

Energia berriztagarrietan, zenbaitzu nahikoa ezezagun zaizkigu, bai berriak direlako, bai gure lurraldeetatik urrun erabili edo ikertzen direlako. Horietakoa dugu, zalantzarik gabe, orain aztertuko duguna. Ozeanoen energia termikoa (ingelesez Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC), hain zuzen ere.



Artxibokoa

Ozeanoen energia termikoa

Eneko Imaz*

Idea ez da berria, izan ere Jacques Arsene d'Arsonval-ek aipatu baitzuen 1881ean. Dena den, usiatzeko lehen saioa ez zen 1930a arte iritsi. Georges Clausek ziklo irekiko eredua eraiki zuen Matanzas golkoan, Kubako iparmandebaldeko kostaldean. 22 kilowatteko potentzia zuen, baina sistemak ekoizitakoa baino gehiago

kontsumitzen zuen. 1979an ziklo itxiko sistema eraiki zuten toki berean, eta 15 kilowatteko potentzia netoa lortu zen saiakuntzak iraun zuen bi urteetan. 1981ean japoniarrek ziklo itxiko beste sistema bat eraiki eta 35 kilowatteko potentzia netoa erdietsi zuten. Gaur egun Japonia eta Hawaii-n soilik daude ozeanoen energia termikoa erabiltzeko

planta esperimentalak. Hawaii-koak 240 kW-eko potentzia du. Hala ere, oraindik ez da teknologia berri hau ekonomikoki bideragarria izaterik lortu.

Zer da ozeanoetako energia termikoa?

Ozeanoetako azaleko eta sakoneko uren artean dagoen tenperatura-diferentziaz (hau da, energia

termikoen diferentziaz) baliatuz lortzen den energia da *ozeanoeta-ko energia termikoa*.

Ozeanoa, funtsean, bero-truka-gailu erraldoia da. Egindako zenbait kalkuluren arabera, itsaso tropikalek egunean zurgatzen duten eguzki-erradiazioa 170.000 milioi upel petroliotatik dagoen energiaren baliokidea da (kopuru hori 250.000 milioi upeletara igo duenik ere bada). Hori oso tentagarria da, noski, eta ustiatzeko saioak ere egiten hasiak dira.

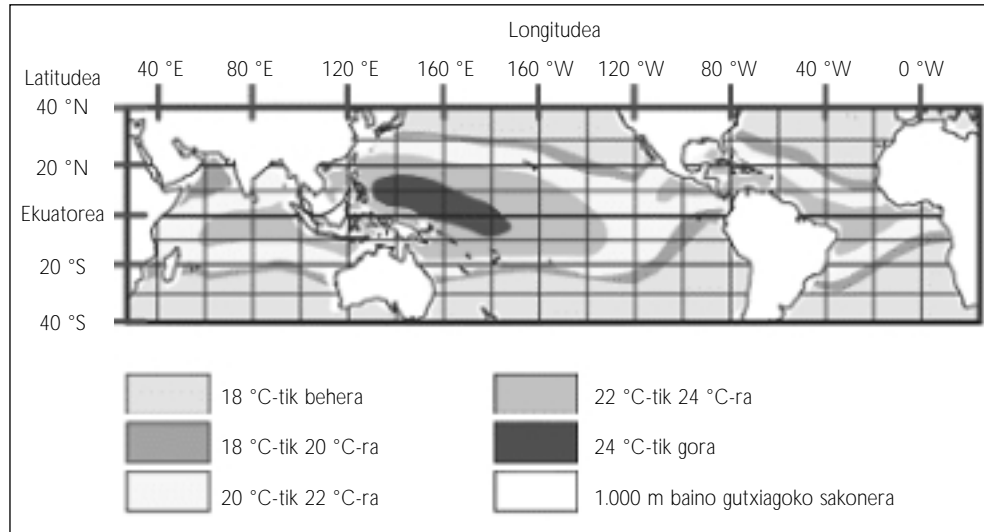
Baina prozesua termikoki errentagarria izan dadin, gune hotz eta beroaren artean gutxienez 18-20 °C-ko tenperatura-diferentzia behar da. Gainera, arazo teknologikoak direla medio, ur hotza 1.000 m baino sakonagotik erauztea ez da komeni izaten. Eta bi baldintza horiek ozeano tropikal eta subtropikaletan bakarrik betetzen dira (ikus 1. irudia), 20 °N eta 20 °S bitartean.

