

CIÈNCIA

ANY V

REVISTA CATALANA

GENER

FEBRER

NÚM. 35

DE

DE 1930

CIÈNCIA I TECNOLOGIA

PERTENECE A LA BIBLIOTECA
DEL
ATENEO BARCELONES

REÏNES SINTÈTIQUES

EL concepte de reïna artificial o sintètica no està ben especificat, cosa molt natural si es té en compte que el de reïna natural no ho està del tot, més no trobant-se, encara, la indústria d'aquells productes en ple desenvolupament.

En un sentit estricte, reïnes artificials són productes de condensació del formol amb productes aromàtics, generalment fenols. Ara bé, també podrien encloure's dins el mateix epítet, els compostos obtinguts de les reïnes naturals per tractaments diversos, els quals són els que s'empren en la indústria de les laques i vernissos en substitució d'aquelles, per exemple: reïnat de Mn, de calci, ester glicèric de la colofònia, etc., dels quals no parlarem per no interessar directament al nostre tema.

Una de les primeres indicacions, referents a la manera com reaccionen els fenols i aldehids formant una reïna (producte que no era el fi de la reacció, sino un compost secundari que no més feia nosa), fou donada per Adolf BAEYER en parlar d'una substància aglutinant, formada en tractar una barreja dels cossos citats per l'àcid sulfúric concentrat. Més endavant, Ad. CLAUS i E. TRAINER², obtingueren reïna fent reaccionar una molècula d'acetaldehid i dues molècules de fenol, en presència de ClH. KLEBERG pogué observar que sota l'acció del ClH concentrat, una barreja de formol al 40 % i fenol, s'escalfava espontàniament, formant-se una massa viscosa que després es solidificava. Aquest producte era insoluble en

¹ Ber. 5. 25. (1872).

² Ber. 19. 3004, 3009 (1886).

àlcalis, i tots els dissolvents ordinaris no més n'absorbien indicis; malauradament, KLEEBERG deixà la investigació per la dificultat que trobà en voler purificar la reïna obtinguda.

També HOSAEUS anuncià per notícies rebudes, segons ell, de TOLLENS, la formació de reïnes amb la reacció de KLEEBERG.

Aquests autors foren els primers que designaren el producte reïnós resultant de l'acció entre fenols i aldehids; però sempre per a ells fou un subproducte molest i per al qual no preveïen cap aplicació pràctica i molt menys aleshores en què una de les substàncies reaccionants (el formol) resultava bastant car.

SMITH³, fou el primer qui donà una aplicació tècnica a la reïna industrial; en una patent alemanya explica un procediment d'obtenció d'un substitut de l'ebonita, com a isolant i per a altres objectes, caracteritzat perquè un polímer del formol barrejat amb àcid fènic i oli de fússel saturat de gas clorhídric forma una massa que es pot emmotllar. Com que en el procediment KLEEBERG la reacció és molt ràpida i tumultuosa, ço que fa difícil que els productes siguin exempts de pores, SMITH intentà moderar-la, fent dissoldre les primeres matèries en alcohol metílic o amílic. A més, com hem vist, substituï el formol pels seus polímers i també per l'acetaldehid i acetalparaldehid. Segons el mateix autor, l'alcohol no sols obra com a dissolvent, sinó que entra a formar part de la reacció. L'inconvenient més gran d'aquest mètode consisteix en què una vegada emmotllat el producte s'ha de dessecar a 100°, per tal d'expulsar el dissolvent, operació que dura de 10 a 30 hores; com pot preveure's fàcilment, l'objecte experimenta, aleshores, una forta contracció, que produeix esquerdes i projeccions, que fan quasi impossible un bon emmotllat.

Uns anys més tard (1902), A. LUFT obtingué la patent alemanya número 140552 per a "Un procediment per obtenir masses plàstiques". La patent ve a ésser una repetició de la de SMITH, amb la sola variant que el compost format el dissol en acetona, alcohol, etc., i aleshores l'emmotlla, evaporant després el dissolvent. La mateixa patent enclou dues modificacions: una d'elles, consistent a emprar glicerina per a la solució de la massa per tal d'obtenir, així, un producte de més duresa; i l'altra a afegir durant la preparació o ja en la massa formada, substàncies com càmfora, cautxú, a fi d'augmentar la plasticitat.

