

Ikatz aktiboaren prestaketa, karakterizazioa eta erabilpena uren arazketan

Unai Iriarte Velasco

Ingeniaritza Kimikoa Saila. Farmazia Fakultatea (UPV/EHU)

Laburpena: Artikulu honetan ikatz aktiboa zer den azaltzeaz gain, bere prestaketa, karakterizazioa eta ezaugarri kimiko eta fisikoei buruzko xehetasunak emango dira. Azken atalean, ikatzaren hautakortasunak duen garrantzia ulertzeko, bi solutu organikorekin egindako saiakuntza batzuk aurkeztuko dira.

Abstract: In this article apart from describing what activated carbon is, details on the preparation, characterization and physicochemical properties are given. In the last section, in order to understand the importance of the selection of the activated carbon, adsorption results for two organic solutes will be presented.

SARRERA

Jada Egiptoarren garaian hainbat hilabetez zehar atsedentzen zuten ura, esekitako solidoak jalkitzeko eta likidoa edangarri egiteko. Sarritan gai mineraleko aterakinak edo landare-aterakinak gehitzen zituzten jalkiera arintzeko. Bestelako metodoak ere ezagutzen zituzten; izatez, ikatz aktiboaren erabilpena jada Kristo aurreko 1550. urtean aurkitu da egiptoar idazkietan. Ondoren, Hipokratesek medikuntza-jardueretan erabiltzen zuela ere jakina da. XVIII. mendean zehar ohiko bihurtu zen uraren uhertasuna garbitzeko harea bidezko iragazketa egitea. Mende horretakoa da hain zuzen ere bibliografia zientifikoan adsortzio fenomenoari buruzko lehen argitalpenetarikoa, Scheele [1] ikerlariak 1773. urtean ikatz aktibo eta gas jario bati buruz egindakoa. Baina terminologia zientifiko gisa ez zen XIX. mende bukaera arte «adsortzio» hitza erabili. Hain zuzen ere, gertatzen diren gainazaleko metaketa hutsa eta elkarrekintza molekularra direlako prozesuak bereizteko. XX. mendearen hasieran iragazketarako material berrien erabilera zabaldu zen, besteak beste, bentonitak, zeolitak eta ikatz aktiboaren erabilera. Horietatik, ikatz aktiboa izan da zalantzarik gabe erabilera gehien izan dituen, gehien bat, industria kimiko, industria farmazeutiko eta elikadura esparruetan. Azken hamarkada hauetan, industria mailako ekoizpenak izugarri hedatu du bere erabilera: azukre-fintzea, gas jarioen arazketa, farma-

zia-industria, alkohol-dun edarien ekoizpena eta industria elektrokimikoa. Honako hauek daude erabilera berrien artean: ingurumen-kutsaduraren aurrezaintza eta hainbat produktu natural eta sintetiko gero eta estuagoak diren purutasun-eskakizunak betearaztea.

Oro har, ikatz aktiboaren erabilera nagusia ezpurutasunen ezabatzea izan da betidanik, bai gas eta bai likido fasean. Ezabatze hori, adsortzio prozesu baten bitartez gertatzen da. Hau da, ikatzaren gainazalak gas edo likido faseko molekulak lotzen ditu van der Waals erakarpen-indarren bitartez, solutua gainazalean metatu eraziz. Solutua kimisortzio bidez ere lotu daiteke; lotura sendoagoa den hau, ikatzaren gainazalean dauden funtzio-taldeetan gertatzen da adibidez. Funtzio-taldeak ikatzaren gainazalari errektibotasuna ematen dioten egitura azpimolekularrak dira. Hauek dira funtzio-talde arruntenak: oxigenodunak (hidroxilo, karboxilo eta karbonilo taldeak), nitrogenodunak (amino taldea) eta sufredunak (sulfuro taldea).

Erabilera-eremu guztietatik, ur-arazketa da hain zuzen ere eskaera handienetarikoa duena. Lehenengo aldiz, Ingalaterran erabili zen, [2] uretatik usaia eta kolorea ezabatzeko. Gaur egun, ohiko jarduera bilakatu da uretatik lehentasunezko kutsatzaileak ezabatzea. Uretan giza jatorriko ehundaka produktu kimiko aurkitu ohi baitira; hala nola, substantzia organikoak (zomorrotik, disolbatzaileak, hidrokarburoak, eta abar), mikro-kutsatzaile organikoak (trihalometanoak, azido haloazetikoak, klorofenolak, mikrozinak, eta abar), eta kutsatzaile inorganikoak (metal astunak, klorito-kloratoak, kloroa, bromatoak, eta abar).

Euskal Autonomi Erkidegoan ur edangarrien gehiengoa gainazaleko ura erabiliz ekoizten da. Arazketa prozesuan ur gordinak dituen hainbat substantzia ezabatu behar dira, besteak beste esekitako solidoak, gai organikoak eta mikroorganismoak. Hainbat kasutan beste zenbait sustantzia kaltegarri ere agertzen dira kontzentrazio baxuetan, jatorri natural zein antropogenikoak.

Gainazaleko uren konposizioa oso aldakorra da, bereziki, gai organikoetan duten eduki eta izaera fisiko-kimikoari dagokionez. Izatez, disolbatutako gai organikoen ezabaketa ez da beti aise lortzen. Ondorioz, beharrezkoa da arazketa metodo egokiak garatzea. Hori hala da batez ere, kalitate handiko ur edangarria ekoiztea baldin bada azken helburua. Horregatik, edateko uren araztegiak (EUA) hainbat arazketa etapa izaten dituzte, bakoitzean kutsadura mota ezberdin bat ezabatzen delarik.

