

# Katalizatzaileen prestakuntza industri prozesuetarako

*Javier Ereña\**  
*Astrid Barona\*\**  
*Roberto Aguado\**

\* Ingeniaritza Kimikoa Saila

\*\* Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurugiroa Saila  
Euskal Herriko Unibertsitatea  
644 P.K., 48080 BILBO

**Laburpena:** Prozesu katalitikoak gero eta gehiago erabiltzen ari dira industria eskalan. Prozesu hauetan erabiltzen diren katalizatzaileak arreta handiz prestatu behar dira, solidoak ezaugarri fisiko-kimiko (aktibotasun, hautakortasun ete egonkortasun) onak eduki ditzan, eta erreakzio katalitikoak egoki gerta dadin.

Artikulu honetan industria eskalan masa-katalizatzaileak eta katalizatzaile inpregnatuak prestatzeko normalean erabiltzen diren metodoak deskribatzen dira eta prestakuntza-etapa bakoitza zertan datzan aztertzen da.

## SARRERA

Aspaldiko prozesu katalitikoetan, amoniakoaren sintesian esate baterako, enpirismoa zen nagusi. Gaur egun, berriz, katalizatzailearen egitura eta propietateak nola dauden lotuta aztertzeko, zientziaren eremu ugari (ingeniaritza kimikoak, kimika analitikoak, organikoak eta ezorganikoak, koordinazio-kimikak, gainazaleko kimikak eta abarrek) hartzen dute parte katalisian.

Harrigarria da katalizatzailearen kontzeptua, hots, prozesuaren amaieran ia aldatu barik erreakzio kimikoa azkartzen duen materiala. Hau dela eta, katalisiari buruzko ikerketak gero eta ugariagoak dira, lorturiko ezaguerak Industrian aplikatu ahal izateko.

Industria kimikoak, petrokimikoak eta farmazeutikoak aurrera egiteko, teknologia katalitiko berriak garatu behar dira. Industria hauen aurreapenaren erronka nagusia katalisia dela esan dezakegu. Katalisiaren etorkizuna lehengaien kostearen jaitsieran, lehengai berriak sortzean eta katalizatzaile berriak lortzean datza.

Katalizatzailearen ezaugarririk garrantzitsuenak aktibitatea, hautakortasuna eta egonkortasuna ditugu. Hala ere, hauek ez dira katalizatzaile industrialek izan behar dituzten ezaugarri bakarrak, birsorgarritasuna, erreproduzigarritasuna, egonkortasun termikoa eta mekanikoa, originaltasuna, prezio baxua eta ezaugarri morfologiko egokiak ere izan behar dituzte [1].

Ezaugarri hauek lortzeko, katalizatzailea era egokian prestatu behar da. Solido katalitikoaren prestakuntzak garrantzi nabarmena du eta kasu askotan erreakzio katalitikoaren erreaktibotasuna eta egonkortasuna ere horiexen menpean daude. Hau da, erreakzionatzailearen bihurtze-abiadura eta produktu interesgarriaren sortze-abiadura, erreakzionatzailearen molekulek gune aktiboetara heltzeko duten erraztasunaren araberakoak dira [2].

Beraz, ezinbestekoa da prestaketa-metodo hauek fase aktiboen izearan eta banaketan eta katalizatzaile heterogeneoen morfologian eta ehunduran duten eragina zein den jakitea.

Katalizatzailearen prestakuntzari ekin baino lehen, prozesu industrialetan erabil daitezkeen material katalitikoaren artean hautaketa egin behar dugu, ahal den neurrian material bakar bat eta prestaketa-metodo bat aukeratu ahal izateko.

Industria batek katalizatzailea prestatzeko eduki behar dituen eragiketak 1. taulan ikus daitezke.