LUFT es trobà amb els mateixos inconvenients que SMITH i KLEEBERG, obtenint productes bastant fràgils, per la qual cosa aquest mètode tampoc no tingué aplicacions industrials.

³ Patent alemanya núm. 112685. (1899).

Als treballs descrits seguien unes investigacions de FAYOLLE ⁴, per a la recerca d'un substitut de la gutaperxa, fent la condensació amb SO_4H_2 i grans quantitats de glicerina.

En 1905 aparegué la patent alemanya núm. 173990, de W. STORY, el qual feia la condensació en refrigerant de reflux, fins a adquirir la massa una consistència greixosa: aleshores, es cou i evapora, i quan s'ha espesseït, es desseca a 80° , fins a enduriment complet. Després STORY introduí una modificació al mateix sistema, segons la qual cobria la substància amb una capa d'oli (és a dir operant en absència d'aire), per produir productes més clars, o bé barrejava petites quantitats de sals metàl·liques, matèries colorants, a fi de donar diferents coloracions. Com hom pot notar, STORY no fa actuar dissolvents ni agents de condensació; sols empra una gran quantitat de fenol (5 parts d'àcid fènic per 3 parts de formol al 40 %).

Amb molt bona intenció, reconeix en unes patents addicionals els defectes del seu mètode; un dels principals és el temps llarg que requereix la condensació i l'enduriment de la massa, i, sobretot, el preu elevat dels motllos i aparell, que fan el procediment antieconòmic.

L'objecte dels procediments anteriors era la fabricació de masses plàstiques i objectes emmotllats (reïnes insolubles); ara, anem sols a indicar breument algunes maneres de formació de substituïts de la goma laca, és a dir, de productes solubles.

BLUMER condensa el fenol i el formol en proporcions moleculars i a temperatura que coincideix amb el punt d'ebullició de la barreja reaccionant. Empra per a la condensació oxiàcids orgànics (especialment àcid tartràtic), dissolts en la solució aquosa del formol. La reïna obtinguda és soluble en alcohol i acetona; però, segons l'autor, molt poc en líquids alcalins. Per escalfaments successius es pot transformar en reïna insoluble i infusible.

DE LAIRE obté alcohols-fenols partint de fenols i formol en presència d'àlcals, reïnificant-los a temperatures superiors a 100° i preferentment al buit.

També la *Badische Anilin und Soda Fabrik* preparà una substància similar a les reïnes naturals, que podia emprar-se en la fabricació de laques. És un mètode original en el qual el fenol és substituït per un hidrocarbur —la naftalina—, en proporcions establertes (1 mol de naftalina per 1/2 o menys de formol), i en presència d'àcids. L'acció de l'àcid sulfurós sobre una barreja de fenols i formol dóna compostos com els anteriors ⁵.

⁴ Patents franceses n.º 335584 (1903) i 341.013 (1904).

⁵ *Sarasohn*, p. a. n.º 219570 (1908).

Tots els sistemes descrits no donaren resultat degut als greus inconvenients que presentaven, i fins als treballs de L. H. BAEKELAND, no s'assoliren procediments econòmics, que transformaren una senzilla reacció de laboratori en una indústria múltiple, de radi d'acció extens i avui dia bon troç desconegut.

Les primeres investigacions de l'esmentat autor, foren publicades amb el títol "Bakelita, una nova reina sintètica", a la revista *Chemiker Zeitung*⁶. Una de les millors més importants de BAEKELAND, fou la d'utilitzar com agents de condensació bases, en quantitats limitades, com les següents: bases orgàniques, amides d'àcids dèbils, hidròxids i carbonats de metalls alcalins, hidroxilamina, amines orgàniques, i també sals que per hidròlisi puguin donar productes bàsics, com cianur de K, bórax, acetat de sodi, etc.

La *Bakelite Gesellschaft* també operava condensant amb sals neutres o de reacció alcalina. Aquestes substàncies fan que el procés de condensació sigui ràpid i al mateix temps regulable. Les altres fases de l'operació es resolen de manera tècnicament satisfactòria degut a una patent de BAEKELAND, en la qual indica l'ús simultani del calor i de la pressió i l'agregació de matèries de càrrega, al començament o a mitja operació.

