



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Offshore plataformetan dagoen
bioinkrustazio arazoari aurre
egiteko estrategiak lantzen: bio-
jatorriko materialetatik abiatuz
sortutako estaldurak**

*Usue Olatz Aspiazu,
Ruben Castano-Alvarez,
Edurne Erkizia, Iratxe Mentxaka,
Maria Jesús Belzunce,
Aitor Barquero eta Edurne González*

93-100 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.05.11>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



BERGARA

Offshore plataformetan dagoen bioinkrustazio arazoari aurre egiteko estrategiak lantzen: bio-jatorriko materialetatik abiatuz sortutako estaldurak

Usue Olatz Aspiazu¹, Ruben Castano-Alvarez², Edurne Erkizia², Iratxe Mentxaka³,
Maria Jesús Belzunce³, Aitor Barquero¹, Edurne González¹

(1) POLYMAT, University of the Basque Country, Joxe Mari Korta Center, Tolosa Avenue 72, 20018, Donostia-San Sebastián (Spain), (2) TECNALIA, Member of Basque Research & Technology Alliance (BRTA), Parque Tecnológico de Bizkaia, Astondo Bidea, Edificio 700, 48160 Derio, Bizkaia (Spain), (3) AZTI, Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia (Spain)
usueolatz.aspiazu@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan energia berriztagarrien *offshore* plantetan gertatzen den arazo nagusietako bat aztertu da: bioinkrustazioaren sorrera. Arazo honek plataformen bizitza-denbora murrizten du, haren erabileraren kostu erlatiboak handituz eta energia honen lehiakortasuna murriztuz. Horri ekidin eta plataformen bizitza-denbora luzatzeko bio-jatorriko eta bioinkrustazioaren aurkako propietateak dituzten estalduren erabilera proposatzen da. Estaldura hauek latexetatik, uretan dispartsatuk dauden polimero sistemetatik abiatuz sortuko dira. Latexa osatzen duen ura lurruntzean, partikulak elkartu, deformatu eta *filmak* sortzen dira. Aipatu berri den *film* hori da plataformaren gainazalean sortuko den estaldura. Lan honetan, latex horien sintesia aurkezteaz gain, zeinak emaitza onak erakutsi dituen ohikoak diren petrolio oinarriko latexekin konparatuta, probetak prestatu eta bioinkrustazioaren azterketa egin da.

Hitz gakoak: bio jatorriko estaldurak, bioinkrustazioaren aurkako estaldurak, energia berriztagarriak, *offshore* plataformak, jasangarritasuna

Abstract

In this paper, one of the main problems that occurs in offshore renewable energy plants has been studied: the generation of biofouling. This problem has reduced the life time of the platforms, increasing the relative costs of their use and reducing the competitiveness of this type of energy in comparison to others which are not so sustainable. To avoid this and to increase the life time of the platforms, it is proposed to use bio-based coatings with antifouling properties. In addition to presenting the synthesis of latexes, which has shown good results in comparison with conventional coatings, a biofouling study has been carried out in real environment, in the ocean.

Keywords: bio-based coatings, bio-antifouling coatings, renewable energies, offshore platforms, sustainability

1. Sarrera eta motibazioa

Munduan gero eta pertsona gehiago bizi gara eta daukagun bizimoduak gero eta energia gehiago kontsumitzera garamatza. Garraiobideek (kotxe, autobus, bizikleta nahiz hegazkinak, besteak beste), industriak (makinak, garabiak, logistika- zentroak, digitalizazioa eta beste hainbat), gure bizi-ohiturek (mugikorra, gimnasioa edota ordenagailuak, ohikoenetara joaz), guztiek behar dute energia. Gauzarik sinpleenean pentsatuz gero ere (lapitz baten, esaterako), haren erabileran edota fabrikazioan energia behar da. Gauzak horrela, etengabeko gorakadan dugun energia- kontsumoa modu jasangarri baten lortzea oso erronka handia da (Yolcan, 2023).