**1. taula.** Katalizatzailearen prestakuntzan erabiltzen diren eragiketak.

---

1. Hauspeatzea	7. Itxura aldatzeko eragiketak
2. Bihurtze hidrotermikoak	8. Kiskalketa
3. Dekantazioa, iragazpena, zentrifugazioa	9. Inpregnazioa
4. Garbiketa	10. Nahasketa
5. Lehorketa	11. Aktibazioa
6. Ehoketa	12. Eragiketa bereziak

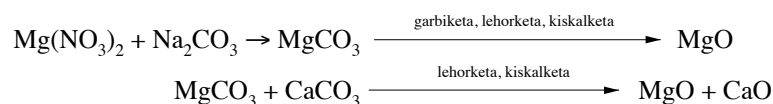
---

Prozesuaren eta industriaren arabera, katalizatzailearen prestakuntza-metodoa desberdina izan daiteke eta, batzuetan, hauxe da hobekien gordezten den sekretua. Industri prozesu gehienetan erabiltzen diren katalizatzaileak masa-katalizatzaileak eta katalizatzaile inpregnatuak dira [3, 4].

Solido guztia fase aktiboa den katalizatzaileari *masa-katalizatzailea* deritzo. Katalizatzaile-mota hau krakeaketa katalitikoan, landare-olioen hidrogenazioan, metanolaren formolerako oxidazioan eta amoniakoaren sintesian erabiltzen da, besteak beste, eta hauspeatzez edo nahasketaz presta daiteke.

Hauspeatze-metodoa, nahi den osagaia disolbaturik duen ur-disoluzioari edo disoluzio organikoari hauspeatzailea gaineratzean datza. Adibide gisa, magnesio nitratoa duen disoluziotik abiatuz eta sodio karbonatoa hauspeatzaile gisa erabiliz, magnesio oxidozko katalizatzailea presta daiteke. Silizezko, aluminazko, eta silize-aluminazko gelak eta zeolitak ere hauspeatzez prestatzen dira.

Beste alde batetik, osagaien gatzak hezean nahastean eta ondoren lortutako oreka lehortzean eta kiskaltzean datza nahasketa-metodoa. Adibide gisa, hurrengoak ditugu:



Bai hauspeatzez bai nahasketaz, solidoa hauts moduan (400 µm baino tamaina txikiagokoa) lortzen da askotan. Partikula-tamaina egokia lortzeko estrusioa edo prentsaketa ezarri behar zaio katalizatzaile hezeari, lehorrari edo kiskaliari.

Bestalde, fase aktiboa euskarriaren gainean ezarrita duen katalizatzaileari **katalizatzaile inpregnatua** deritzo. Euskarriak ehundura, gainazal espezifikoa, erresistentzia mekanikoa, eite fisiko egokia eta aktibotasuna ematen dizkio katalizatzaileari. Katalizatzaile inpregnatuak, besteak beste, gasolinaren erreformatuan, etileno oxidorearen sintesian eta SO<sub>2</sub>-aren eta SO<sub>3</sub>-aren eraldatzean erabiltzen dira.

Katalizatzaile inpregnatua prestatzeko, hurrengo etapei jarraiki behar zaizkie: a) euskarria hustea; b) berau fase aktiboa duen disoluzioz bustitzea; c) soberako disoluzioa kentzea; d) lehorketa, kiskalketa eta aktibazioa elkarren segidan egitea.

Katalizatzaileen prestakuntzan ezinbestekoak dira gehienetan kiskalketa eta aktibazioa. Kiskalketak propietate fisikoak finkatzen ditu. Katalizatzaile azidoen aldetik gune aktiboen izaera aldatzen da kiskalketaren bidez, tenperatura igoz deshidroxilaziozko Bronsted guneak Lewis gune bihurtzen baitira [5]. Katalizatzaile metalikoen aldetik, gehieneko aktibitateari dagokion balentzi egoera lortzeko, oxidazioa edo erredukzioa egiten da.

## HAUSPEATZEZ PRESTATURIKO MASA-KATALIZATZAILEAK

Masa-katalizatzaileak prestatzeko metodorik erabilienak hauspeatzea eta nahasketa ditugu. Segidan, hauspeatze-metodoan erabiltzen diren etaparik garrantzitsuenak erakutsiko dira. Etapa hauetako batzuk nahasketa-metodoan ere erabil daitezke.

## **1. Hauspeatzea**

Lehenengo etapa honetan fase aktiboa duen gatza disolbatu egin behar da eta ondoren hauspeatzaile baten bidez fase aktiboa hauspeakin bilakatu. Adibide gisa, sintesi-gasetik metanola lortzeko erabiltzen den CuO-ZnO-zko katalizatzailea egiteko, kobre nitratoa eta zink nitratoa uretan disolbatu behar dira eta ondoren agente basikoa (amoniakoa, sodio karbonatoa, sodio bikarbonatoa) erabiliz fase aktiboaren solidoa lortzen da.