La primera innovació citada suprimí els inconvenients que hem vist en els procediments de KLEEGERG, SMITH, STORY, ocasionats per la llargada de l'enduriment, el qual segons BAEKELAND es pot reduir a 1-2 hores, treballant a 160-180°.

La casa KNOLL & C.^o escurçava el temps d'enduriment, mitjançant l'acció d'àcids que s'afegien quan era iniciada la condensació.

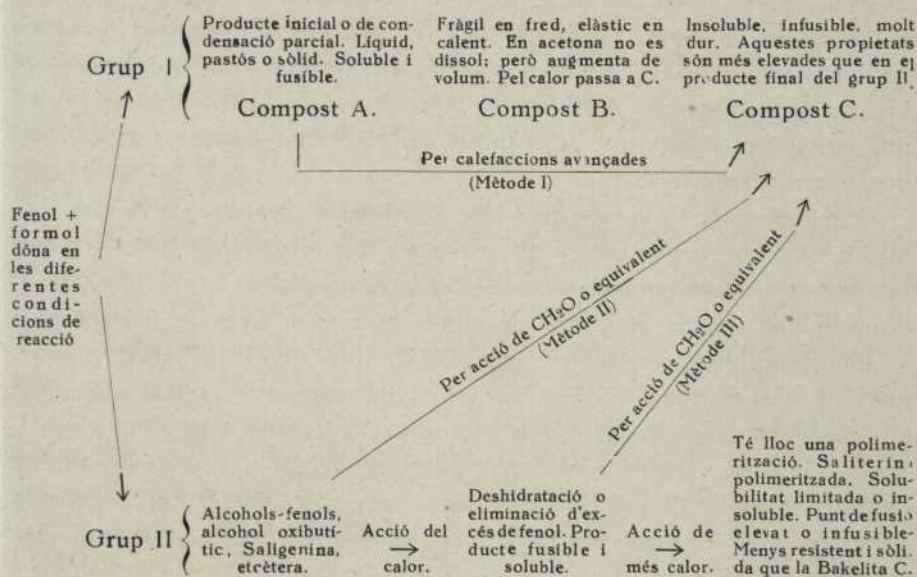
BAEKELAND divideix en dos grans grups els productes de condensació de fenols i aldehids. En un d'ells (grup I) enclou els compostos resultants en els mètodes de KLEEGERG, LUFT, STORY, els quals es caracteritzen per llur infusibilitat i insolubilitat més o menys completa en acetona, alcohol, àlcalis. Naturalment, que els diversos cossos obtinguts pels autors citats presenten variacions en quan a solubilitat i fusibilitat, però sempre posseeixen una marcada resistència química i molta duresa. El procés de reacció pot realitzar-se fins el final (com fa KLEEGERG) o bé com en el sistema operatori de BAEKELAND (que descriurem), per etapes.

L'altre grup (II), és integrat pels resultats de BLUMER i de LAIRE, que, com hem vist, eren similars de la goma laca. Són fusibles i solubles en alcohol, acetona i la major part també en sosa. Escalfant-los i refredant-los diverses vegades conserven, al principi, llurs qualitats; però, després, a mida que perden el fenol en excés, es tornen insolubles i infusibles, sense

⁶ Pàgs. 317, 326, 347 i 358 (1909).

igualar les propietats dels productes del grup I i menys de la bakelita C. A les reïnes d'aquest grup BAEKELAND els dona el nom de reïnes Novolak ⁷.

Donem a continuació una taula, amb ajuda de la qual hom veu facilitada la comprensió de les reaccions existents entre els productes de reacció de fenols i aldehids



El procés de condensació del fenol i del formol (o cossos que el produeixen), depèn de molts factors, com són: les proporcions, ambient i, també (i això influeix molt) la classe i quantitat del catalitzador, encara que els resultats siguin més o menys anàlegs ⁸.

Amb un agent àcid, l'operació es fa molt diferent de si és àlcali. Amb l'amoniac, el curs de la reacció difereix notablement de quan s'opera amb àlcalis fixos ⁹.

