



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Fusio erreaktoreentzako
materialen analisirako teknikak**

*Jon Azkurreta,
Maria Urrestizala Andres,
Natalia Alegría Gutierrez,
Igor Peñalva Bengora
eta Jone Muñoz Ugartemendia*

145-149 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.19>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Fusio erreaktoreentzako materialen analisirako teknikak

Jon Azkurreta, Maria Urrestizala, Natalia Alegría, Igor Peñalva, Jone Muñoz
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU); Plaza Ingeniero Torres Quevedo, 1, 48013,
Bilbao (Ingenieritza Energetikoa Saila)

Kontakturako e-posta: jonazkurreta@gmail.com

Laburpena

Fusio nuklearra egungo energia-egoerari aurre egiteko aukera gisa proposatzen da; horretarako, orain arte garatutako eredu teorikoak baliozkotu behar dira. Hori erronka teknologiko handia da, materialen azterketa horietako bat izanik. Fusio-erreaktore baten barruan materialak muturreko baldintza jasango dituzte, inoiz frogatu ez direnak; beraz, material horien guztien erabilgarritasuna ITERen (International Thermonuclear Fusion Reactor) frogatuko da. ITERen frogatu aurretik, material guztien karakterizazio zehatza egin behar da. Horretarako, material horietako batzuen azterketa UPV/EHUko fusio-materialen laborategian egingo da.

Hitz gakoak: Fusio, ITER, Material, Laborategia.

Abstract

Nuclear fusion is proposed as an option to deal with the current energy situation, for which the theoretical models presented so far must be validated. This represents a great technological challenge, material analysis being one of them. Inside a fusion reactor, the materials will be exposed to extreme conditions that have never been demonstrated, which is why the usefulness of all these materials will be demonstrated in ITER. Before proving it in ITER, a thorough characterization of all materials is necessary, for which the analysis of some of these materials will be carried out in the UPV/EHU fusion materials laboratory.

Keywords: 3-6 in English

1. Sarrera eta motibazioa (Formatu orokorra eta bibliografia)

Egungo energia-egoeraren ondorioz energia-iturri berrien garapena nahitaezkoa bilakatu da. Azken hamarkadan fusio nuklearrak garrantzi handia hartu du. Egun energia-iturri masibo, bukaezin, garbi eta segurua izatea espero da. Jada, teorikoki bere baliagarritasuna frogatu egin da eta hau lortzeko beharrezko teknologiaren garapena hasi da; ITERaren fusio nuklearraren baliagarritasuna frogatuko duen erreaktorearen eraikuntza abian da dagoeneko eta 2035erako prest egotea espero da.

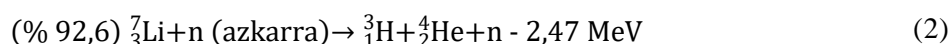
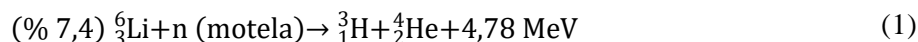
Etorkizuneko fusio erreaktoreek funtsezko bi funtzio bete beharko dituzte: (1) fusio erreakzioek sorturiko energia ekoiztea energia elektrikoa sortzeko eta (2) erreaktoreak lan-bizitzan zehar erreakzio termonuklearrak mantentzeko beharrezko diren tritio kantitatea ematea. Bi funtzio hauek bilgarri-birsortzaileak bermatuko ditu. Bilgarri-birsortzaileek-fusio erreaktore baten funtsezko atal bat izango dira, non azaleran plasma inguratzen duten elementuen % 80 izango diren eta hauen hozte-sistemak fusio erreaktoreak sortzen duen energia termikoaren % 80-85 jaso beharko duten.

Elementu hauek duten lan-ardura eta eduki dezaketen inpaktu sozio-ekonomikoa dela eta, azkenengo 40 urteetan proposamen ugari egin dira nazioartean hauek eraikitzeke erabil daitezkeen material konbinazioen inguruan eta hauen bermeen inguruan. Ildo honetatik, egun, ITERek programa bat abiarazi du bilgarri-birsortzaileen funtzionamenduari datu esperimentalak lortze arren fusio nuklearraren baldintzetan. Programa honi ITER TBM deritza. Programa honek arrakasta izateak aurrerapauso erabakigarri bat suposatuko du DEMO eraikitzeke, baita etorkizunean eraikiko diren fusio erreaktoreentzat. Programa honen barnean bilgarri-birsortzaileen sei eredu modelo desberdinen neurketak egitea espero da. Eredu hauek eta hozketa eta tritioa ekoizteke/lortzeko baliagarriak diren gainerako bigarren mailako sistemak Test Blanket System (TBS) deritze eta ITERen entseatzeko integratuko dira. (Neilson, 2016)