Katalizatzailearen prestakuntzaren lehenengo etapa honetan katalizatzailearen ezaugarriak finkatzen direnez, gatzten izaera eta hauspeatzeko erabiltzen diren agenteen izaera, osagaien kontzentrazioa, pH-a, tenperatura eta denbora kontrolatu behar dira zehaztasun handiz.

Hauspeakina katalizatzailearen aurrekaria da. Aurrekariaren homogeneotasun atomikoak egokia izan behar du, katalizatzaileak osaera eta egitura kimiko egokiak eduki ditzan. Etapa honen amaieran hauspeakin kristaldu liofobikoak edo gel moduko hauspeakin liofilikoak agertzen dira.

### *1.1. Kristal-hauspeakinak*

Porositate handia ez duten partikula ordenatuak dira eta batzuetan H<sub>2</sub>O-a eta NH<sub>3</sub>-a bezalako molekulak dituzte barnean. Katalizatzaile hauen partikula-tamaina mikrometro baten eta mikrometro hamarreko batzuen artean dago eta azalera espezifikoa baxua izaten da. Talde honetan kobalto molibdatoa (CoMoO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O · nNH<sub>3</sub>) dugu, esate baterako.

Kristal-hauspeakinak lortzeko, fase aktiboa duen disoluzio gainasea eskuratu behar da eta ondoren, kristalen nukleazioa eta haztea gertatuko da.

Jatorrizko disoluzioan kristal-hazi txikien agerpenari nukleazioa deritzo. Nukleazio homogeneoan, disoluzioan bertan dauden ioien edo molekulen arteko elkarrekintzaz sortzen dira kristal-haziak. Erabiliena den nukleazio heterogeneoan, berriz, disoluzioari tamaina txikiko solidoak gehitzen zaizkio, partikulak hauspeatzeko beharrezkoa den energia murrizteko. Honen ondorioz, solido txikien inguruan partikulak hauspeatzen dira. Solido hauek ezpurutasunak, hauspeatze-sistemaren paretak edo nahita gehituriko material geldoak izan daitezke.

Nukleoen haztea solidoaren eta jariakinaren faseartean gertatzen den prozesu fisiko-kimikoa da. Partikula kristalinoen tamaina, nukleazio-abiadura zati hazte-abiaduraren erlazioaren araberkoa da. Zenbat eta erlazio hau altuagoa izan, orduan eta kristal txikiagoak lortzen dira.

### *1.2. Gelak*

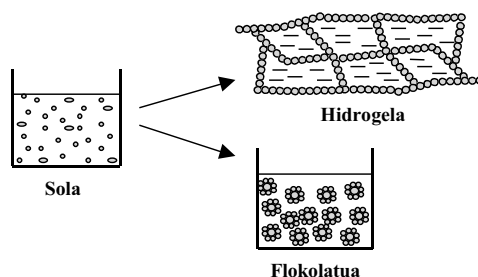
Gelak egitura amorfoa duten hauspeakinak dira, talde honetan hidrogelak eta flokuluak daude. Bai hidrogelak bai flokulatuak lortzeko fase

aktiboaren sola izan behar dugu. Sol honetan, tamaina desberdina duten eta polimerizazio eta kondentsazio-erreakzioen bidez sortzen diren mizelak ( $5\ \mu\text{m}$ - $100\ \mu\text{m}$ -en artekoak, silizearen kasuan) bananduta daude, karga elektrikoek mizelen koagulazioa eragozten baitute.

Silize-gelaren kasuan, esaterako, disoluzioan dagoen sodio silikatoari azidoa gaineratuz, azido silizikoa lortzen da. Ondoren, azido silizikoa polimerizatu egiten da eta hiru dimentsioko sarea osatzen du. Azkenik, azalean karga negatiboa duten mizelak sortzen dira eta partikulen aglomerazioa eragozten duten anioiez eta katioiez inguratuta egoten dira. Ondoren, pH-aren murrizteak ioien geruza bikoitzaren tamaina txikitu eta gelaren formazioa bideratzen du.