Erabilerak

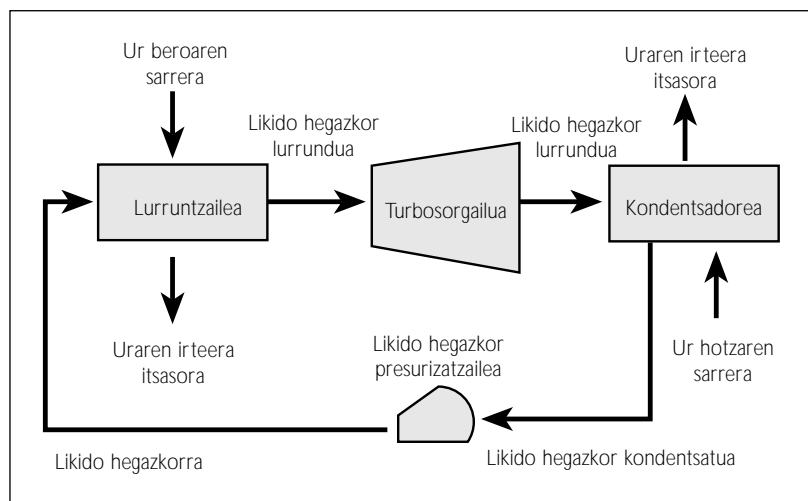
Ozeanoen energia termikoa izan ditzakeen erabileretan elektrizitatea ekoiztea da aukera gehien dituen (hainbat proba egin dituzte zenbait herrialdetan). Horretarako *ziklo itxiko sistema* eta *ziklo irekiko sistema* garatu dira.

Ziklo itxiko sisteman (2. irudia) irakite-puntu baxuko likidua, amoniakoa esaterako, itsasoaren azaleko ur beroaren eraginez lurrundu egiten da eta gero turbinan batzuetan zehar pasatzen da. Ondoren, itsas sakoneko ur hotzak amoniakoa likidotu egiten du, prozesuari berriro hasiera emanez. Turbinen eraginez elektrizitatea sortuko da.

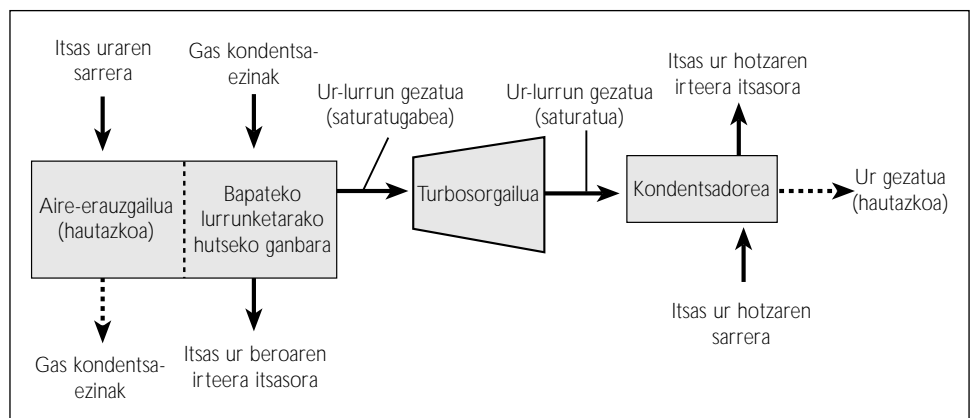
Ziklo irekiko sisteman (3. irudia) lurruntzeko erabiltzen den likidua itsas azaleko ur beroa da. Ur beroa hutseko ganbarara sartu, lurrundu eta lurruna turbinatik pasatzen da, gero ur hotzarekin berri ere kondentsatu eta kanporatzeko. 1982an Japoniako plantak 40.000 wateko potentzia



1. irudia. Ur-azalaren eta 1.000 m-ko sakonera-ko arteko tenperatura-diferentzia.



2. irudia. Ziklo itxiko sistema.



3. irudia. Ziklo irekiko sistema.

ENERGIA BERRIZTAGARRIAK

zuen eta 1993ko maiatzean Hawaii-n egindako proba batean eraikitako plantak 50.000 wateko potentzia izatea lortu zen.

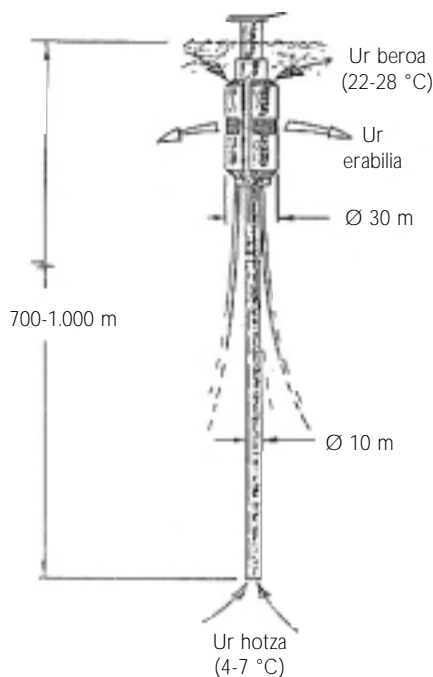
Biak elkartzen dituen *sistema hibridoa* ere osa daiteke. Baina elektrizitatea ekoizteaz gain ur geza eskuratzeko ere erabil daitezke, *ziklo irekiko sistema* eta *sistema hibridoa* ur-azaleko kondentsadoreak erabiliz gero.