CLAISEN ¹⁰ demostrà, que les reaccions de formació de reïnes són molt sensibles als canvis d'ambient, i notà que les transposicions que tenen lloc (com després veurem), es produeixen en alguns dissolvents i en altres no.

PAULY i SHAUZ ¹¹, observaren que la presència de petites quantitats d'aigua té una gran influència en aquestes reaccions. Les complicacions

⁷ Altres autors les anomenen *Saliterina, Fenolreïna.*
⁸ BAEKELAND i HARREY, *J. Ind. Eng. Chem.*, 13, 153 (1921).
⁹ BAEKELAND, *J. Ind. Eng. Chem.*, 5, 511 (1913).
¹⁰ *Z. angen. Chem.* 36, 478 (1923).
¹¹ *Ber.* 56 B, 979 (1923).

que presenten aquestes últimes i la dificultat de purificar i identificar els productes finals de les reïnes Novolak (fusibles) o dels reïnoids infusibles, necessiten l'establiment de molts fets per pendre una decisió i poder explicar satisfactòriament la sèrie de reaccions que poden o deuen produir-se.

Fins ara, cap investigador no ha estat segur d'haver trobat un reïnoid infusible pur. La manera lògica, segons BAEKELAND, d'augmentar les coneixences en el domini de les reïnes artificials, era de construir una sèrie de compostos intermitjos teòrics i fer la reacció de la reïna infusible sobre els dits productes. Amb aquest objecte, estudià molts cossos i obtingué sempre productes que reaccionant amb la hexametilèntetramina donaven reïnes infusibles C.

Exposarem, per donar-ne una idea, la forma d'operar per a la reïna butaldehid i fenol, ja que seria extensíssim fer una relació dels treballs executats amb els altres productes.

Com que sembla més fàcil de seguir la reacció emprant àcids com a catalitzadors, féu la condensació amb el ClH. Una barreja de butaldehid i fenol a la temperatura ordinària i sense catalitzador no presenta símptomes apreciables de reacció al cap de quatre mesos¹². Però si a la proporció teòrica—1 mol gram d'aldehid, 2 mol gram de fenol—, s'afegeixen alguns centímetres cúbics de gas clorhídric sec o unes gotes de HCl concentrat, la reacció comença immediatament. Primer, es desprèn calor, sense altra canvi visible (de viscositat o color). Al cap d'un temps, la barreja es refreda i s'enterboleix, augmentant la seva viscositat i també una mica la temperatura. Poc a poc, la massa va perdent en fluïdesa, esdevenint de color brú; als vuit dies està completament coagulada, restant un terç de la mateixa en forma de cristalls de p-dihidroxidifenilbutàn en suspensió. Per extracció amb aigua bullent i recristallització en la mateixa, dels cristalls anteriors, hom obtingué un rendiment de 35 a 38 % de p-dihidroxidifenilbutàn. Més del 60 % del producte inicial de reacció queda en forma reïnosa similar a les reïnes solubles i fusibles del tipus Novolak. Dissolent aquesta reïna en toluèn i cristallització posterior, no fou possible obtenir cristalls. Les solucions bullentes de carbonat de sodi tampoc no donen p-dihidroxidifenilbutàn amb la reïna esmentada. Afegint a aquesta alguns dels cristalls obtinguts, poden fàcilment recuperar-se per cristallització en toluèn. El dit anteriorment dóna a entendre que la reïna obtinguda no ha de contenir gran quantitat de p-dihidroxidifenilbutàn que no hagués pogut cristallitzar degut a les impureses.

¹² Segons AYLSWORTH, pot haver-hi reacció, sense catalitzador, però a temperatures elevades.

A fi de determinar si el producte reïnos és un dihidroxifenol del mateix tipus que els cristalls separats, es determinà la quantitat de sosa normal necessària per a la dissolució; l'excés es dosava després amb un àcid normal. Per aquest mètode, el p-dihidroxidifenilbutàn necessita quasi la quantitat teòrica que correspon a un derivat dihidroxilat. La reïna només gasta 48'4 % de la quantitat precisa a un derivat dihidroxilat; calculada per a un monohidroxilat, resulta 96'8 % de sosa corresponent a un monofenol. Segurament la reïna deu ésser impura (potser conté una mica de toluèn), i com que el mètode analític dóna números febles a causa de la solubilitat dels precipitats en la solució, els resultats semblen indicar un compost monohidroxilat.