Hidrogela mizela hauen hiru dimentsioko sarearen ondorioz barnean ur-molekulak harrapatuz sortzen da. Sareketa-prozesu hau astiro-astiro gertatzen da eta gela sortzen ari den denbora hasierako gatzaren izaeraren, mizelen kontzentrazioaren, tenperaturaren, disoluzioaren ioi-indarraren, eta, batez ere, pH-aren arabera da.

Bestalde, flokuluak lortzeko mizelen karga elektrikoak murriztu edo neutralizatu egin behar dira. Ondorioz, mizelen artean Van der Waals indarrak agertzen dira eta koagulazioa gertatzen da. Flokulazioa azkar gertatzen da disoluzioan eta ioien kontzentrazioaren eta pH-aren bidez kontrolatzen da normalean. Hidrogelen eta flokulatuen osiera 1. irudian ikus daiteke.



**1. irudia.** Hidrogelen eta flokulatuen osiera.

## **2. Bihurtze hidrotermikoak**

Bihurtze hidrotermikoetan osiera egokia duen disoluzioari solidoaren kantitate txikia gehitzen zaio, disolbatzen den substantzia solidoaren barrura barreiatzen da eta, azkenik, hasierako solido disolbatuaren desberdina den osagaia hauspeatzen da. Etapa hauek guztiak  $100$ - $300\ ^\circ\text{C}$  tartean egiten dira. Bilakaera hidrotermikoek solidoaren ehunduraren eta egituraren eraldatzea eragiten dute.

### 3. Dekantazioa, iragazpena eta zentrifugazioa

Eragiketa hauen bidez fase solidoa fase likidotik bereizten da. Kristal-hauspeakinekin erraz egiten dira, flokulatuekin nekez, eta hidrogelekin ez dira erabiltzen.

### 4. Garbiketa

Solidoa hauspeatzearen bidez lortzen bada, garbiketa ia beti egin behar da, hurrengo helburuak betetzeko asmoz:

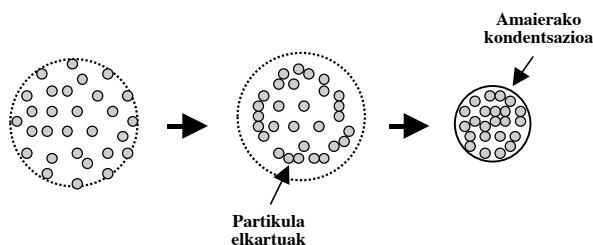
- poroetan eta partikulen arteko hutsuneetan geratzen den likidoa urarekin trukutzen da, baliogabeak edo pozointsuak diren solutuak kentzeko.
- adsorbatuta dauden molekula edo ioiak, disoluzioen bidez desorbatzen dira, katalizatailearen aktibotasuna hobetzeko.
- ioi pozointsuak trukatu egin daitezke, ondorengo kiskalketaren bidez erraz deskonposa daitezkeen ioiak solidora sartuz.

### 5. Lehorketa

Solidoaren poroetatik ura edo disolbatzailea kentzean datza lehorketa. Kristal-osagaiei erraz egin dakieke eragiketa hau. Hala ere, ur kantitate handia galtzen denean, eragiketa konplexua da eta era bitan gerta daiteke, hots, lehorketa arruntaz eta lehorketa partikulatiboaz.

#### 5.1. Lehorketa arrunta

Lehorketa hau labean egiten da, 100-200 °C-ren artean eta bihurtze fisiko-kimikoak eta fisiko-mekanikoak direla eta, erabat aldatzen da egitura.

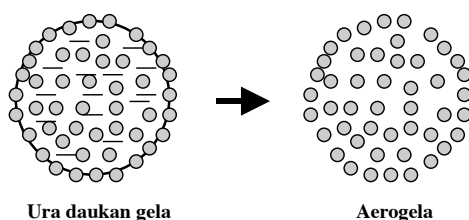


2. irudia. Gel lehorraren eratzea.

Lehorketa arruntaren ondorioz agertzen den produktuari xerogela edo gel lehorra deritzo. Partikularen bolumen osoak konstante dirau eta, honen ondorioz, lehorketa gertatu ahala azala gutxi aldatzen da eta poroen bolumena, ordea, nabarmen jaisten da. 2. irudian xerogelaren eratzearen etapak ikus daitezke.