Bi erabilera nagusi horiez gain, itsas hondoetatik erauzitako ur hotza, elikagaia ugari duena, haztegietan erabil daiteke (Hawaii izokin, amuarrainen, otarrainen, ostren, txirlen eta itsas belarrien hazkuntzan erabiltzen da). Japonian itsasoko uretatik gai mineralak, uranioa zehazki, erauzteko ikerketak egiten ari dira, horretarako behar den energia-iturria ozeanoetako energia termikoa izanik. Maila teorikoagoan itsas hondoetako ur hotza aire girotuko sistemetan erabiltzeko aukera ere aipatu izan da. Ozeanoetako energia termikoa itsasoan bertan hidrogeno-, amonio- edota metanol-ekoizpenerako erabiltzea ere aipatu izan da.

Oztopoak

Oztopoetako bat, sistema horietarako teknologia behar adina garatu ez izana da, baina oztopo nagusia horrelako plantak eraikitzeak duen kostu izugarri handia da: 120 MWeko potentziako OTEC-planta bat eraikitzeke 2.000 milioi dolar inguru behar dira; 1.000 MWeko potentzia duen zentral termikoa eraikitzeke 20-60 milioi dolar; eta 1.000 MWeko potentziako zentral nuklearra eraikitzeke 1.700-3.500 milioi dolar. Itsas-hondoetan erabili eta kokatu beharreko hodiak dira OTEC-planten eraikuntza gehien garestitzen dutenak, bai lan-inguruneagatik eta bai hodiak egiteko erabili behar diren material bereziak direla eta.

Bestalde, horrela lortutako elektrizitatearekin zer egin da azken arazoa: ea kostalderaino eramatea merezi duen ala energia handia behar duen tarteko produktu bat (nagusiki aluminioa, amonioa, metanola eta ur geza) bertan fabrikatzeko erabiltzea hobe den. Ingurugiroari dagokionez, teknologia honek ez ditu berriztagarri ez diren energia-iturriak erabiltzen edota ez du CO₂-kopuru handirik sortzen. Hala ere, horrelako eraikinek badukete ondorio lokalik, besteak beste, ur-geruzak



Ozeanoen energia termikoaren ustiapenerako eredu orokorra. Goiko kapsulan dago elektrizitatea sortzeko tresneria.

nahasteak eragindako itsasoko uren tenperatura-aldaketak (eta honi lotutako gazitasun- eta elikagai-kontzentrazioaren aldaketak) eragindako distortsio ekologikoak eta bizidunen (algen, arrainen, koralen...) hazkuntza eta ekoizpenera eragindako aldaketak. Bestelako eraginik ba ote duen ere aztertu egin beharko litzateke, noski.

* Elhuyar



JAKINTZA HEDATU

Urtetan zehar Fisikaren helburuetariko bat materiaren egitura eta materia osatzen duten partikulen bakarkako jokabidea zein jokabide kolektiboa aztertzea izan da. Materiaren propietateen berri eman dezakeen informazio-iturri garrantzitsuenetarikoa materia ezberdineko partikula kargatu higikorrek interakzionaraztea izan da, eta era honetako saiakuntzak interpretatu ahal izatearen beharrianak, materiaren eta berarekin interakzionatzen ari diren partikula kargatuen arteko elkarrekintzak aztertzea nahitaezko egin du; izan ere, era honetako ikerkuntza teoriko zein esperimentalek mende honetako Fisikaren garapenean zeregin handia izan dute, fisikaririk ospetsu eta argienetariko batzuen gidaritzapean. Horrelatan, bada, Rutherford-ek 1911. urtean *alpha* partikulak erabili zituen, atomoaren egituraren berri jasotzeko asmoz, eta Bohr-ek 1913. urtean lan aitzindaria plazaratu zuen, *alpha* partikulek materia zeharkatzean jasaten duten balaztatze-indarra kalkulatu. Hurrengo hamarkadan, Mekanika Kuantikoa garatu bezain laster, materiaren eta partikula kargatuen arteko elkarrekintzaren azterketa mekaniko-kuantikoak hasiak ziren jadanik. Garai hartako lan teorikoak burutu zirenez gero lan ugari eman da argitara, materiaren eta ioien arteko elkarrekintzen azterketa teoriko zein esperimentalak burutuz. Halaber, materiaren egituraren berri jasotzeko asmoz elektroioak ere erabili izan dira, Mekanika Kuantikoak aurrerandako materiaren uhin-partikula bikoiztasunean oinarrituriko mikroskopia elektronikoa, eremu-emisiozko mikroskopia zein tunel mikroskopia diseinatu zirenez gero, bereziki. Materia osatzen duten elektroien eta kanpo-partikula kargatuen arteko elkarrekintza aztertzeko, urtetan zehar bi hurbilketa nagusi egin