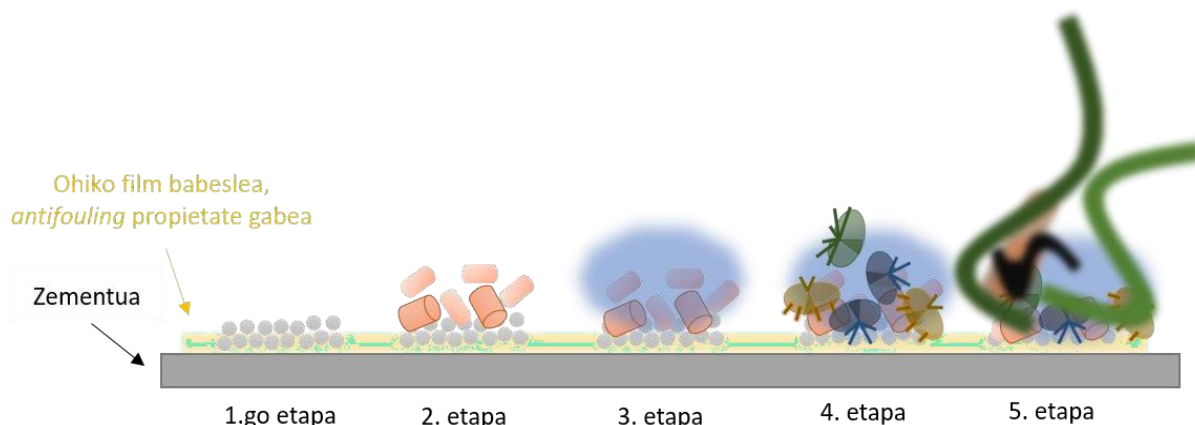
Luzaroan beharrezko energia erregai fosiletatik lortu izan da. Baina horrek ingurumenean dakartzan arazoak ikusirik, azken urteetan hori aldatzeko aukera berriak bilatu dira, besteak beste, energia berriztagarrien erabilera sustatzea. Energia berriztagarrien artean indar gehien dutenak energia eolikoa, hidraulikoa eta eguzkitiko energia dira (Yolcan, 2023); lehenengoa haizetiko energia lortzean datza, bigarrena urtegiaren energia lortzean eta hirugarrenak eguzki-izpiek dakarten erradiazioa erabiltzea du helburu. Energia eolikoa eta eguzkitiko energia, batik bat, kantitate handietan lortzeak duen arazoetako bat horretarako behar den lursail-azalera handia da. Gauzak horrela eta lurraren azaleraren % 70 inguru ura dela kontuan izanik, planta eoliko eta eguzkikoak itsasora eramateko aukerak landu dira azken urteetan, zenbait planta jada itsasoan eraiki direlarik eta emaitza onak erakutsi dituztelarik.

Instalazio hauek uretara eramatea, berriz, ez da kontu erraza. Itsasoak ere bere arazoak dakartza eta instalazio hauek ere itsasoan hainbat eragozpen sor ditzakete. Instalazioek itsas organismoei eragin diezazkioketen arazoen artean, bertako flora eta faunaren galera dago. Lehen itsas geruzan bizi diren landare eta animaliek eguzkitiko argiaren eta beroaren beharra dute bizitzeko. Instalazio hauetako batzuk duten tamainaren eta egituraren ondorioz, geruza horretara eguzki-izpiak nekez heltzea gerta daiteke, eta horrek bertako flora eta faunaren eragin zuzena du (Radhakrishnan *et al.*, 2015). Hala ere, instalazioaren antolaketa modu arduratsu batean eginez gero, eragin hori murrizteko aukera dago. Itsasoak instalazioan eragiten dituen arazoen artean, berriz, portaera inkrustatzailea aipatu beharra dago. Zebra-muskuiluak (*Dreissena polymorpha*), esaterako, itsas azpitik doazen kableetan itsatsi eta bertan koloniak sortzeko ohitura dute eta horren garbiketarako (kableetan ahalik eta arazo gutxien sor dezaten) milioi euroko eskalan kokatzen dira (Palau *et al.*, 2008). Instalazio energetikoen kasuan, inkrustazio hauek egituraren atal anitzetan dute eragina; alde batetik, oinarria den hormigoian duten eragina daukagu eta, bestetik, plataforman bertan kokatzen diren energia lortzeko egituretan (haize-errotak edota eguzki-plakak, besteak beste).

Horrelako instalazio baten bizitzan zeharreko gastuei dagokienez, gasturik handienak turbinaren kostutik eta instalakuntzaren desmantelamendutik datoz kasu askotan (Sam Aflaki, 2024). Hortaz, zenbat eta bizitza luzeagoa izan instalazioak, orduan eta ekonomikoagoa izango da eta orduan eta konpetitiboagoa beste aukerekin konparatuz. Baina, hormigoia inguruan inkrustatzaileak hazten direnean, haren propietateak galtzen hasten dira, plataformaren bizi-zikloa murrizten delarik. Horrek, aldi berean, instalazioa aurrera eramateko gastuak handitzea dakar, lehiakortasuna mugatuz.

Bioinkrustazioaren eraketa bost urratsetan azal daiteke, oro har (ikus 2. irudia) (Radhakrishnan *et al.*, 2015): lehen etapan, lehen segundo edo minutuetan gertatzen dena, materia organikoaren makromolekulak substratuan absorbatzen hasten dira, film primarioa sortuz; bigarren etapan, mikrobio-zelulak gainazalean itsasten dira eta bakterioen immobilizazioa gertatzen da bertan; hirugarren etapan, zelulaz kanpoko polimeroa sortzen hasten da, substratuan bakterio-lotura egin ondoren eta gainazalean film mikrobiano bat eratuz; laugarren etapa espezie zelulaniztunez, mikroalgez, hondakinez, sedimentuez eta abarrez osatutako komunitate konplexuago baten garapenari dagokio; eta azken etapan, itsas ornogabe handiagoak batzen dira, hala nola lanpernak, muskuiluak eta makroalgak.

1. irudia. Bioinkrustazioen eraketa-prozesua.