### 5.2. Lehorketa partikulatiboa

Uraren tenperatura kritikoa baino tenperatura altuagoetan edo hutsean eta tenperatura baxuetan ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  tartean) lan eginez, indar kapilarak ezabatu egiten dira eta oso porositate altua duen solidoa (aerogela deritzona) agertzen da, 3. irudian ikusten den bezala.



**3. irudia.** Aerogelaren eratzea.

## 6. Kiskalketa

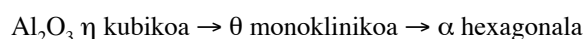
Etaparen bidez katalizatzaileari tratamendu termikoa ezartzen zaio ingurune berezian. Normalean erreakzio katalitikoarena eta birsorrearena baino tenperatura altuagoa erabiltzen da kiskalketa egiteko.

Kiskalketaren helburuak hurrengoak dira:

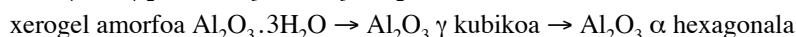
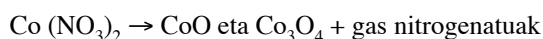
- fase aktiboaren eta euskarriaren egitura egokia lortzea,
- gainazalaren azalera eta poroen bolumen egokiak eskuratzea,
- erresistentzia mekaniko egokia lortzea.

Bestalde, kiskalketan zehar gertatzen diren bilakaera kimikorik eta fisiko-kimikorik garrantzitsuenak hurrengoak dira:

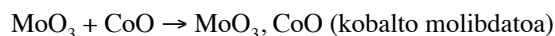
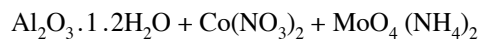
- a) substantzien deskonposizioaren eta hegazkortasunaren bidez agertzen den egitura makroskopikoa sortzea,
- b) sinterizazioaren bidez ehundura eta egitura-aldaketak gertatzean, kristal txikiak kristal handi bihurtzea,



- d) deskonposizio termikoko erreakzioak, agente aktiboak, agente aktiboen aurrekariak edo gas-produktuak ematen dituztenak,



- e) konposatu hegazkorrak ezabatuz edo ezabatu gabe gertatzen diren egituraren eta ehunduraren aldaketa eragiten duten sintesi-erreakzio termikoak,



Beste aktibazio-tratamendu batzuk ere askotan egiten dira kiskalketa egin ondoren, erredukzioa edo sulfurizazioa esaterako. Fase aktiboak oxidazio edo erredukzio egoera mugatuan egon behar badu, aktibazio-etapa ezinbestekoa da. Kromoak, esate baterako, portaera desberdina duten sei balentzi egoera ditu. Polimerizazio-erreakzioetan Cr (VI)-a oxido moduan baino ez da aktiboa. Balentzi egoeraren arabera katalizatzaile metalikoak portaera desberdina du eta, beraz, H<sub>2</sub>-aren edo O<sub>2</sub>-aren korronteak ohantze katalitikoaren tenperatura egokian zeharkatu behar du, katalizatzaileak balentzi egoera egokia har dezan.

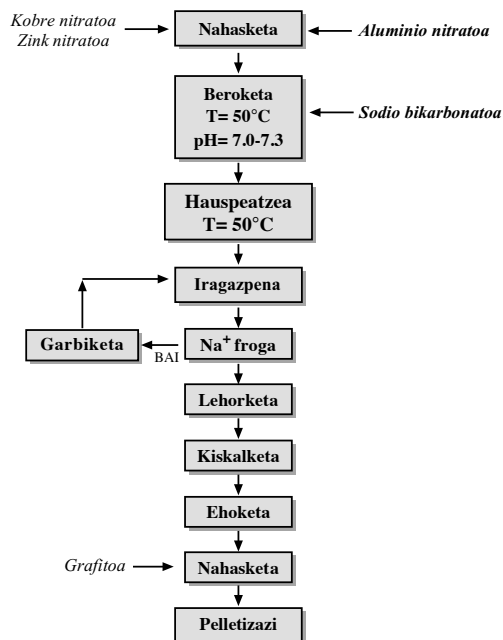
Katalizatzailea gel-motakoa bada, oxidazio-egoera ez da kontrolatu behar den parametroa. Hauspeakin amorfoen kasuan, aktibazioa tenperatura eta denbora egokietan eta gas geldoarekin egiten da, Bronsted eta Lewis gune azidoen arteko proportzioa egokia izan dadin.