2. Arloko Gaiaren egoera eta ikerketaren helburuak

Tritioa birsortzeko bide fisiko errazena litioa eta fusio erreazioan sorturiko neutroien arteko erreazioak dira, ikus 1. eta 2. ekuazioak. Honen ondorioz Litioa eta bere konposatuak (Litio gatz urtuak eta litio aleazio urtuak) bilgarri birsortzaileen parte izateko proposatu dira. Bilgarri birsortzaileen eraikuntzan hurrengo materialen konbinazioa izatea nahitaezkoa da:

- Aktibazio baxuko egitura-materiala.
- Neutroi biderkatzailea den material bat
- Hozgarri primarioa (edo zenbait)
- Tritio birsortzailea den material bat.



Bilgarri birsortzaileen diseinua funtsezko hiru alderdi ditu:

- Babes erradiologikoa
- Efizientzia termikoa
- Tritio birsorkuntza ratioa

Bilgarriak, fusio erreaktoreek sortzen duten erradiazioaren gehiengoarekiko blindagarriak izan behar dira eta aldi berean neutroiek sortzen duten beroaren kanporanzko transmisioa ahalbidetu behar dute modu efiziente baten. Beraz, beharrezkoa da aktibazio baxuko egitura-materialak hautatzea (RASM, Reduced Activation Structural Materials) eta material hauekin bateragarria den material hozgarria. Gainera, material hauen hautaketa neutroi biderkatzailea den material baten hautaketarekin bateratu behar da, modu honetan tritioaren eta bero-transmisioa kanporaketa maximizatuz. Baldintza hauek guztiak betetzeko hurrengo materialak proposatu dira:

- **Tritio birsortzaileak:** ^6Li aberasturiko zeramikak, Li purua, Li-Pb aleazio eutektikoa eta Li Gatzak.
- **RASM:** Altzairu ferritiko-martensitikoa, V aleazioak eta Silizio karburoak.
- **Neutroi bidekatzaileak:** Be.
- **Hozgarri bateragarriak:** presiopeko ura, presiopeko He, metal urtua abiadura handian eta Li gatzak.

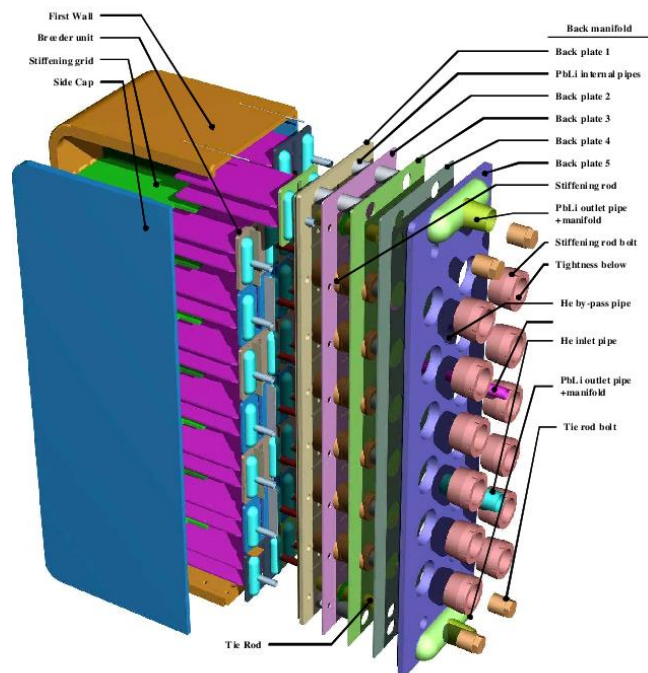
Aipaturiko material artean 60 konbinazio desberdin lortu daitezke baina, gaur egun bideragarritasun teknologikoa duten konbinazioak 10 besterik ez dira.

Proposaturiko 10 konbinazioak bi taldetan banatu daitezke: Metal urtuko bilgarrien diseinu kontzeptualak eta bilgarri solidoko diseinu kontzeptualak. Lehenengo taldeak tritio birsortzaile moduan Li duten metal urtuak erabiltzen dituzte eta bigarren taldekoek material birsortzaile moduan Li duten zeramikak erabiltzen dituzte. Gaur egun, ITERen barnean frogatzeko 6 TBS desberdin kontsideratzen dira fusio termonuklear ingurumen batean hauen analisiak burutu ahal izateko. Eredu guzti hauetan, egitura-materiala aktibazio baxuko altzairu ferritiko-martensitiko bat da (RAFM, Reduced Activation Ferritic/Martensitic). Li-Pb-an oinarritutako modeloak Pb-16Li eutektikoa erabiltzen dute, bere fusio puntua 235 °C da eta TBS-en erabilera tenperaturak 300-550 °C bitartean daudenez metal urtu moduan lan egingo du. Bestalde, zeramiketari oinarritutako ereduak Li_4SiO_4 edo Li_2TiO_3 bola ohantzeak erabiltzen dituzte. Halaber, garatzen hari diren ikerketa proiektu desberdinen ondorioz, TBS diseinuak aldaketak jasango dituzte etorkizunean.