Aurreko emanaldian [3] esan genuen desinfektagarriak gai direla mikroorganismoak ezabatzeaz gain, uraren substantzia humikoak bezalako beste osagai batzuekin erreakzionatzeko ere. Desinfektagarriaren eraginez, makromolekula organiko diren substantzia humikoak apurtu eta beste molekula txikiago batzuk askatzen dira. Mikro-kutsatzaile hauek desinfektarritik datozen kloro atomoak erantsiak dituzte eta desinfekzioaren az-

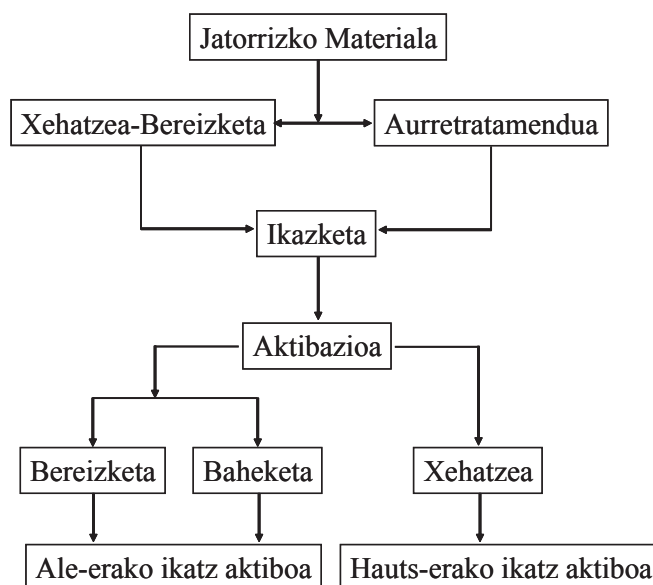
piproduktu (DAP) izenaz ezagutzen dira. Trihalometanoak eta azido haloazetikoak dira talderik ugariak [4]. Toxikotasun-ikerketek gibleko eta giltzurruneko tumoreen agerpenarekin uztartu dituzte, eta bai ugaztunen ugaltze eta garapen-sistemako kalteekin ere [5, 6].

Bi talde nagusitan sailka daitezke ur edangarrietan dagoen DAP-kontzentrazioa murrizteko estrategiak. Alde batetik, azpiproduktuen sorrera saihesten dutenak eta beste alde batetik, jadanik sortu diren azpiproduktuak ezabatzen dituztenak. Ikuspegi praktiko batetik, lehen taldekoak dira metodo egokienak, beti baita hobe aurrezaintzea. Talde honetan hain zuzen, bi prozedura dira nagusi. Lehenik, araztegiaren eragiketa-baldintzak optimizatu egiten dutenak, desinfektagarri mota eta kontzentrazio egokiak aukeratzuz eta ukipen-denbora eta uraren pH-a doitzuz. Bigarren prozeduran, makromolekula organiko aitzindarien ezabaketa hobetzen da desinfektagarria gehitu aurretik. Horretarako, erabili ohi diren arazketa metodoak hurrengoak dira: koagulazio-hobetua, ultrairagazketa, alderantzizko osmosia, eta adsortzioa. Artikulu honek helburu hartzen du adsortzioa egiteko erabiltzen adsorbatzailea, ikatz aktiboa alegia, deskribatzea.

Horretarako hurrengo ataletan zehar ikatz aktiboaren prestaketa, karakterizazioa eta erabilpenari buruzko xehetasunen berri emango da.

PRESTAKETA

Ikatz aktiboa oso porotsua, barne azalera handikoa eta aktibatua izan den ikatza da. 1 irudiak ekoizpen prozesuaren etapak erakusten ditu. Ikatz



1. irudia. Ikatz aktiboaren ekoizpen prozesuaren bloke-diagrama

aktiboak egitura desordenatu eta isotropoa du. Horregatik, prestaketa prozesuan zehar egoera likido edo sasi-likidotik igarotzen diren materialak ez dira egokiak izango, izan ere, berriro solidotzean egitura ordenatua duen ikatza lortuko baita, porotasun txikiko ikatza alegia.

Hasiera batean behintzat, pentsa daiteke karbono proportzio altuko edozein material organiko bihur daitekeela ikatz aktibo. Merkatuan jatorri ezberdineko ikatz aktiboak daude eskuragarri [7, 8]. Lugintzaren albo produktu edo hondakinak: baso-hondakinak, zuhaitz-oskolak, iratzeak, hainbat hazi mota, fruitu azalak edo lastoa. Hainbat industriatako hondakin solidoak: adibidez garagardo edo azukregintzakoak, hondakin-ur araztegi-tako lokatza, erreketaganbaretako errautsak edo zerrautsak. Era berean badira hainbat material natural ere: egurra, turba, lignitoa koko azala, petrolio-kokea edo zuntz naturala. Edozein kasutan, ikatz aktiboa porositate eta barne azalera handiak izateko prestatutako materiala da.

Jatorrizko materiala aukeratu ondoren, bere ikazketa 600 °C inguruan eta baldintza anoxikoetan —hau da, oxigenorik gabe— egiten da. Ondoren, ikatzaren aktibazioa egiten da: izatez, oxidazio partzial bat da eta prozedura fisiko zein fisikoen bidez egin daiteke. Aktibazioa fisikoa da, karbono dioxidoa, airea edo lurruna erabilia aurrekoa baino tenperatura pixka bat altuagoan egiten denean. Aktibazioa prozedura kimiko baten bidez ere egin daiteke, H_3PO_4 , $ZnCl_2$, KOH , $NaOH$, K_2CO_3 disoluzioekin nahastuz eta ondoren, bereizi, garbitu eta atmosfera inertean berotuz.