## 7. Konformazioa

Kiskalketak eitearen aldaketa nabarmena eragiten badu, aurretik konformaturiko katalizatzailearen emaitzak galdu egiten dira. Hau katalizatzaile kristalduen kasuan gertatzen da eta, beraz, kiskali ondoren ematen zaie itxura. Kiskalketak ehundura gehiegi aldatzen ez badu, konformazio-eragiketa katalizatzailea kiskali baino lehen egin daiteke.

Konformazio-etapen artean pelletizazioa dugu. Katalizatzailezko orearen estruzioaren bidez pellet zilindrikoak lortzen dira, erreaktore heterogeneoan presio-galera txikia izan dadin.





**4. irudia.** CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zko katalizatzaile metalikoaren prestakuntza-etapak.

Hauspeatze prestaturiko katalizatzaileen adibide gisa, sintesi-gasa metanol bihurtzean industri eskalan erabiltzen den CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zko katalizatzaile metalikoaren prestakuntza-etapak 4. irudian erakusten dira.

## INPREGNAZIOZ PRESTATURIKO KATALIZATZAILEAK

Metodo hau fase aktiboa euskarrian inpregnatzean datza. Gainera, etapa hauxe da inportanteena katalizatzaile inpregnatua aktiboa eta hautakorra izan dadin. Gainerako etapak (lehorketa, kiskalketa eta aktibazioa) hauspeatzezko katalizatzaileetan bezala egiten dira eta tresneria bera erabili behar da horretarako.

Euskarriak amaierako katalizatzaileari eitea, ehundura eta erresistentzia mekanikoa ematen dizkio. Gainera, aurrekariak, hau da, fase aktiboa eramaten duen gatzak, disolbakorra izan behar du disolbatzaile inpregnatzailean. Katalizatzaile inpregnatua lortzeko egin behar diren etaparik garrantzitsuenak hurrengoak dira:

## 1. Disoluzio aurrekariak euskarria bustitzea

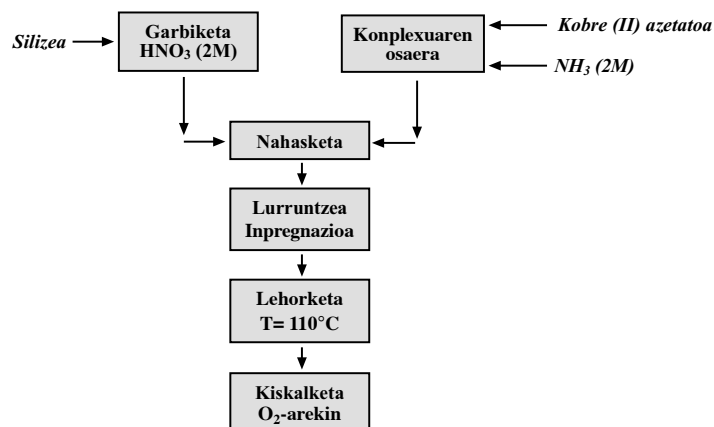
Disoluzio aurrekaria eta euskarria hezetan elkar jartzean, disoluzioa euskarriaren poroen barrura sartzen da eta fase aktiboa era homogeneoan banatzen da.

Teorian, disoluzioaren kontzentrazio bera lortu behar da poroen bolumen osoan. Hala eta guztiz ere, likatasun baxuko disolbatzailea solutua baino azkarrago barreia daiteke eta inpregnazioa homogeneoa izateko denbora luzez egon behar da.

Sar daitekeen fase aktiboaren kantitaterik handiena, disolbatzailearen eta euskarriaren poroen bolumenean fase aktiboaren gatzak duen disolbagarritasunaren arabera da. Inpregnazioa egiteko, euskarria erabat edo partzialki estal daiteke disoluzio aktiboz. Inpregnazioan zehar kontrolatu behar diren eragiketa-baldintzak dira tenperatura (gatzak disolbarkortasuna handitzen baitu eta soluzioaren likatasuna murrizten baitu), agente bustitzaileak eta bustitze-denbora. Inpregnazioan garbiketarik ez da egiten gehienetan, euskarriak fase aktiboa gal ez dezan.