2.1 Helium Cooled Lithium Lead (HCLL)

Helium Cooled Lithium Lead (HCLL) Europar Batasunak proposaturiko TBS bat da, zeinak Pb-16Li metal urtua erabiltzen duen bai tritio birsortzaile moduan, baita eta neutroi biderkatzaile moduan. Honen eraikuntzan darabilken egitura-materiala Eurofer altzairua izango da, lehen aipatutako RAFM altzairuetako bat. Altzairu hau, Li-a ${}^6\text{Li}$ -arekin aberastuta dago %90 batean. Pb-16Li-aren fluxua nahiko motela da, honela barnean duen tritioaren ateratzea ahalik eta efizienteena izateko, ondoren tritio tratamendu instalaziora bidaltzeko. HCLL- a 8 MPa presiopean dagoen Helio bidez hozten da. 1. Irudian ikus daiteke HCLL-aren irudi eskematiko bat.

Irudia 1: HCLL baten atalak (Aiello eta al., 2012)



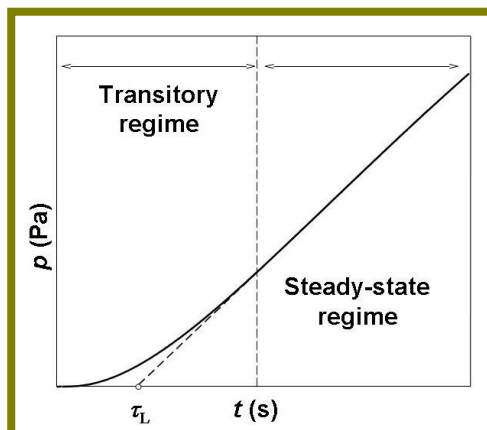
3. Ikerketaren muina

Orain arte aipatu den moduan, material guztiak nolabaiteko elkarrekintza dute tritioarekin edota hidrogenoaren beste isotopoekin. Horretarako Euskal Herriko unibertsitateko Fusio materialen laborategian material hauen analisiak burutzeko instalazio desberdinak ditu. Instalazio hauetan material desberdinek hidrogenoen isotopoekin edo beste gas batzuekin duten elkarrekintzen azterketa egiteko balio dute, egoera solidoan edo likidoan.

3.1 Iragazketa instalazioa

Iragazketa instalazioan material solidoek hidrogenoarekin eta deuterioarekin duten elkarrekintzen azterketa burutzeko balio du. Bere izenak dioen moduan, materialen iragazkortasuna lortzeko balio du, horretarako, materialaren lagin baten aurpegietako bat desiratuko gas batekin kontaktuan jartzen da, gas hau kontrako aurpegira iragazten hasiko da eta 2. irudian ikus daitekeen moduan aurpegi horrek jasango duen presio igoera neurtzen jasotzen da.

Irudia 2: Iragazketa kurba teorikoa

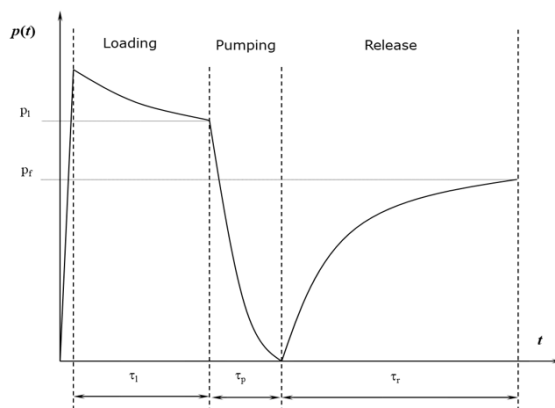


Instalazio honetan neurtzen diren materialak RAFM eta V aleazioak dira. Hauen iragazkortasuna ezagutzea oso garrantzitsua da bilgarrien diseinurako, alde batetik, RAFM altzairuek oso iragazkortasun baxua dute eta ez dute tritioa iragazten uzten eta beste aldetik V aleazioek iragazkortasun altua dute. Datu hauek jakinda tritio erauzketa optimizatu daiteke.