Oso garrantzitsuak dira ekoizpen-urrats guztiak eta denek eragiten dituzte ikatz aktiboaren ezaugarriak, baina ikazketa prozesua da zalantzarik gabe eraginkorra. Berak dauka ekipamendu garestiena eta baita kontrol-sistema zorrotzena. Ikazketa-labeak izugarri espezializatutako eta bereziki diseinatutako instalazioak izaten ohi dira. Izatez, labe mota bakoitzak ezaugarri berezituak izango dituen ikatz aktiboa ekoiztuko du. Ondoko hauek dira labe mota erabilienak: labe birakorrak, tenperatura anitzeko labeak eta labe fluidizatuak.

KARAKTERIZAZIOA

Ikatx aktiboaren karakterizazioa egitea funtsezkoa da bere ekoizpen prozesuan eta baita erabilera egokiena aukeratzeko garaian. Bere egitura fisikoa zehaztea da karakterizazioaren lehen urratsa; alegia, barne azalera eta porotasuna (poroen tamaina eta banaketa) finkatu behar dira. Zehaztapena ikatzak adsorba dezakeen nitrogenoa neurtuz lortzen da. Adsorbatutako gas kantitatea hainbat metodo ezberdinen bitartez azter daiteke ikatzaren barne azalera zehazteko. Metodo hauen oinarri teorikoa konplexua da [9] eta ez da artikulu honen helburua haietan sakontzea. Dena den, esan beharrekoa da metodo erabilienetarikoa BET ekuazioa dela (Brunauer-Em-

mett-Teller egileen omenez); metodo honek hainbat desabantaila baditu ere [10]. Gehitu beharrekoa da nitrogenoa ez dela erabil daitekeen adsorbato bakarra. Zenbait kasutan, karbono dioxidoa edo n-nonanoa bezalakoak erabiltzen dira mikroporo estuenei dagokien azalera neurtzeko. Meso eta makroporositatea neurtzeko helioa edo merkurioaren adsortzioa erabiltzen da [11].

Barne azalera berdina duten bi ikatz aktibok ekoizpen prozesu ezberdina izan badute, adsortzio-ezaugarri osoki ezberdinak erakutsi ditzakete. Garrantzitsua da, hortaz, bere egitura kimikoa ere ezagutzea. Hau da, ikatzaren gainazalean dauden funtzio-taldeak zehaztu eta zenbatu behar dira. Hauen artean, funtzio-talde oxigenodunak dira garrantzizkoenak. Ahalegin handiak egin dira funtzio-talde oxigenodunen identifikazioa erraz dezaketen analisi-metodoak garatzeko. Azido-base balorazioak, espektroskopia infragorria, X-izpi fotoelektroi espektroskopia (XPS) eta temperatura programatuan egindako desortzioa (TPD) dira metodo ohikoenak [12].

Funtzio-talde oxigenodun gehienak izaera azidokoak dira. Boehm [13] egileak laktona, fenol eta karbonil talde oxigenodunak bereizteko balorazio-prozedura bat garatu zuen, NaHCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH eta NaOC_2H_5 baseak erabiliz. Eragozpen larriak dituen arren, besteak beste alkali molekulen zailtasuna mikroporoetan sartzeko, bere erabilera asko hedatu da.

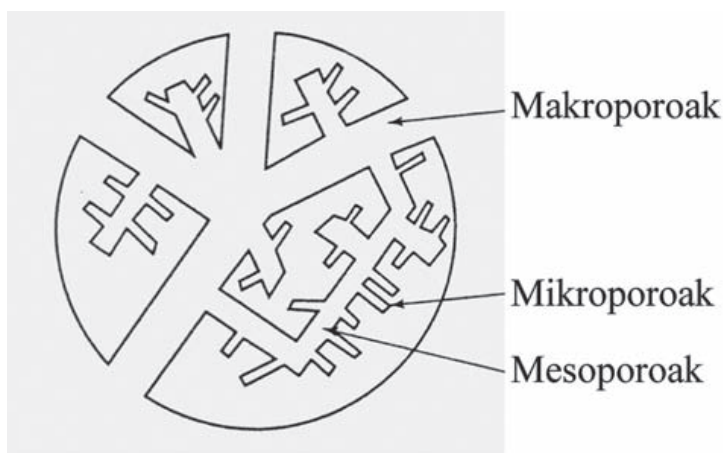
Zero kargako pH-a (pH_{pzc}) ezaugarri garrantzitsua ere bada [14]. Honek, informazioa ematen du ikatzaren gainazalean dauden funtzio-talde azido-base izaerari buruz. Funtzio-talde hauen karga elektrostatikoa pH-aren araberrakoa da. pH_{pzc} da hain zuzen ere gainazaleko karga garbia zero egiten duena. Horrela, jarduteko pH balioa pH_{pzc} baino handiagoa bada, gainazaleko karga garbia negatiboa izango da. $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ bada al-diz, karga garbia positiboa izango da. Honek, agerian uzten du ikatz aktiboaren eta solutuaren arteko elkarrekintza, adsortzio nabarmena reagiten duena

EGITURA FISIKOA

Preziotik at, egitura fisikoa da ikatz aktiboak diamante edo grafitoa-
rekiko duen funtsezko ezberdintasuna, besteak baino barne azalera askoz handiagoa baitu. Horregatik erabili daiteke, hain zuzen ere gas edo likido faseko jariakinak arazteko. Diamantearen kanpoko azalera baka-
rrik erabil daiteke, bere egitura zurrun eta konpaktua dela-eta. Grafitoak, diamanteak baino azalera erabilgarri handiagoa du, bere sasikristal egi-
turari esker eta xaflen izkinei esker. Izan ere, aurpegiak baino askoz ere aktiboagoak dira izkinak. Edozein kasutan, zenbat eta partikulen arteko banaketa handiagoa izan, orduan eta azalera erabilgarri handiagoko mate-
rialia izango da.