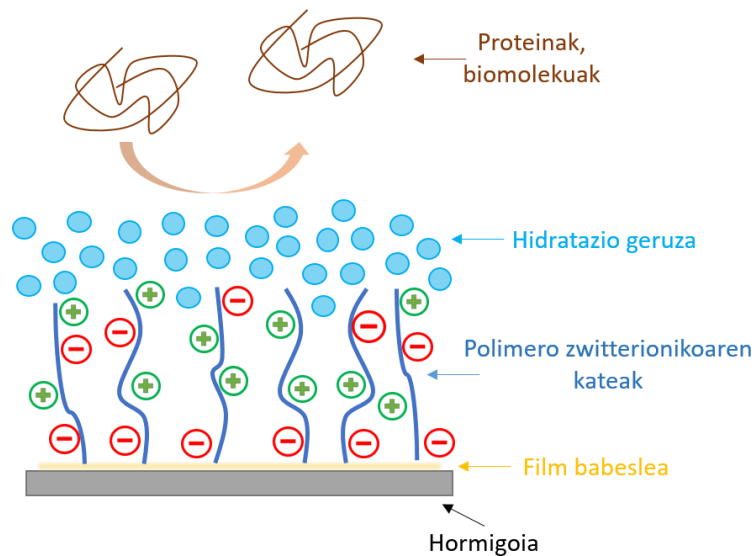


Arazo honi ekiditen saiatze aldera, badaude hormigoia estaliz jar daitezkeen zenbait material, inkrustazioak hormigoian duen eragina murriztu edo denboran atzeratuko dutenak. Beste batzuen artean, inkrustazioaren kontrako propietateak dituzten latexen erabilera da aukeratako bat (Tan & Zhou, 2023). Ingeleseko izenetik eta hemendik aurrera, *antifouling* propietateak dituzten latexen erabilera. Latex horrek eta latexetik abiatuta eratutako filmak honako ezaugarri hauek izan behar ditu:

- 1) Sintetizatzeke erraza izan behar du eta industria-mailara eskalagarria. Hori aztertzeke emultsio-polimerizazio bidezko erreakzioak proposatu dira eta honen egokitasuna aztertzeke bi atal arakatu dira: partikula-tamainaren hazkuntza egokia eta elikaturiko monomeroen konbertsioa. Tamainaren hazkuntza egokia horren hazkuntza konstantea erakusten duena izango da, koagulazio edota bigarren mailako nukleaziorik gabea.
- 2) Filma eratzeko gaitasuna izan behar du.
- 3) Eratutako filmak propietate egokiak izan behar ditu, bai ur-xurgapenari dagokionez, bai propietate mekanikoei dagokienez, uretan egongo baita. Propietateak egokitze hartuko dira MMA/BA latex konbentzionalaren propietateen parekoak edo hobeak dituenen.
- 4) Filmak hormigoian duen adhesioak, uretatik kanpo, egokia izan behar du. Adhesio-testean % 80tik gorako atxikipena erakutsi behar du.
- 5) Uretan jarritako probetek bilatzen den eragina bermatu behar dute, *antifouling* propietateak.

Film horiek sortzeko bide bat baino gehiago azertu dituzte hainbat ikerketa-taldek eta lan honetan monomero zwitterionikoen erabilera aurkeztuko da, zehazki [2-(Metakriloiloxi)etil]dimetil-(3-sulfopropil)amonio hidroxidoarena (DMAPS), beste lan batzuetan material horrek erakutsi duen inkrustazioaren aurkako jarrera ona izan baita (Murali *et al.*, 2024). Monomero zwitterionikoak karga positibodun eta negatibodun aldeak dituzten monomeroak dira, bioinkrustazioaren aurka gainazalean hidratazio-geruza bat sortzeko gaitasuna dutenak (Chen *et al.*, 2010) (ikus 2. irudia). Hidratazio-geruza horrek materia organikoen makromolekulak gainazalera heltzea saihestuko du (bioinkrustazioaren prozesuaren lehen etapa), haien atxikipena ekidinez haien garapena ere geldituko delako. Horrez gain, lan honetan bio-iturrietatik eratorritako monomeroak erabiliko dira estaldura osatzeko oinarri gisa.

2. irudia. Bioinkrustazioaren aurka monomero zwitterionikoek eratzen duten geruza babeslearen sorkuntza.



