



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

**Gorputz solidoz osatutako laten
beroketa prozesuaren analisi
numerikoa,**

*Uxue Arrieta,
David Alonso de Mezquia Gonzalez,
Ricardo Blanco Aguilera eta
Mohammed Mounir Bou-Ali Saidi*

191-198 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.25>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Gorputz solidoz osatutako laten beroketa prozesuaren analisi numerikoa

Uxue Arrieta¹, David Alonso de Mezquia¹, Ricardo Blanco¹, M. Mounir Bou-Ali¹

Fluido-mekanika taldea, Mekanika eta Industria Ekoizpen Saila, Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola
Politeknikoa, Loramendi 4, 20500, Arrasate

dalonso@mondragon.edu

Laburpena

Elikagaien segurtasuna eta kalitatea mantentzearen garrantzia kontuan hartuta hondakinak eta emisioak murrizteko helburuarekin, lan honetan tamaina desberdinetako gorputz solidoak dituzten janari-laten tratamendu termikoa aztertu da. Analisia bibliografian eskuratutako datu esperimentalen bidez baliozkotutako eredu matematiko bat erabiliz egin da. Ondoren, eredu hori lataren barruan masa solidoa konstante mantendu den hiru kasu aztertzeke erabili da, baina gorputzen tamaina aldatuz. Hortaz, ontziratutako janariaren, tratamendu termiko bidezko esterilizazio prozesuan eragina daukaten parametroak definitu eta berotze prozesuko abiadura aztertu da.

Hitz gakoak: CFD, Janari-latak, Esterilizazioa, Berotze prozesua

Abstract

With the aim of reducing waste and emissions taking into account the importance of maintaining food safety and quality, this paper focuses on the thermal treatment of solid body samples of different sizes. The analysis was performed using a mathematical model validated by experimental data obtained in the literature. Subsequently, this model has been used to analyze three cases in which solid mass has remained constant within the can but varying the size of the bodies. Therefore, parameters that influence the process of sterilization by heat treatment of packaged food have been defined and the heating rate has been analyzed.

Keywords: CFD, Food Canning, Sterilization, Heat Process

1 Sarrera eta motibazioa

Desnutrizioaren prebalentzia kontuan hartuta, gose diren pertsonen kopurua handituz joan da 2015etik. Gaur egun, munduan 690 milioi pertsonak gose direla kalkulatzen da, hau da, munduko populazioaren %8,9a, urtean 10 milioi pertsona gehiago (Casado et al. 2021).

Era berean, kalkulu berrienak erakusten dute COVID-19aren ondorioz, 83 eta 132 milioi artean handitu daitekeela gose diren pertsonen kopurua (Elikadura eta Nekazaritzarako Nazio Batuen Erakundea eta beste, 2020). 2021eko Munduko Elikagaien Segurtasunaren eta Nutrizioaren Estatuak dioenez, COVID-19aren pandemia baino lehen ere areagotzen ari zen eta horrek egoera larriagotu baino ez du egin. Horrek esan nahi du, joera jarraitua bada, desnutrizioa jasaten duten pertsonen kopurua 840 milioitik gorakoa izango dela 2030ean.

Hori horrela, zuzeneko eragina dute besteak beste klima-aldaketak, tenperatura-igoerak, prezipitazio-ereduen aldaketak eta muturreko fenomeno meteorologikoek. Desnutrizio-mailak askoz handiagoak dira klima-aldaketak eragindako prezipitazio eta muturreko tenperaturekiko sentikortasun handiagoa duten herrialdeetan, batez ere ekonomiaren zati handiena nekazaritzatik datorren eremuetan. Esate baterako, 2050erako 78 milioi pertsona gehiago egoera honetan egongo direla espero da, klima-aldaketaren ondorioz (Casado et al. 2021). Sulser et al.-ek (2021) egindako azterketa baten arabera, nekazaritza-garapenean, uraren kudeaketan eta landa-azpiegiturretan inbertsioa eginez, klima-aldaketak eragindako desnutrizioa konpentsatzea lortuko litzateke. Hala ere, neurri horrek 25.000 milioi dolar gehiago ekarriko litzuzke urtean, egungo finantziarioa kontuan hartuta.

Elikagaiek sortzen dituzten hondakinei dagokienez, gaur egun elikagaien herena botatzen da eta, askotan, egoera onean, hau da, kontsumitu aurretik. Gainera, hazkunde demografiko eta ekonomikoaren ondorioz, elikagaien eskaera %70 handitzea espero da (Barros 2017). Hondakin horiek zuzeneko eragina dute ingurumenean, klima-

aldaketa eragiten duten emisioen %22 sortzen baitute (Chapagain eta James 2013).