3.2 Absortzio-desortzio instalazioa

Instalazio honetan material desberdinek gas bat xurgatzeko eta askatzeko duten gaitasuna neurtzen da. Horretarako materiala desiratuko tenperaturara berotzen da, ondoren materiala dagoen bolumenean desiratutako gasa presio zehatz batean gehitzen da eta denboran zehar presioaren jaitsiera neurtzen da. Azkenik gas guztia bolumenetik ateratzen da, horrek materialak xurgatutako gasa askatzea eragingo du eta bolumenaren presioa igotzen hasiko da. 3. Irudian ikus daiteke azaldutako prozeduraren kurba bat.

Irudia 3: Abs-Des kurba baten eredua



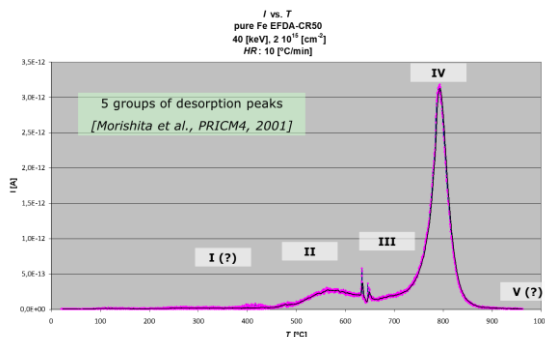
Instalazio honetan Pb-16Li metal urtua aztertzen da, honen bidez bere barnean biltegitatu dezakeen gas kantitatea neur daiteke eta gas hori askatzeko duen gaitasuna ere. Aurreko instalazioan lortzen diren datuekin batera TBS-ak optimizatzeko oso parametro garrantzitsuak dira.

3.3 TDS – Desortzio termikoko espektrometria

Azkenik TDS Instalazioa dago, bertan gas desberdinak sartuta dituzten materialak entseatzeko dira. Materiala modu jarraian berotzen doan heinean espektrometro masiko baten bidez materialak

zein tenperaturan askatzen duen gasa eta zein kantitatetan jakin daiteke. Instalazio honen helburua, material desberdinek helioarekin duten interakzio ezagutzea da, aurretik esan den moduan, neutroiak litioarekin erreakzionatzean tritioa eta helioa sortzen dira. Helio horrek arazo handiak ekar ditzake material desberdinen barnean sortzean, horregatik beharrezkoa da material desberdinek He askatzeko duten gaitasuna. 4. Irudian ikus daiteke TDS kurba bat.

Irudia 4: TDS kurba



4. Ondorioak

Fusio nuklearra egungo energia-sistema barruan sartzea eta onartua izatea jorratu beharreko ibilbide luzea da. Ibilbideak bermea izan dezan, fusio erreaktoreak eraikitze baten erabiliko diren materialen azterketa eta analisi sakona egitea beharrezkoa da. EHU-ko fusio materialen laborategiak horretan dihardu; dituzten instalazioei esker material hauek ezaugarritzea ahalbidetuko du. RASM materialen analisia da garrantzitsuena, hauek izango baitira erradiatziotik babestuko gaituzten lehen erresistentzia. Hau dela eta, material hauek sakonean aztertu behar dira. Lagin bakoitzak beharrezkoa duen entsegu denboraren ondorioz, 30-40 egun, material hauen analisia ez da epe labur baten bukatzea espero.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunean, instalazioen automatizazioa jarraituko da. Horrek entseguen abiadura handituko du eta pertsona baten eragin ahal dituen akatsak saihestuko ditu ere. Honek guztiak inbertsio handia suposatzen du eta ez da epe labur baterako espero.

6. Erreferentziak

Neilson, G. (2016). *Magnetic Fusion Energy: From Experiments to Power Plants (Woodhead Publishing Series in Energy Book 99) (English Edition)* (1.^a ed.). Woodhead Publishing.

Aiello, G., De Dinechin, G., Forest, L., Gabriel, F., Puma, A. L., Rampal, G., Rigal, E., Salavy, J., & Simon, H. (2011). HCLL TBM design status and development. *Fusion Engineering and Design*, 86(9-11), 2129-2134.

7. Eskerrak eta oharrak

Aurkeztutako lana doktore-tesi baten sorburu eta justifikazioari dagokio. Fusio Materialen Laborategian burututako neurketak Europar Batasunak Euratom Programaren bidez finantzaturako Ikerketa eta Prestakuntzarako EUROfusion proiektuen esparruan daude (diru-laguntzetarako 101052200-EUROfusion hitzarmena). Hala ere, adierazitako iritziak eta ikuspuntuak egileenak baino ez dira, eta ez dituzte Europar Batasunarenak edo Europako Batzordearenak islatzen. Ez Europar Batasuna ez Europako Batzordea ezin dira horien erantzuletzat hartu.