2. Materiala

Monomeroak jaso bezala erabili dira: tetrahidrofurfuril metakrilatoa (THFM, Evonik), isobonil metakrilatoa (IBOMA, Evonik), 2-oktil metakrilatoa (2OMA, Evonik), 3-metakriloxipropiltrimetoxisilanoa (MATMS, Wacker) eta [2-(Metakriloiloxi)etil]dimetil-(3-sulfopropil)amonio hidroxidoa (DMAPS). Emultsionatzaile gisa sodio dodezil sulfatoa (SDS, Sigma-Aldrich) erabili da. Hasarazle bezala, tertbutil hidroperoxido (TBHP)/FF7 redox pareak erabili da (Sigma-Aldrich / Brüggemann Chemical, hurrenez hurren). Ur deionizatua erabili da emultsio-polimerizazioetan fase jarraitu gisa eta argiaren sakabanatze dinamikoaren (DLS) analisirako laginak diluitzeko. Ur deionizatu hori Merck Millipore sistema baten bidez lortutako purutasun handiko ura da, bere eroankortasuna 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ baino txikiagoa duena. Hormigoia prestatzeko erabili diren materialak hauek izan dira: zementua, CEM III/A 42,5 N/SRC motakoa (Holcim), silize-kea (AZ Tech, s.r.l.), agregakin lodia (<1 mm) eta mehea (0.1-0.5 mm) (Sílice Carrión Martínez, S.L.), superplastifikatzailea (Fosroc).

3. Sintesi-prozedura esperimentalak: emultsio-polimerizazioa

Aurkeztu berri den ikerketa gauzatzeko, lau latex sintetizatu dira, R1-R4 gisa izendatu direnak. Atal honetan lau sintesiak aurrera eramateko jarraitutako prozedura aurkezten da eta hurrengo atalean erreazio bakoitzaren bereizgarriak aurkezten dira.

Latex guztiak ereindun emultsio-polimerizazio erdijarraitu bati jarraituz sintetizatu dira. Horretarako, lehenik eta behin, erein bat sintetizatu da, zein uretan dispersaturik dauden tamaina txikiko partikulek osatzen duten sistema den, eta, ondoren, ereina osatzen duten partikulak hazi dira. Erreakzio guztiak beirazko 0,5 L-ko errektore batean egin dira, lagina ateratzeko hodi-irteera alde batetik, eta elikadurarentzako eta nitrogenoarentzako hodi-sarrerak bestetik, egokituz. Bestalde, tenperatura Pt-100 zunda batekin neurtu da eta errektoreko nahastea homogeneizatzeko altzairu herdoilgaitzezko aingura formako irabiagailu bat erabili da. Erreakzioaren tenperatura 70 °Ctan mantendu da, hura bainu baten bidez kontrolatuz (*lauda eco line*) eta elikaduraren emaria ponpa baten bidez (*gamma 4*) kontrolatu da.

Esan bezala, errektoreko gehitu diren ereinak emultsio-polimerizazio bidez sintetizatu dira. Horretarako, ura, monomeroak eta emultsionatzailea errektoreko gehitu, nahastea 70 °Cra berotu eta hura 200 bira minutuko abiaduraz irabiatu da. Jarraian, nahastea 3 orduz erreakzionatzen utzi da. Sintesiaren errezetak (R1-R4) 1. taulan aurkezten dira. Kasu guztietan ereina 65 nm-ko partikula-tamaina eta % 16ko solido-edukia duen OMA/THFM 50/50 konposizioko latexa izan da, kasu bakoitzean behar zen solido-edukira arte diluitu delarik (ikus 1. taula). Amaitzeko, 30 minutuz erreakzio-tenperaturan utzi da erreakzio-nahastea monomero guztia agortzeko.

4. Latexaren eta filmen karakterizazioa

Latexen konbertsioa eta ur-absortzio gaitasuna grabimetrikoki neurtuak izan dira. Partikula-tamainaren jarraipena Argiaren Sakabanatze Dinamikoaren bidez aztertu da, latexaren filma sortzeko gaitasuna beronen Tg (beira-trantsizio tenperatura) eta MFFT (filma sortzeko tenperatura minimoa) lortuz egin da, horretarako DSC eta MFFT (*Rhopoint instruments, MFFT-90*) delakoak erabili direlarik, hurrenez hurren. Filmaren propietateak *Texture Analyzer* delakoaren bidez neurtu dira. Hormigoian filma eratze gaitasunari dagokionez, hura adhesio-test baten bidez aztertu da.

1. taula. Sintetizaturiko latexen errezetak.

Emultsio-polimerizazio erdijarraituak					
	Materialak	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	R4 (g)
Hasierako karga	Ura	87.8	100.8	133.3	144.8
	Ereina	22.4	42.2	41.5	42.1
Injekzioa	TBHP (likidoa)	0.94	1.87	1.84	1.9
Elikadura 1	Ura	22.72	84.80	83.86	35.12
	SDS	0.94	1.87	1.84	1.87
MATMS % 0-1	IBOMA	9.31	18.66	18.45	18.73
	OMA	80.27	158.57	156.82	159.17
DMAPS % 2-5	THFM	4.70	9.33	9.22	9.36
	MATMS	0.00	0.00	0.00	1.87
	DMAPs	0.00	3.73	9.22	0
Elikadura 2	FF7 (solidoa)	0.94	1.87	1.84	1.87
TBHP/FF7 (%) 1	Ura	22.72	84.80	83.86	85.12
SLS % 1	SC amaieran (%)	40.000			

4.1. Partikula-tamainaren neurketa

Zetasizer Nano Series (Malvern Instrument) argiaren sakabanatze dinamikoa delakoa erabili da lineaz kanpoko partikula-tamaina neurtzeko. Analisisirako, latexa DI-uretan diluitu da sakabanatze bakunaren baldintza bermatzeko. DLS neurketak giro-tenperaturan egin dira. Hiru neurketa errepikatu eta batez besteko tamaina erdietsi da.