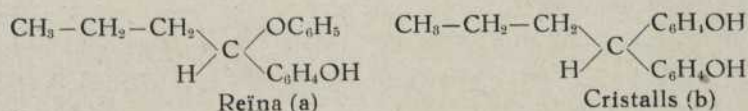
Escalfant en un tub tancat la substància reïnosa amb el 10 % de formaldehid, a 182° durant sis hores, resulta una reïna infusible, del tipus reïnoid del fenol. En les mateixes condicions, el p-dihidroxidifenilbutàn cristallitzat dóna, també, una reïna anàlega. Aleshores, és evident que un d'aquests dos productes, o potser tots dos, són derivats intermitjos quan es prepara un reïnoid infusible partint de l'aldehid butílic i el fenol.

Tant la massa reïnosa com els cristalls donaren el mateix pes molecular en solució benzènica. Anàlisis fets per combustió indiquen, també, una mateixa composició.

Escalfant la reïna una hora a 260°, i cristallitzant després en toluèn, s'obtingué un 80 % del seu pes en forma de cristalls purs de p-dihidroxidifenilbutàn. El mateix resultat s'observà per destil·lació amb un buit elevat.

Tal com hem dit més amunt, la reïna dóna amb la sosa càustica una sal monosòdica i no reacciona amb el carbonat de sodi, al contrari dels cristalls que donen una sal disòdica i en determinades condicions reaccionen amb el CO_3Na_2 .

Ens trobem amb un fenol que per transposició dóna un difenol, la qual cosa fa creure possible que la reïna sigui el 1-fenoxi-1-para-hidroxifenil-normal-butàn, el qual es transposa en para, donant el para-dihidroxidifenilbutàn.



De manera, que tant la reïna (a) com els cristalls (b) entren en les fases finals del reïnoid fenòlic i donen el mateix producte aparent; això demostra que aquesta transposició no té importància per a l'èxit o fracàs de la reacció.

La tendència a transposar-se augmenta amb el pes molecular de l'aldehid o cetona emprada. També la naturalesa del fenol té una marcada influència, com ho demostren les diferències de transposició en els productes de condensació obtinguts amb el α naftol i el β naftol ¹³.

Podent-se partir dels dos compostos (*a* i *b*), per fer la reïna insoluble, és interessant de saber si hi ha alguna diferència essencial entre les classes. Es portà a cap un estudi sobre el nombre de metilèns necessaris per endurir homòlegs dels productes *a* i *b*, dels quals donarem una llista a continuació:

DERIVAT	FORMA	COSSOS REACCIONANTS
p. dihidroxidifenildimetilmetan.	Cristalls	Acetona i fenol
fenoxi-p-hidroxifenildimetilmetan.	Reïna	— —
p-dihidroxitetrafenilmetan.	Cristalls	Diclorur de benzofenona i fenol
fenoxi-p-hidroxitrifenilmetan.	Reïna	— —
p-dihidroxitrifenilmetan.	Cristalls	} Clorur de benzol i fenol, o bé
fenoxi-p-hidroxidifenilmetan.	Reïna	
p-dihidroxidifeniletan.	Cristalls	} Acetaldehid i fenol, o bé
fenoxi-p-hidroxifeniletan.	Reïna	

i resultà de les experiències que un mol de reïna o de cristalls són endurits per un equivalent del grup CH_2 (23'3 gr d'hexametilèntetramina), donant amb tots els cossos indicats reïnes veritables, és a dir, infusibles i insolubles.

Resumint els treballs de diversos autors resulta que:

I.—Un aldehid o cetona (o equivalents), poden ésser emprats per obtenir la reïna fusible; però només els cossos que contenen CH_2 , intervenen en la fase d'enduriment per donar reïnes infusibles.

II.—Comparant les variacions en el temps d'enduriment dels diferents productes fusibles, sembla que les produïdes pels fenols són febles, essent més fortes les degudes als aldehids i cetones.