Partikula kargatuen eta solidoen arteko elkarrekintzak

izan dira. Alde batetik, teoria linealak erabili dira, kanpo-partikulak materia osatzen duen elektroigasean sortarazten duen perturbazioa txikia dela emanik. Bestetik, solidoaren gel eredu erabili da, nukleoek sortarazitako potentzial periodikoaren ordez solidoaren elektroien batez besteko karga negatiboa ezereztatu egiten duen karga positiboko hondo uniformeak kontsideratuz.

Teoria linealez baliaturik, higitzen ari diren kanpo-partikulek elektroigasea kitzikatuz galdu egiten duten energia partikularen kargaren bigarren berredurarako proportzionala dela aurkitu zen. Alabaina, Barkas-ek 1963. urtean pioi positibo eta negatibok materia zeharkatzean galtzen dituzten energiak ezberdinak direla frogatu zuen esperimentalki, energi galera, beraz, proiektilaren kargaren karratuarekiko proportzionala ez dela frogatuz. Izan ere, 1989. urtean antiprotoien energi galerak neurtu ziren, lehenengo aldiz, protoien eta antiprotoien energi galerak konparatuz proiektilaren kargaren kuboarekiko proportzionala den energi galeraren ekarpenaren berri esperimentala eman ahal izan zutelarik.

Gure taldean ekarpen ez-lineal honen jatorriaren azterketa teorikoa burutu dugu, eremuen teoria kuantikoaz baliaturik. Lindhard-ek 1954. urtean elektroien kitzikapenen berri ematen duen funtzio dielek-

triko mekaniko-kuantikoa plazaratu zuen, teoria linealez baliaturik, eta guk elektroien erantzun dinamikoa kuadratikoren berri ematen duten adierazpenak lortu ditugu, ordena handiko perturbazioen garapenak eginez. Protoien eta antiprotoien energi galeren arteko ezberdintasuna elektroigasearen erantzun kuadratikoa datzala erakutsi dugu, esperimentuek auresandakoarekin bat datozen emaitzak lortu ditugarik. Halaber, elektroigasearen erantzun kuadratikoren azterketaz baliaturik, partikula kargatuen eta solidoen arteko elkarrekintzaren ondorioz beha daitezkeen zenbait fenomeno fisikoren ez-linealtasunak ikertu ahal izan ditugu, hauetariko batzuk honako hauek izanik: Partikula kargatuek materia zeharkatzean elektroigasearen baitan sortarazten duten elektroientzitate induzitua lortatza, elektroihutsune eta plasmoi bikoitzen kitzikapena, eta solidoen gainazalean barrena higitzen ari diren partikula kargatuek jasaten duten irudi-potentziala, besteak beste.

Bestalde, azken urte hauetan solidoaren gel ereduaren baitan azalezinak diren zenbait fenomeno fisiko aztertu dira esperimentalki, hala nola soli-

doetan kanalizaturiko ioi azkarren energi galerak eta solidoetako elektroien kitzikatuen bizi-denborak. Gure taldean era honetako esperimentuen emaitzak aztertzen ari gara, nukleoaren potentzial periodikoak sortarazitako banda elektronikoen egitura xehetasun handiz barnehartuz. Honetarako, 'ab initio' izenaz bataiatuak izan ohi diren teknikak erabiltzen ditugu, denborarekiko menpekotasuna duen dentsitatearen funtzionalaren teorian oinarrituz.



X Proiektuaren izenburua: Erantzun kuadratikoa eta solidoetako anitz gorputzen efektuak.

X Helburua:

- 1) Elektroigasearen erantzun dinamikoa kuadratikoren azterketa teorikoa.
- 2) Elektroigasearen truketze- eta korrelazio-efektuen azterketa.
- 3) Partikula kargatuen eta gainazalen arteko elkarrekintzen deskribapena.
- 4) Solidoetan kanalizaturiko ioien energi galerak eta solidoetako elektroien kitzikatuen bizi-denborak: Banda elektronikoen egituraren eragina.

X Finantzazioa: Eusko Jaurlaritzak, CYCIT.

X Zuzendaria: J. M. Pitarke

X Ikerketa-taldea: T. del Río, A. Bergara, I. Campillo eta I. Sarria.

X Departamentua: Materia Kondentsatuaren Fisika.

X Zentroa: Zientzi Fakultatea.