4.2. Propietate mekanikoen analisia

Propietate mekanikoak aztertzeko *Texture Analyzer TA HD plus* delako ekipoa erabili da. Horretarako, sintetizatutako latexetik abiatuz probetak sortu dira. Probetak latexak moldeetan isuri eta latexeko ura lurrunduz eratzen diren itxura zehatzeko polimero filmak dira, materialaren propietate mekanikoak aztertzeko erabiltzen direnak. Entsegu hauetan, probeta horien gainean deformazio bat eragin da, deformazio hori eragiteko beharrezko indarra neurtu delarik.

4.3. Adhesio- propietateen analisia

Filmak hormigoian duen atxikipena aztertzeko, filma sortu ondoren 25 gelaxkako sare bat ebaki da filmean eta itsaspen-gaitasun altuko zeloarekin gelaxka horiek desitsasteko ahalegina egin da. Desitsatsitako gelaxka kopurua aztertuz, atxikipenaren egokitasuna aztertu da.

4.4. Hormigoien prestakuntza

Beheko taulan (ikus 2. taula) hormigoia prestatzeko erabilitako materialen dosifikazioa erakusten da:

2. taula. Hormigoia prestatzeko erabilitako materiala.

Materiala	Kantitatea (g)
Zementua (CemIII/A 42,5 N/SRC)	100
Agregakin lodia (<1 mm)	55.5
Agregakin mehea (0.1-0.5 mm)	44.5
Silize-kea	17.65
Superplastifikatzailea	2.65
Ura	21.14

Oraketa egin ondoren, hormigoia 4 x 4 x 16 cm-ko eta 19 x 27 cm-ko moldeetan sartu zen eta 28 egunez utzi ziren erreakzionatzen. 28 egunen ondoren 4 x 4 x 16 cm-ko probetak erditik moztu ziren 4 x 4 x 8-ko probetak lortuz. Probeta horiek ikerketa honetan garatutako latexarekin margotu ziren.

5. Emaitzak eta eztabaida

Sintesiaren egokitasunari buruzko datuei dagokienez, 3. irudian aurkezten dira erreakzioetan zehar latexei eginiko ezaugarri anitzen jarraipena. Jarraituriko ezaugarriak konbertsioa eta partikula-tamaina izan dira. Lehenak erakusten du elikatu den materialaren zer kantitatek erreakzionatu duen (eta hortaz polimero bihurtu den). Bigarrenak, berriz, prozesuan zehar koagulazio, nukleazio sekundario edo bestelako arazorik gertatzen den erakusten du. Ikus daitekeenez, konbertsioak altuak dira prozesu guztian zehar, kasu guztietan material dena konbertitu dela erakutsiz eta tamainek modu konstante batean egiten dute gora, salto edota jokabide berezirik erakutsi gabe. Hortaz, erreakzioak ongi atera zirela esan daiteke.

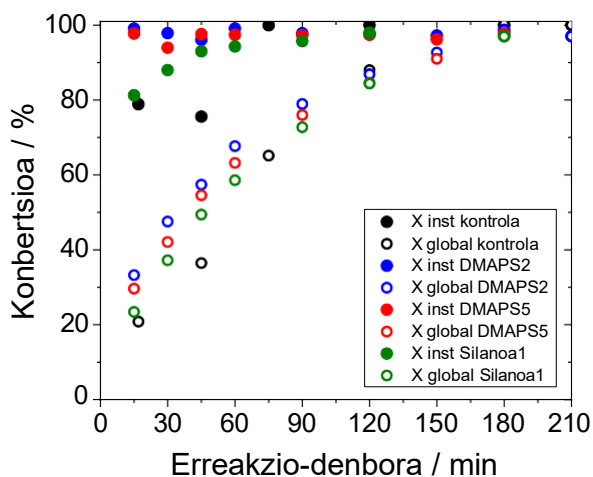
3. taula. Sintetizaturiko latexen beira-trantsizioaren temperatura eta filma eratzeko temperatura minimoa.

Lagina	Tg (°C)	MFFT (°C)
R1-Kontrola	21	11
R2-DMAPS 2	24	12
R3-DMAPS 5	19	12
R4 – Silanoa 1	18	6