Ikatz aktiboaren ezaugarri fisikoak gehien eragiten dituen aldagaia aitzindari modura erabilitako materiala da. Bera aukeratzeko unean hauek hartu behar dira kontuan: eskuragarritasuna, kostua, erresistentzia mekanikoa eta adsortzio-ahalmena. Oro har, egur-hondakinak, koko azalak eta fruitu haziak dira lehengai erabilienak.

Aktibazio prozesuan hainbat karbono atomo desagertzean, materialaren baitan porotasuna garatzen da eta ondorioz, barne azalera kanpoko baino askoz handiagoa egiten da. IUPACek emandako irizpideen arabera, sortutako poroak hiru talde nagusitan sailkatzen dira: mikroporoak, mesoporoak eta makroporoak. Mikroporoetan paretan arteko distantzia 2 nm-tik beherakoa da. Adsortzioa indar handiko loturaren bitartez gertatzen da, bi paretek eragiten baitiote solutuari. Mesoporoak 2-50 nm bitarteko diametroko poroak dira eta makroporoak, 50 nm-tik gorakoak. Adsortzioa gehienbat mikroporoetan gertatzen da baina meso eta makroporoak ere garrantzia handikoak dira. Izatez, hauek solutuaren pasabide dira mikroporoetazko bidean (ikusi 2 irudia). Edozein kasutan, poroen tamaina-banaketa jatorrizko materialaren eta aktibazio-metodoaren arabera gertatuko da. Horregatik, egungo merkatuan ezaugarri oso ezberdineko ikatz aktiboak daude eskuragarri. Adibide gisa, 1 taulan erakusten da hainbat ikatz aktiboren propietateekin batera metileno urdinaren adsortzio-ahalmena. Metileno urdina bezalako tintak ikatz ezberdinen adsortzio-ahalmena erkatzeko erabiltzen dira sarritan. Ikus daitekeenez, barne azalera metro karratu gutxi bazuetatik mila metrotik gorako balioetara hel daiteke. Adsortzio-ahalmena ere nabarmenki alda daiteke. Material bakoitzaren egokitasuna bere poro-banaketaren arabera da erabilera bakoitzerako. Horrela, mikroporotasun handiko material bat oso eraginkorra izan daiteke gas faseko solutuak ezabatzeke, baina meso eta makroporotasun altuak hobesten dira likido faseko molekulen adsortzioa egiteko.



2. irudia. Mikroporo, mesoporo eta makroporo egitura

1 taula. Hainbat materialez egindako ikatz aktiboen ezaugarri fisiko eta kimikoak. Barne azalera: (S_{BET}) m^2/g ; metileno urdinaren adsortzio-ahalmena: (q) mg/g ; disoluzioan metilenoaren hasierako kontzentrazioa: (C_0) mg/l ; kontaktu denbora: (t) ordu

Materiale aitzindaria	S_{BET}	q	C_0	t	pH	Egileak
Egurra	1.345	742	100-3.000	24	7	Iriarte eta lankidak [15]
Egurra	902	1.119	850	120	6,6	Tseng eta lankideak [16]
Labe garaiko errautsak	28	6,4	—	2	6,5-7,5	Jain eta lankideak [17]
Erreketa gasetako errautsak	16	6,4	0,3-3,2	100	—	Wang eta lankideak [18]
Platano azala	23	21	10-120	24	—	Annadurai eta lankideak [19]
Landare zurtoina	1,2	205	100-2.000	120	—	Sun eta Xu [20]
Diatomitak	33	143	45-640	72	—	Shawabkeh eta Tutunji [21]
Bentonitak	28	1.667	100-1.000	3	7,9	Ozacar eta Sengil [22]