III.—Una reïna soluble, en reaccionar amb un derivat metilènic, pot donar, també, una reïna fusible *A*, que pel calor passarà per la fase *B* i després a reïna infusible *C*.

El dit anteriorment fa suposar que partint de la reïna Novolak, hi ha encara dues fases; primer, una nova condensació, i, després, un enduriment o polimerització ¹⁴.

* * *

¹³ CLAISEN, *Ann.* 237, 270 (1887), WENZKE i NIEUWLAND, *J. Am. Chem. Soc.*, 46, 178 (1924).

¹⁴ BAEKELAND, *J. Ind. Eng. Chem.*, I, 149 (1909), i JABLONOWER, *J. Am. Chem. Soc.*, 35, 811 (1913).

Hem fet notar més amunt la influència que pot tenir el catalitzador. Doncs bé; quan els aldehids i els fenols reaccionen en presència d'àcids, donen un compost que tendeix a ésser una reïna fusible, en el cas en què no hi hagi un gran excés d'aldehyd i que es faci reaccionar. Emprant àlcals per a la condensació, aquests afavoreixen la formació directa de la reïna infusible, en absència de molt fenol.

Tractant aldehids i fenols en quantitats compreses entre els límits 0'5 mol de formol - 1 mol de fenol, 1 mol formol - 1 mol fenol—per exemple, 0'87 mol de formol i 1 mol de fenol—per catalitzadors de les dues classes, es troben diferències ben notables. Amb l'àcid clorhídric reaccionen ràpidament arribant (així que una part de fenol i una d'aldehyd han estat transformades en reïna), a un equilibri aparent. Si s'escalfa aquest producte per treure-li l'aigua, no es perd solament aquesta sinó, també, l'aldehyd no gastat i una mica de fenol, resultant una reïna que quasi no conté aldehyd lliure, però si un 10 % de fenol. Amb les mateixes proporcions, però com a catalitzador la sosa càustica, resulta un producte totalment diferent. En primer lloc, l'aldehyd és consumit progressivament fins a desaparèixer en la seva totalitat. Aleshores, encara hi ha 1/10 de fenol lliure que pot eliminar-se per destil·lació al vapor ¹⁵. Si quan no hi ha aldehyd escalfem per expulsar l'aigua, hi ha pèrdua de fenol. La reïna resultant és sòlida en fred, trencadissa i suporta un nombre limitat de calefaccions i refredaments successius. És una varietat de la primera fase *A* dels reïnoids fenòlics. Si es manté un cert temps fosa, no sofreix cap modificació aparent; però, després, es coagula bruscament. Aquest fenomen correspon a la fase *B*, la qual escalfada a temperatura elevada, s'endureix poc a poc transformant-se en la fase final *C*.

Si en treure l'aigua de la reïna inicial, no s'ha després la totalitat del fenol, aquest es trobarà en la reïna final *C*, modificant un xic la resistència als agents químics i físics.

La condensació del fenol i aldehyd ofereix, doncs, aquestes tres característiques: Condensació de dues molècules de fenol amb una de formaldehyd, nova condensació d'aquest derivat amb un altre CH₂, i polimerització del compost resultant per donar el producte final reïnoid *C*.

Per evitar confusions, cal recordar que hi ha dos procediments d'enduriment diferents, els quals donen resultats distints. Les reïnes fusibles tipus Novolak poden endurir, en certes condicions, sense addició de nous grups CH₂ (per eliminació del fenol lliure), però donen una reïna saliterina que

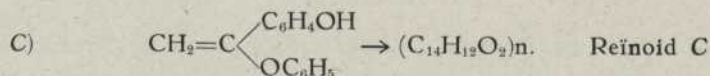
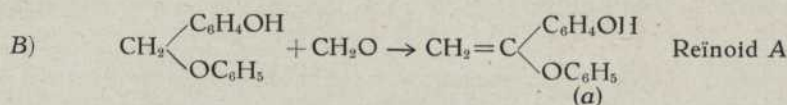
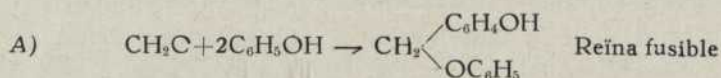
¹⁵ BACKELAND, *J. Ind. Eng. Chem.*, 4. 737 (1912); 1. 545 (1909); 5. 950 (1913).

no té cap valor comercial. Si hi ha addició de CH_2 a la reïna Novolak, la massa dóna, per acció del calor, el reïnoïd final *C*.