## 2. Lehorketa eta kiskalketa

Lehorketaren bidez fase aktiboa euskarriaren poroetan kristaltzen da eta ur soberakina lurrundu egiten da. Euskarriaren barnean gertatzen den kristaltze hau eta hauspeatzearen bidez sorturiko katalizatzaileetan gertatzen dena, antzekoak dira. Hala ere, disoluzioaren eta euskarriaren artean



5. irudia. CuO-SiO<sub>2</sub>-zko katalizatzailearen prestakuntza-etapak.

dagoen gainazalaren azalera askoz handiagoa da inpregnazioan. Inpregnazioan ukipen-gainazala hain handia denez, nukleazio heterogeneoa faboraturata dago kanpoko solidorik sartu gabe. Beraz, nukleazio-abiadura hazte-abiadura baino askoz ere azkarragoa da eta agertzen diren kristalak oso txikiak izaten dira. Hau dela eta, gune aktiboen kopurua eta, ondorioz, katalizatzailearen aktibotasuna, handiak izaten dira.

Lehorketa astiro-astiro egin behar da, fase aktiboa era homogenezan bana dadin. Kiskalketari dagokionez, katalizatzaile inpregnatuen kiskalketa hauspeatzez lorturikoena baino errazago egiten da, euskarriak erresistentzia mekanikoa handiagoa baitu.

Hauspeatzeko katalizatzaileetan gertatzen den bezala, ondorengo etapa solidoaren aktibazioa (erredukzioa, oxidazioa edo sulfurizazioa) da normalean. Inpregnazioz prestatutako katalizatzaileen adibide gisa, CuO-SiO<sub>2</sub>-zko katalizatzailearen prestakuntza-etapak 5. irudian ageri dira era eskematikoan.

## **KATALIZATZAILEAREN PRESTAKUNTZA INDUSTRIAN**

Industri eskalan hauspeatzea eta inpregnazioa prestaketa-prozesuaren hasieran egiten dira beti eta kiskalketa eta aktibazioa azken etapak izaten dira. Prestakuntzan zehar etapa batzuk errepikatu egin behar izaten dira baina azken kiskalketa azken lehorketa egin ondoren gertatzen da beti. Hala ere, etapa batzuen ordena aldatu egin daiteke katalizatzailearen arabera. Bestalde, katalizatzailea lortzeko prestaketa-prozesu ugari egin daitezke, osararen eta nahi diren produktuen arabera.

Oro har, katalizatzailearen industri mailako fabrikazioan hurrengo aspektuak hartu behar dira kontuan:

- industriak ikerkuntzarako eta garapenerako saila izan behar du katalizatzaile berriak garatzeko, katalizatzailearen ezaugarriak hobetzeko eta produkzioaren kosteak murrizteko.
- ikerkuntzarako eta garapenerako sailak zein den erabili behar den katalizatzaile egokiena esan ondoren, solido hori eskuratzeko beharrezkoak diren lehengaiak ditugun ala ez eta, ez baditugu, lehengai horiek lortzeko iturririk egokienak zeintzuk diren jakin behar du. Fase aktiboa, euskarria, sustatzailea eta inhibitzailea lortzeko beharrezkoak diren lehengaiak aztertu behar dira.
- katalizatzaileak fabrikatzeko premiazkoa da kalitatearen kontrola egitea, gure katalizatzaileak ezaugarri egokiak dituen ala ez jakiteko.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] BARONA, A., EREÑA, J., 1997. «Katalizatzaile solidoak eta euren erabilera industria kimikoan», *Ekaia*, **6**, 95-107.
- [2] DEROUANE, E.G., 1998. *A molecular view of heterogeneous catalysts*, De Boeck & Larcier Ed.
- [3] FULTON, J.W., 1986. «Making the catalyst», *Chemical Engineering*, **7**, 59-63.
- [4] KUNG, H.H., KO, E.I., 1996. «Preparation of oxide catalyst supports: a review of recent advances», *The Chemical Engineering Journal*, **64**, 203-214.
- [5] EREÑA, J., BARONA, A., AGUADO, R., 1997. «Katalizatzaile solidoen azidotasunaren neurketa», *Ekaia*, **7**, 141-152.