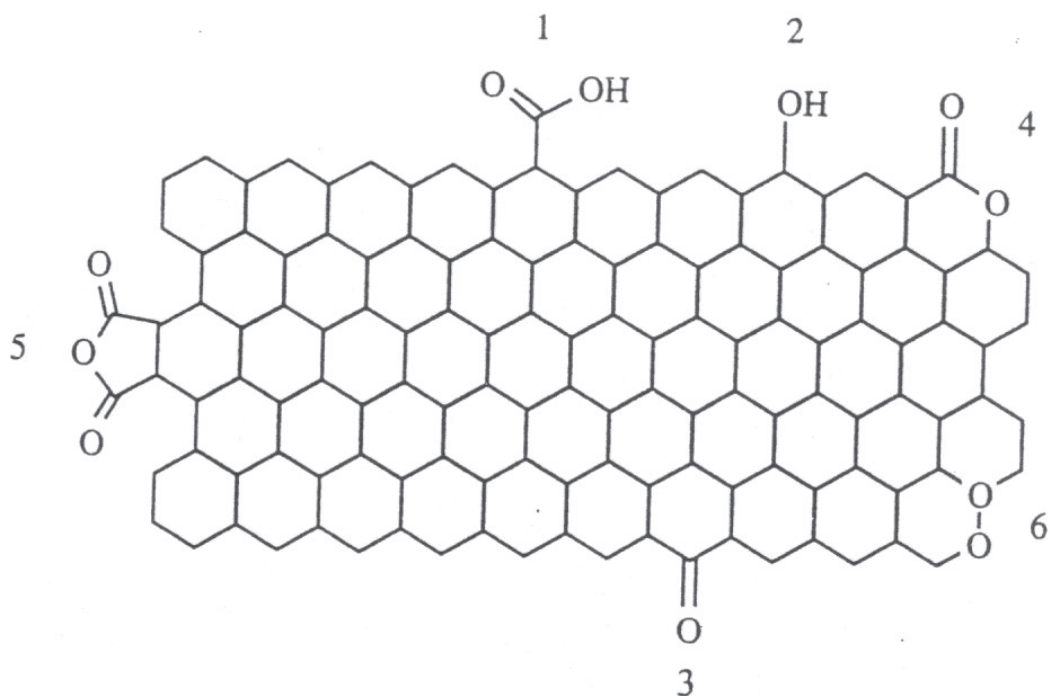
EGITURA KIMIKOA

Betidanik uste izan da ikatz aktiboaren kalitatea bere barne azalera eta porositatearen arabera dela. Egun, jakina da gainazaleko kimikak izugarri eragiten diela adsortzio-ahalmena eta abiadurari. Karbono eta hidrogeno atomoak ez ezik beste zenbait heteroatomoz osatutako funtzio-taldeak aurki daitezke ikatzaren gainazalean. Ikatz aktiboaren gainazala hidrofoboa izan ohi da. Horregatik, solutu ezpolarrak lehentasunez adsorbatzen dira. Errauts eta heteroatomo edukiak gainazalaren izaerari eragiten dio. Adibidez, oxigeno eta nitrogenoak, hidrofobotasuna murrizten dute.

Ikatz aktibo guztiek dute gutxienezko heteroatomo kantitate bat. Lehengai bezala erabilitako materiala, prestaketa prozesua eta aktibazio tratamenduak dira hauen jatorria. Funtzio-talde oxigenodunak ohikoak dira ikatz aktiboaren gainazalean. %20 hartzen da oxigeno-aberastasunaren ohiko balioztat. Sufrea eta nitrogenoa dira kantitate askoz ere txikiagoetan agertzen diren beste heteroatomo batzuk.

Errauts edukia eta konposizioa ere oso aldakorrak dira. Pisutan %1-10 tartekoa izan daiteke. Errautsen gehiengoa silikatoak eta aluminosilikatoak dira; portzentajea txikiagoetan agertzen dira kaltzioa, magnesioa, burdina, potasioa eta sodioa bezalako elementuak. Azkenik, traza moduan ditugu zinka, beruna, kobre, eztainua, boroa eta vanadioa bezalakoak. Substantzia hauek guztiak eragin handia izan dezakete adsortzio prozesuan; izatez, gainazala eta solutuaren arteko elkarrekintza alda dezakete.

Jakina da funtzio-talde oxigenodunek dutela eragin handiena ikatzaren izaera eta adsortzio-ahalmenean. Gainazaleko oxigeno-karbono egituren izaera osoki ezagutzen ez den arren, jakina da funtzio-talde anitz moduan egon daitekeela oxigenoa (ikus 3 irudia). Talde hauek, azido-base izaera ematen diote ikatz aktiboari.



3. irudia. Ikatz aktiboaren gainazaleko funtzio-talde oxigenodun nagusiak: 1-karboxilikoak, 2-fenolikoak, 3-kinonak, 4-laktonak, 5-karboxil anhidridoak eta 6-peroxidoak

ERABILERA MOTAK

Forma fisiko ugaritan erabil daiteke ikatz aktiboa, adibidez, hauts eran, ale eran, estrusionatua edo zuntz eran. Hauts eta ale erakoak dira erabilienak. Hauen arteko desberdintasuna ikatz partikulen tamaina da. Hauts erako ikatz aktiboaren gehienezko tamaina 0,18 mm da. Oso eraginkorra da adsortzioa azkar gertatzen baita. Kutsadura, gertaera jakin batzuetan hobesten da; araztu beharreko jarioa gehitu eta araztegia jadanik badagoen azpiegitura erabili ohi da. Oro har, dekantagailuan egiten da nahasketa eta ondorengo bereizketarako, sarritan beharrezkoa da hareazko iragazketa eragiketa bat. Ezarpenerako malgutasun honek arazketa metodo erakargarri eta merkea bihurtzen du hauts erako ikatz aktiboa, beti ere iraupen laburreko kutsadura gertakizunen aurrean. Adsortzio eraginkorra bideratzen duen arren, prozedura asko garestitzen da luzaroan egin behar bada.

Ale erako ikatz aktiboa deritzo milimetro batetik gorako partikula moduan erabiltzen denari. Ale erakoa, hauts erakoa baino hamar-ehun aldiz handiagoa da. Prozedura ohandze finkoan gauzatzen da. Ohantze honetatik, araztu beharreko jarioa motelki igarotzen da. Ukipen-denbora aldakorra da baina esan daiteke 15 minutukoa dela batez bestekoa. Ale erako ikatz ak-

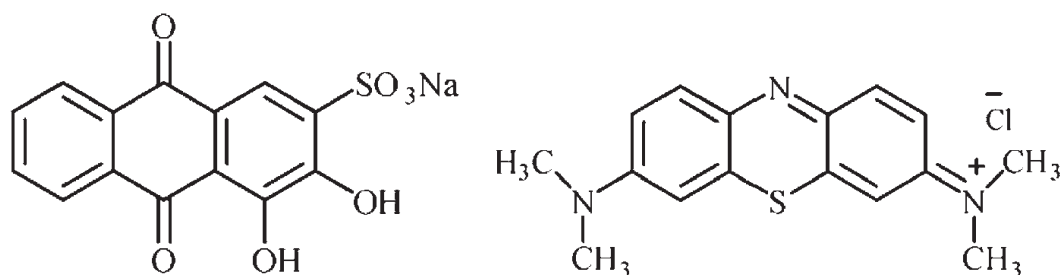
tiboko ohantzeak hasierako diru-ezarpen handiagoa behar du, baina epe luzerako erabiltzen bada ustiaketa kostuak murriztu egiten dira. Ikatz aktiboko ohantzea asetzen denean berritu egin behar da. Ziklo bakoitzaren iraupen ereduak 3-6 hilabete bitartekoak dira, beti ere aplikazio eta prozeduraren arabera.