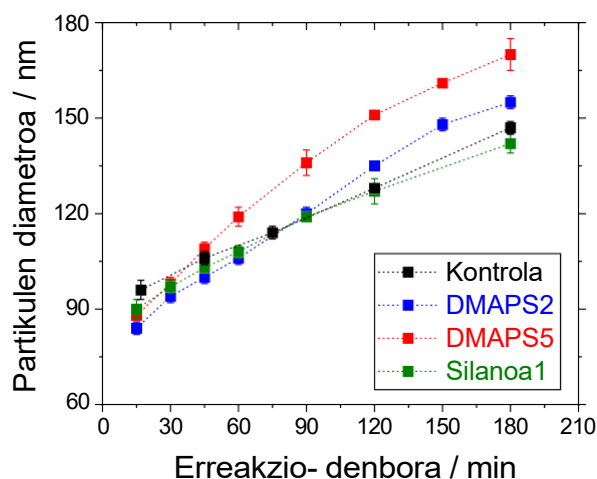
Filma eratzeko gaitasunari dagokionez, 3. taulan filma eratzeko kontuan izan beharreko bi temperatura bereizgarri erakusten dira. Alde batetik, beira-trantsizioaren temperatura, zeinak material amorfoen edo erdikristalinoen zati amorfoa beira-antzeko egoera zurrun batetik egoera malguago eta gomatsuago batera nola igarotzen den erakusten duen, eta bestetik, filma eratzeko beharrezko temperatura minimoa. Ikus daitekeenez, bi kasuetan tenperaturak giro-tenperatura baino baxuagoak dira (25 °Ctik beherakoak), hortaz, filma bere baitan era daiteke, kanpoko berotze beharrik gabe.

3. irudia. Erreakzioetan zehar lorturiko emaitzak: a) konbertsioaren eboluzioa eta b) partikula-tamainaren eboluzioa erreakzioetan zehar.

a)



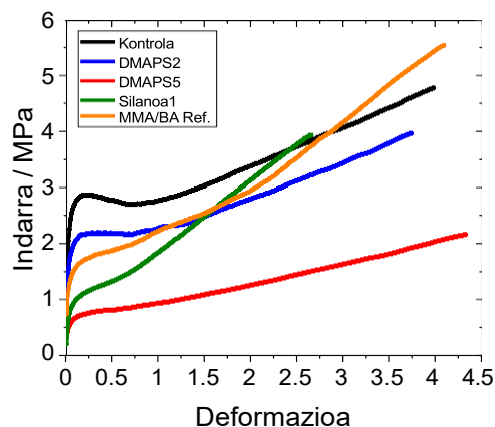
b)



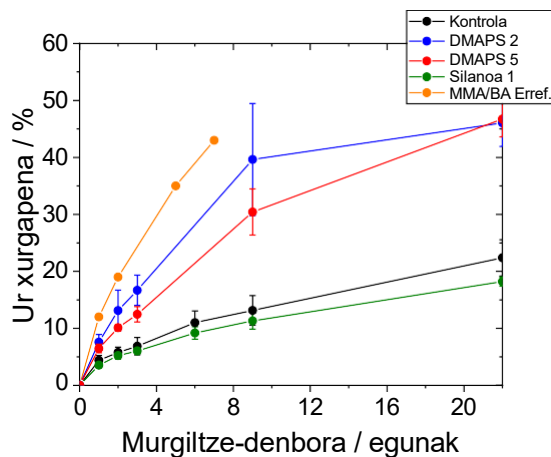
Eratutako probeten propietateei dagokienez, 4. irudiak propietate mekanikoak (a) eta urarekiko absortzio-gaitasuna (b) plazaratzen ditu. Kasu honetan ez dago lortu nahi den balio zehatzik, ikusi nahi izan da ea sintetizatutako materialak orain arte erabili izan den petrolio-iturriko MMA/BA erreferentzia- materialak bezain propietate onak edo hobeak dituen. Konparaketetatik ondorioztatu daiteke, ur-absortzioaren kasuan, berau baxuagoa dela sintetizatu diren materialetan eta hori emaitza ona da, zeren ondoren filma uretan egongo baita eta ur- absortzio handiegi batek horren atxikipenean akatsak handitzea eta propietate mekanikoak galtzea eragin baititzake, besteak beste. Propietate mekanikoei dagokienez, kasu guztietan antzeko propietateak lortzen direla azpimarratzekoa da. Hala ere, DMAPS monomero zwiterionikoaren kopurua handitzean propietate mekanikoen galera bat dagoela esan daiteke (ikus 4.a irudiko kurba urdina eta gorria). Horrez gain, DMAPSa gehitzean tentsio maximoa txikitzen dela ikusten da eta silanoa gehitzean propietate plastikoak handitzen direla (ikus kurba berdea).

4. irudia. Eratutako filmen propietateen azterketa: a) propietate mekanikoen analisia eta b) ur-absortzio gaitasuna.

a)

