiatzak 9)

[http://www.madrid.org/rlma\\_web/html/web/FichaNormativa.icm?ID=1325](http://www.madrid.org/rlma_web/html/web/FichaNormativa.icm?ID=1325) (2014ko maiatzak 9)

<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora/> (2014ko maiatzak 9)

<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbente> (2014ko maiatzak 9)

<http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> (2014ko maiatzak 9)

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts115.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts115.html) (2014ko maiatzak 11)

<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/> (2014ko maiatzak 12)

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs107.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs107.html) (2014ko maiatzak 13)

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts18.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts18.html) (2014ko maiatzak 13)

<http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/454/11ARTICULODIC.pdf> ( 2014ko maiatzak 13)

<http://webbook.nist.gov/chemistry/> (2014ko maiatzak 15 eta 16)

<http://www.utdallas.edu/~ldg102020/papers/FOA6.ads.pdf> (2014ko maiatzak 18)

<http://www.atomikateknik.com/pdf/Porous%20Materials%20Primer%20gas%20sorption%20calculation%20methods.pdf> (2014ko maiatzak 18)

<http://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspAdsGases.pdf> (2014ko maiatzak 21)

<http://www.reade.com/products/160-phosphate-compounds-powder/9746-bone-char-bone-black-ivory-black-animal-bone-charcoal-animal-charcoal-bone-charcoal-bone-ash-abaiser-bone-black-6-bone-charcoal-ci-pigment-black-9-cas-98615-67-9> ( 2014ko maiatzak 29)

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0076.pdf> (2014ko ekainak 1)

<http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Espectrofotometria.pdf> (2014ko ekainak 3)

[http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es\\_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia\\_de\\_gases.pdf](http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_de_gases.pdf) (2014ko ekainak 3)

[http://www.ismatec.com/int\\_e/pumps/t\\_ecoline/ecoline.htm](http://www.ismatec.com/int_e/pumps/t_ecoline/ecoline.htm)(2014ko ekainak 4)