Ikatzaren jardute era edozein dela ere, behin asetzen denean hiru aukera daude. 1) kontrolpeko zabortege batera bidali, 2) erraustu eta suntsitu ala 3) birsortu. Birsorkuntza ikatz ase berotuz egiten da, adsorbatu diren kutsatzaile organikoak askatzeko. Azken hauek, erreketak edo oxidazio katalitikoaren bidez suntsi daitezke.

IKATZAREN HAUTAKORTASUNA AZTERTZEN

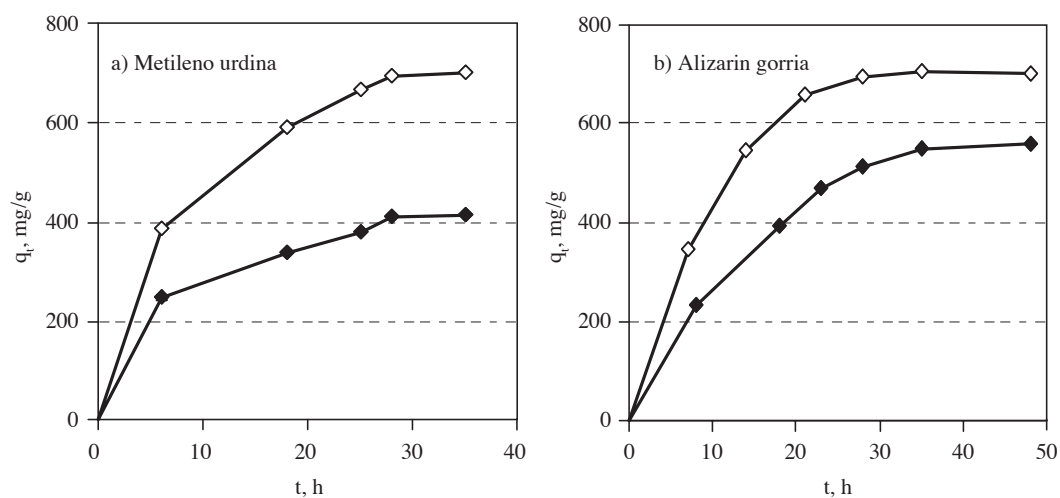
Ikatz aktiboaren erabilera oso hedatuta dago baina gaur egun badago erabilera oso espezifikoetarako ikatz aktiboak garatzeko premia. Izaitez, gero eta zorrotzagoa den legedia [23] betetzeko, nabarmen hedatu da ur-arazketan adsortzio prozesuen erabilpena. Horregatik, funtsezkoa da ikatzaren ezaugarri bakoitzak aplikazio bakoitzean duen eragina aurretik ezagutzea. Aurrekoa, ikatzaren hautakortasunarekin dago lotuta, hau da, uretan dauden solutu guztietatik nahi dena lehentasunez adsorbatzeko gaitasuna. Ur edangarrietan dagoen materia organiko naturala eta zenbait mikrokutsatzaile ezabatzeko erabiltzen da gehien bat, baina hondaki-uren kasuan, ehunka dira adsortzioaren helburu izan daitezkeen kutsatzaileak.

Hautakortasuna kontrolatzeko metodoak garatzea da ikerlarien helburuetariko bat. Egitura kimiko ezaguneko solutu organikoak erabilia egiten dira halako ikerketak. Jarraian bi solutu organikorekin egindako saiakuntza batzuk aurkeztuko dira. Antzeko pisu molekularra baina karga elektrosztatiko ezberdina duten bi tinta aukeratu dira, bat azidoa eta bestea basikoa. 4 irudiak bi tinten egitura kimikoa erakusten du. Ikatz aktibo bi ere erabili dira (*A*- eta *B*-ikatz moduan izendatuak); antzeko egitura kimikoa baina egitura fisiko ezberdinekoak dira azken hauek.



4. irudia. Erabilitako tinten egitura kimikoa

5 irudiak nahaste perfektuzko ganbaran hauts erako ikatzarekin lortu-tako emaitzak erakusten ditu. Nahaste perfektuzkoa esaten zaio, ganbara ondo irabiatuta dagoenean; ikatz hautsa esekita mantentzen da eta nahasketak guztia baldintza homogeenetan dago. *A*-ikatz aktiboarekin, tinta bakoitzerako adsortzio-ahalmen ezberdina neurtzen da: 410 mg metileno urdin eta 550 mg alizarin gorri ikatz gramo bakoitzeko. Aldiz, *B*-ikatz era-biltzean, tintaren izaera kimikoa edozein dela, berdintsu adsorbatzen dira, 695 mg tinta ikatz gramo bakoitzeko.