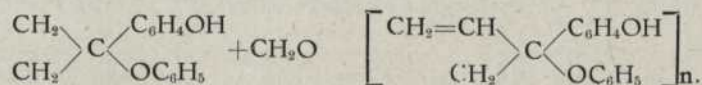
Quan la condensació ha estat feta en presència d'òcalis, hem vist que l'enduriment reïnoïd fenòlic pot fer-se tot sol, en el cas que no hi hagi un gran excés de fenol.

Semblaria que els àcids actuen com a catalitzadors d'algunes reaccions de la sèrie, però tenint molt poc o gens efecte en les reaccions restants.

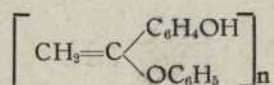
Escalfant un mol gram del fenoxi-*p*-hidroxifenilmetà (reïna fusible obtinguda anteriorment) amb un mol gram del compost que conté CH_2 (hexametilèntetramina), s'obté una reïna completament resistent. Aquesta fase de la condensació en la qual un CH_2 es combina amb una molècula de fenoxi-*p*-hidroxifenilmetà, es pot interpretar de diverses maneres. Queda descartada l'acció sobre el grup *p*-hidroxil, ja que el producte obtingut conserva les propietats fenòliques. La possibilitat de 5 punts d'atac en el nucli benzènic no és admesa, per no explicar bé el fenomen de la polimerització. La forma més natural de reaccionar, i que no contradeix la majoria de fenòmens observats, sembla la condensació del CH_2 amb el carboni metànic, que dóna un derivat no saturat, o sigui el reïnoïd fenòlic *A*, que per polimeritzacions successives dóna els compostos *B* i *C*.



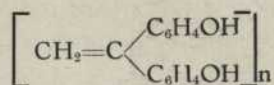
El compost *B* ha d'ésser, probablement, una barreja dels *A* i *C*. Amb les cetones o aldehyds superiors el resultat fóra un homòleg. Així l'acetona ordinària donaria:



Pel que hem vist, les reïnes artificials infusibles del comerç fabricades amb fenol i formaldehid, serien constituïdes principalment pel compost



el qual es troba en totes les fases de la reacció, junt amb petites quantitats de



i, a més, una mica de fenol i de l'agent de condensació no utilitzats.

Es pot admetre, sense gaire dificultat, que el derivat (a) obra de la manera habitual en determinats compostos no saturats: es polimeritza lentament fins a cert punt i, després, es gelatinitza de sobte de la manera característica de l'oli de Xina. Admetent la possibilitat de reacció dels aldehids per donar un compost amb enllaç etènic, hom es pot esperar la fase de polimerització. A més, les referències sobre polimeritzacions de l'etilèn substituït són nombroses. Citarem FRIES i FICKEWIRTH¹⁶, els quals parlen d'una reïna obtinguda escalfant el o-hidroxifeniletilèn; i LEBEDEV¹⁷ que observà polimeritzacions en el difeniletilèn asimètric.

* * *

Hem volgut donar una idea de les recerques efectuades sobre la reacció fenol-aldehid, la qual, malgrat els esforços de molts investigadors, no està del tot explicada com declara el mateix BAEKELAND, màxima autoritat en aquesta matèria; però és d'esperar que aviat seran solventades les dificultats fins ara existents, transformant-se la fabricació de la BAKELITA (cos de propietats quasi il·limitades i que és utilitzat per a infinitat d'objectes com coixinets antifricció, plaques isolants, de gramofon, per impregnar la fusta, recobrir fils de dinamos, etc.), en una de les principals i més modernes indústries amb què compta la Química actual.

ENRIC REBÉS I CASTELLÀ

¹⁶ Ber., 41, 367 (1907).

¹⁷ Ber., 56 B, 2349 (1923).