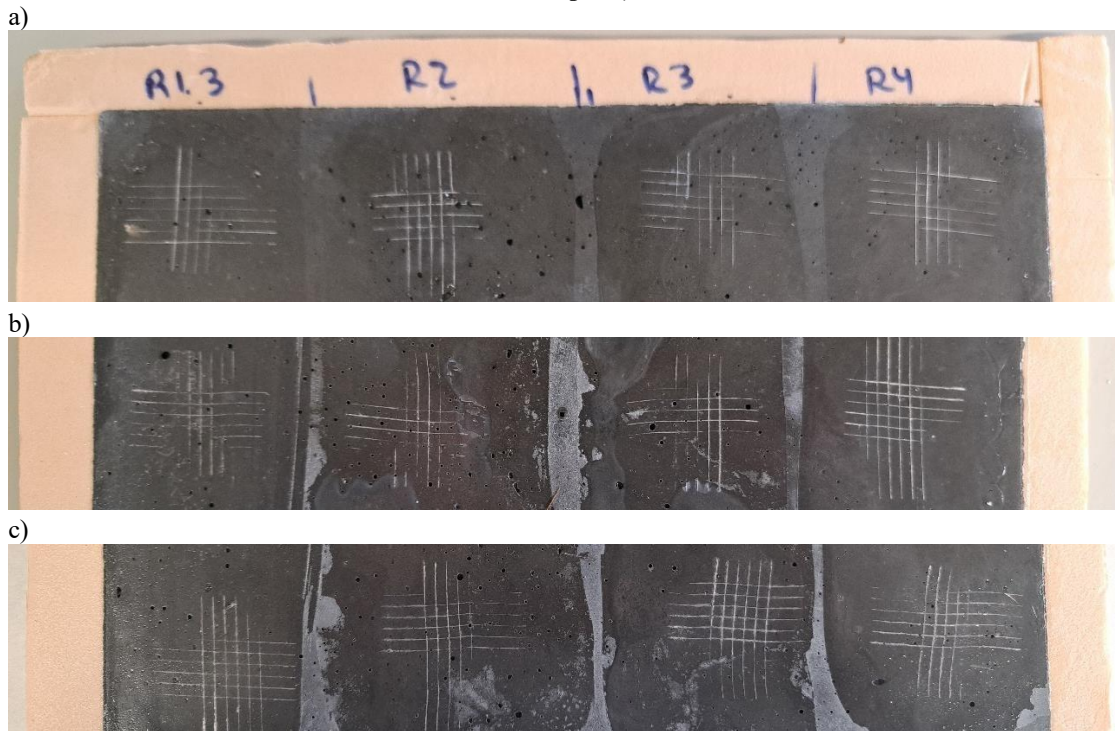


b)



Filmak hormigoian duen adhesioari dagokionez, adhesio-testak hiru egoeratan egin dira, filma hormigoian sortu berritan (ikus 5.a irudia), uretan 24 h egon ondoren (ikus 5.b irudia) eta uretan murgilduta 24 h pasa eta berriz sikatu ondoren (ikus 5.c irudia). Ikus daitekeen bezala, hasieran atxikipena oso ona da, adhesio-testeko gelaxka guztiak itsatsita gelditu dira. 24 h itsasoko ur artifizialean murgildurik pasa ondoren, R2-R4 kasuetan adhesioak ona izaten jarraitzen du, baina kontrol-latexean (R1) % 50eko atxikipena erakusten du soilik. 72 orduz giro-tenperaturan sikatu ondoren adhesioak onak izan dira berriz ere kasu guztietan.

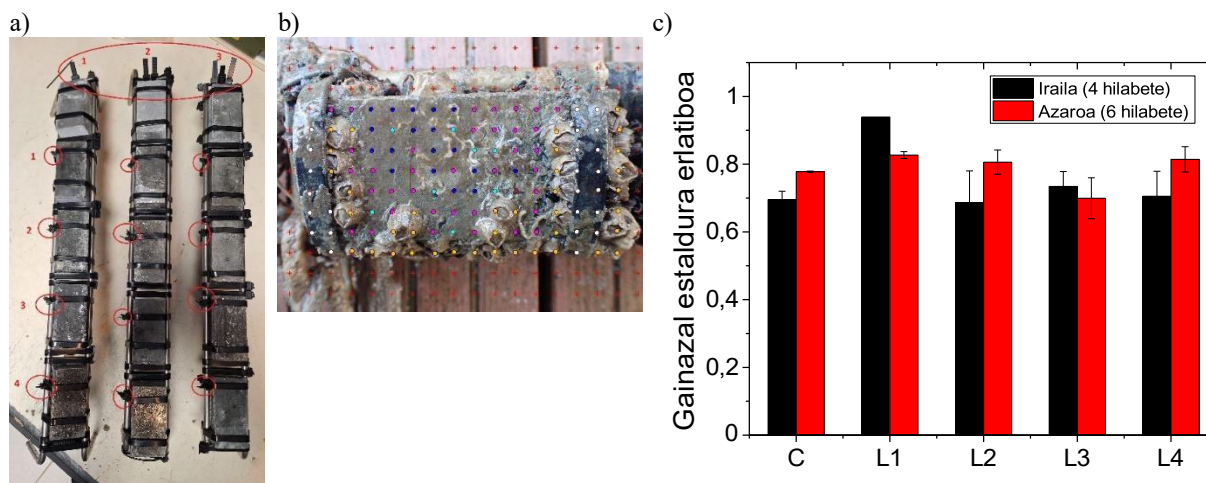
5. irudia. Filmek hormigoian duen adhesioa uretatik kanpo eta itsasoko uretan murgildurik egon ondoren: a) uretan murgildu aurretik (denek % 100eko atxikipena), b) 24 h itsasoko ur artifizialean murgildurik egon ondoren (R1 % 50eko atxikipena, R2-R4 % 100eko atxikipena) eta c) sikatu ondoren (denek % 100eko atxikipena).