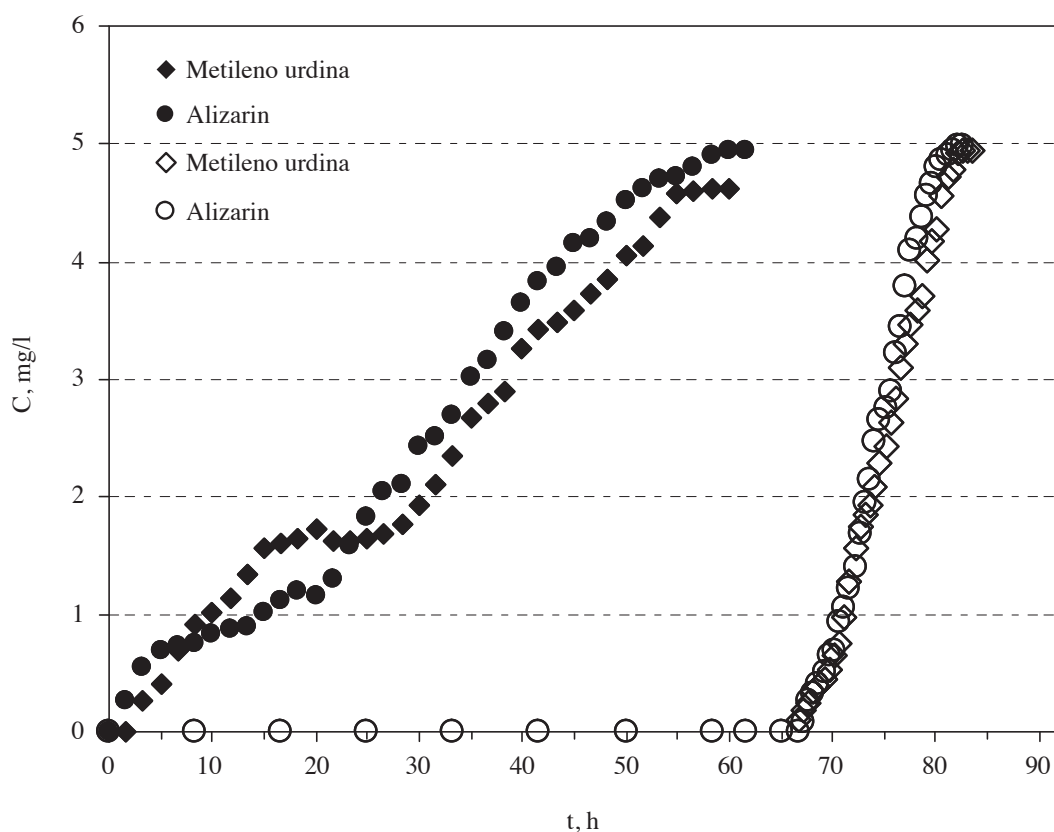
5. irudia. Hauts erako ikatz aktiboaren bidezko adsortzioa. Nahaste perfektuan. $C_{o, tinta} = 100 \text{ mg/l}$, $\text{pH} = 7$, $m_{ikatz} = 0,025 \text{ g}$, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. *A*-ikatz (ikur beltza), *B*-ikatz (ikur hutsa).

Halako emaitzek ikatzaren egitura kimiko eta fisikoan dute jatorri. Egitura fisikoari dagokionez, *B*-ikatz porotasun handiagokoa da. Bere BET gainazala eta poro-bolumena %45 eta %90 handiagoak dira, hurrenez hurren. Honek azaltzen du bere adsortzio-ahalmena nabarmen handiagoa dela. *B*-ikatzaren batez besteko poro-diametroa 1,8 nm-koa da. *A*-ikatzak aldiz poro txikiagoak ditu, eta batez besteko diametroa 1,0 nm-ekoa da. Ondorioz, solutu eta gainazalaren arteko elkarrekintza sendoagoa da eta ezaugarri kimikoek eragin handiago dute adsortzio prozesuan. Horregatik, 5 irudian erakutsi bezala, solutuaren izaera kimikoar alako emaitzek ikatzaren egitura kimiko eta fisikoan dute jatorria. en arabera bere adsortzioa nabarmen aldatzen da.

A-ikatzak arinkiago hartzen du negatiboki kargaturiko alizarin gorria. Behatutako desberdintasunak egitura kimikoan dute jatorria. Ikatzen zero kargako pH-a 10,2 denez, gainazaleko karga-garbia positiboa izango da ($\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ delako). Horrela, negatiboki kargaturiko alizarin gorria (azidoa) eta ikatzaren gainazaleko funtzio-talde positiboaren arteko erakar-

pen-indarrek adsortzioan laguntzen dute. Aldiz, positiboki kargaturiko metileno urdina (basikoa) motelago adsorbatzen da aldaratze-indarren ondorioz.

6 irudian ikatz aktiboko ohandteen apurketa-kurbak ageri dira bi tintetarako. Apurketa-kurbak ohandte-irteeran tinta kontzentrazioaren joatea erakusten du, adsorbatu gabekoa alegia. *A*-ikatzdun ohandteen irteeran behala agertzen da tinta, eta horrek esan nahi du adsortzio-ahalmen txikiagoa duela ohandte mota honek. Apurketa-kurbaren integrazioa eginez ikatz gramo bakoitzeko adsortzio-ahalmena neurtu da. *B*-ikatzak, hurrenez hurren, 64 eta 69 mg hartu ditu tinta kationiko eta anionikorako. *A*-ikatzak aldiz, 26 eta 25 mg hartu ditu. Espero bezala, eta nahaste perfektuan egingdako saiakuntzekin bat, poro-bolumen handieneko ikatzak du adsortzio-ahalmen handiena. Azterturiko jardute-baldintzetarako aldiz, behatzen da ikatzaren egitura kimikoak eragin eskasa duela. Tintaren izaera kimikoa edozein dela, azidoa zein basea, adsortzioa berdintsu gertatzen da ikatz bakoitzarekin.



6. irudia. Ikatz aktiboko dun ohandteen apurketa-kurba. $C_{o, tinta} = 5 \text{ mg/L}$, $m_{ikatz} = 0,6 \text{ g}$, $Q = 1,7 \text{ ml/min}$, $\text{pH} = 6$, kontaktu denbora 4,5 min. *A*-ikatz (ikur beltza), *B*-ikatz (ikur hutsa)

Oro har, ikatz aktiboaren eraginkortasuna honako hauek eragiten dute; 1) eskuragarri duen barne azalerak, non adsortzio fisikoa gertatuko den, eta 2) gune aktibo kantitateak, non adsortzio kimikoa gertatuko den. Are gehiago, ikatzaren egitura fisikoak eta jardute-baldintzek, nabarmen eragiten diote gainazala eta solutuaren artean gertatuko den elkarrekintza kimikoaren garrantziari.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MANTELL, C.L. (1951). *Adsorption*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [2] CHEREMISINOFF, P.N., ANGELO, C.M. (1980). *Adsorption Handbook*. Arbor Science Publishers, Michigan.
- [3] IRIARTE VELASCO, U. (2009). «Desinfekzioaren azpiproduktuak edateko uretan». *Ekaia*, **22**, 145-156
- [4] GOLFINOPOULOS, S.K., ARHONDITSIS, G.B. (2002). «Multiple regression models: A methodology for evaluating trihalomethane concentrations in drinking water from raw water characteristics». *Chemosphere*, **47**, 1007-1018.
- [5] HSU, C.H., JENG, W.L., CHANG, R.M., CHIEN, L.C. (2000). «Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan». *J. Env. Res.*, **85**, 77-82.
- [6] TARDIFF, R.G., CARSON, M.L. GINEVAN, M.E. (2006). «Updated weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products». *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **45**, 185-205.
- [7] GUPTA, V.K., SUHAS (2009). «Application of low-cost adsorbents for dye removal: A review». *J. Environ. Manag.*, **90**, 2313-2342
- [8] MARSH, H. (1989). *Introduction to Carbon Science*. Butterworth-Heinemann, London.
- [9] GREGG, S.J., SING, K.S.W. (1982). *Adsorption, Surface, Area and Porosity*. Academic Press, London.
- [10] POMONIS, P.J., PETRAKIS, D.E., LADAVOS, A.K., KOLONIA, K.M. PANTAZIS, C.C., GIANNAKAS, A.E., LEONTIOU, A.A. (2005). «The I-point method for estimating the surface area of solid catalysts and the variation of C-term of the BET equation». *Catal. Commun.*, **6**, 93-96.
- [11] GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, J.F., ALEXANDRE-FRANCO, M., GONZÁLEZ-GARCÍA, C.M., ENCINAR-MARTÍN, J.M., BERNALTE-GARCÍA, A., GÓMEZ-SERRANO, V. (2009). «Nitrogen adsorption on carbonaceous materials: A comparison between static and dynamic methods». *Powder Technol.*, **192**, 339-345.
- [12] MARSH, H., RODRÍGUEZ-REINOSO, F. (2006). *Activated Carbon*, Elsevier, London.
- [13] BOHEM, H.P. (1966). *Advances in Catalysis*. Academic Press, New York.

- [14] BABIC, B., MILONJIC, S.K., POLOVINA, M.J., KALUDIEROVIC, B.V. (1999). «Point of zero charge and intrinsic equilibrium constants of activated carbon cloth», *Carbon*, **37**, 477-481.
- [15] IRIARTE-VELASCO, U., CHIMENO-ALANIS, N., GONZÁLEZ-MARCOS, M.P., ÁLVAREZ-URIARTE, J.I. (2011). «Relationship between Thermodynamic Data and Adsorption/Desorption Performance of Acid and Basic Dyes onto Activated Carbons», *J. Chem. Eng. Data*, DOI: 10.1021/je1011345.
- [16] TSENG, R.L., WU, F.C., JUANG, R.S. (2003). «Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons». *Carbon*, **41**, 487-495.
- [17] JAIN, A.K., GUPTA, V.K., BHATNAGAR, A., JAIN, S., SUHAS (2003). «A comparative assessment of adsorbents prepared from industrial wastes for the removal of cationic dye». *J. Indian Chem. Soc.* **80**, 267-270.
- [18] WANG, S., LI, L., WU, H., ZHU, Z.H. (2005). «Unburned carbon as a low-cost adsorbent for treatment of methylene blue-containing wastewater». *J. Colloid Interface Sci.*, **292**, 336-343.
- [19] ANNADURAI, G., JUANG, R.S., LEE, D.J. (2002). «Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions». *J. Hazard. Mater.* **92**, 263-274.
- [20] SUN, G., XU, X. (1997). «Sunflower stalk as adsorbents for color removal from textile wastewater». *Ind. Eng. Chem. Res.*, **36**, 808-812.
- [21] SHAWABKEH, R.A., TUTUNJI, M.F. (2003). «Experimental study and modeling of basic dye sorption by diatomaceous clay». *Appl. Clay Sci.* **24**, 111-120.
- [22] OZACAR, M., SENGIL, I.A. (2006). «A two stage batch adsorber design for methylene blue removal to minimize contact time». *J. Env. Manage.* **80**, 372-379.
- [23] Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.