Behin latexak sintetizatu eta horren egokitasuna laborategian aztertu ondoren, hormigoizko probetak sortu eta bioinkrustazio propietateak izateko sortu diren latexekin estali dira. Ondoren, hormigoizko probetak itsasoan dagoen testak egiteko plataforma baten kokatu dira, beren egokitasuna inguru errealean baten aztertzeko. Itsasoan jarritako probetetan ikusiriko jokabideari dagokionez (latex bakoitzarekin hiru probeta estali ziren eta itsasoko gune berean kokatu), 6. irudian probetek itsasoan sartu aurretik (a) eta 6 hilabete uretan egon ondoren (b) duten itxura ikus daiteke. Irudietatik ondoriozta daiteke ezen probetetan bioinkrustazioaren arazoa egon dela, baina ezin da zehaztu nondik datorren, horretarako probeta bera zuzenean aztertu beharra baitago, ez begi-bistaz soilik.

Bioinkrustazioa gertatu ahal izateko bi arrazoi nagusi dira posibleenak. Alde batetik, filmak funtzionatu ez izana; kasua hau izanez gero, *antifouling* propietateak lortzeko beste estrategia bat probatu beharko litzateke, monomero zwitterionikoak erabiltzeaz bestelakoa edo horiek erabiltzeko beste bide batzuk aztertzea. Bestetik, posible da estaldura bera probetatik desagertu izana, uraren indarraren ondorioz edota orokorrean adhesio-arazo baten ondorioz; kasua hau izanez gero, estalduraren eta oinarriaren arteko atxikipena eta konpatibilitatea hobetu beharko lirateke.

6. irudia. a) Probetak uretan sartu aurretik, b) probeta itsas uretan 6 hilabetez egon ondoren eta c) a eta b egoeren artean egon den *biofouling* garapena 4 eta 6 hilabetezko denbora-tartean (urdiraz eta gorrix, hurrenez hurren).



6. Ondorioak

Lan honetan itsasoko plataformetan dagoen arazo handi bati aurre egiteko aukera bat proposatu da: bioinkrustazioari aurre egiteko monomero zwitterionikoz osaturiko latexekin eratutako estaldurak erabiltzea. Latexen sintesia arazo gabe burutu da eta horren propietateak erreferentzia gisa erabilitako MMA/BA ohiko latexarenak bezain onak direla erakutsi da. Hormigoiaren eta filmaren arteko atxikipenari dagokionez, atxikipen ona lortu da. Amaitzeko, bioinkrustazioa zuzenean eta ingurune errealean aztertzeko egindako testetan ez dira hasiera baten espero ziren emaitzak ikusi, baina arazoa nondik datorren jakiteko analisisia haratago eraman behar da eta probetak itsasotik atera arte itxaron behar da.

7. Erreferentziak

- Chen, S., Li, L., Zhao, C., & Zheng, J. (2010). Surface hydration: Principles and applications toward low-fouling/nonfouling biomaterials. *Polymer*, 51(23), 5283–5293. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.08.022>
- Murali, S., Agirre, A., Arrizabalaga, J., Rafaniello, I., Schäfer, T., & Tomovska, R. (2024). Zwitterionic stabilized water-borne polymer colloids for antifouling coatings. *Reactive and Functional Polymers*, 196(January). <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2024.105843>
- Palau, A., Durán, C., & Romeo, R. (2008). Vulnerabilidad de las masas de agua frente al mejillón cebra. *Ingeniería Del Agua*, 15(4), 267. <https://doi.org/10.4995/ia.2008.2940>
- Radhakrishnan, M., Pazhanimurugan, R., Shanmugasundaram, T., & Balagurunathan, R. (2015). Natural products: Potential and less explored source for antifouling compounds. *Available Online Wwww.Jocpr.Com Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(7), 1144–1153. www.jocpr.com
- Sam Aflaki, A. A. and L. N. V. W. (2024). The Long-Term Costs of Wind Turbines. *Harvard Business Review*.
- Tan, J., & Zhou, S. (2023). Zwitterionic antifouling coating. In *Advances in Nanotechnology for Marine Antifouling*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91762-9.00012-5>
- Yolcan, O. O. (2023). World energy outlook and state of renewable energy: 10-Year evaluation. *Innovation and Green Development*, 2(4), 100070. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100070>

8. Eskerrak

Eskerrak eman nahi dizkiot EkiOCEAN Elkarteari (Proiektu zenbakia kk-2023/00097) proiektu hau aurrera eramateko emanda ko finantzaketagatik eta kontaktuak ahalbidetzeagatik. Eskerrak, baita ere, AZTI taldeko Ekaitz Erauskin, Rapha Yeregui, Lander Larrañaga, Gaizka Bidegain, eta Goretti Garcíari, itsasoan egindako proba errealetan emandako laguntzagatik.