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Elikagaien industrian, helburu nagusietako bat elikagaiak ahalik eta denbora luzeenean kontserbatzea da, nutrizio-balioan gutxieneko aldaketak dituen kontsumo segurua izateko. Hainbat hamarkadatan, elikagaien sektoreko ikerketa teknologia berriak aztertzea bideratu da. Arazo zaharrei irtenbidea ematea izan da helburua, elikagaien segurtasuna bermatu ahal izateko, elikagaien nutrienteak galdu gabe, merkatuaren eskariari erantzunez eta produktuen zentzumenak eta freskotasuna gordez. Horretarako, prozesu seguruak, azkarrak, ekonomikoak eta ingurumena errespetatzen dutenak bilatzen dira. Hori lortzeko, metodo termiko tradizionalak gain (Holdsworth eta Simpson, 2015), metodo berritzaileak ere erabiltzen dira, hala nola presio handia, erradiazioa edo ultrasoinuak (Jiménez-Sánchez et al. 2017; Ortuño et al. 2012). Hala ere, gaur egun gehien erabiltzen den metodoetako bat latak eta tratamendu termikoa konbinatzea da, elikagaien bizitza erabilgarria eta elikagaiak dituzten nutriente guztiak areagotzeko (Guerrero-Legarreta 2014).

Teknika horretan, elikagaiak ontziratatu egiten dira, eta tratamendu termikoa aplikatzen zaie kaltetzen dituzten ahalik eta mikroorganismo gehien deuseztatzeko (Bigelow eta Esty 1920). Oro har, zenbat eta handiagoa izan tenperatura eta mantentze-denbora berotze-prozesua egin ondoren, mikroorganismo gehiago suntsituko dira. Baina gehiegi berotzeak kalte egin diezairoke elikagaien beste propietate batzuei, hala nola koloreari, testurari, energia kontsumoari, etab (Holdsworth eta Simpson, 2015).

Berotze prozesuan, elikagaien mikroorganismoak behar bezala desaktibatzen ez badira, elikagaia aldeko baldintzetan dagoenean aurrez desaktibatutako diren mikroorganismoak berriko haziko dira esporetatik. Aldeko baldintzak tratamendu termikoa amaitzen denean ematen dira, elikagaia ontziratuta eta biltegiatuta dagoenean. Mikrobioen ikuspegitik, egokiena litzateke produktuak estres termiko handia izatea, mikroorganismo guztiak deskribatu ahal izateko, kalitate sentzoriala murriztu gabe edo nutrizio-balioa galdu gabe. Hau da, degradazioari eragiten dioten mikroorganismoak desagerraraztea, elikagaiaren bitaminak eta osagai proteikoak kendu gabe. Hala ere, oreka lortu behar da, produktuen kalitatea galdu gabe produktuen segurtasun mikrobiologikoa bermatzeko.

Hori horrela, zenbait ikerketak prozesu hori optimizatzeko metodoak aztertu dituzte, hala nola ontzien mugimendua (Erdogdu et al. 2017). Prozesu horren bidez, bero-transmisioa hobetu daiteke, eta, hala, azkarrago eta homogeneoago berotu daiteke, edo tenperatura aldakorrak erabil daitezke (Durance 1997), elikagaien kalitatea hobetzeko. Kasu bakoitzerako latan barruan dagoen aire kopurua edo *headspace* maila egokia ere aztertu da (Droogenbroeck et al. 2021; Erdogdu eta Tutar 2011).

Bestalde, aipatu beharra dago elikagaien beroketa prozesuaren analisi esperimentalak konplexuak diren heinean, konputazio-arloan egindako aurrerapenei esker, geroz eta ugariagoa da *Computational Fluid Dynamics* (CFD) bitartez analisi hauek burutzea (Park eta Yoon 2018). CFD kalkuluak aplikatzean, kasu askotan kostuak murrizten dira saiakuntza esperimentalen aldean. Izan ere, kalkulu-potentzia egokia izanik, CFD simulazioak nahiko denbora laburrean egin daitezke. Horrez gain, Navier-Stokes-en ekuazioen (Bistafa 2018) zenbakizko ebazpena ahalbidetzen du, zenbait aldagai eta horiek prozesuan duten eragina aztertzeko aukera emanez.

Bestalde, ez dira analisi asko egin produktu solid-likidoen bero-transferentzia aztertzen dutenak, non bero-transferentzia aldi berean konbekzio naturalaren bidez eta kondukzio bidez gertatzen den. Horren adibide da, Rabiey et al. autoreek (2007) egindako analisia. 3Dko simulazioak egin zituzten lata bertikal zilindriko batean partikula handiak esterilizatzean gertatzen den bero-transferentzia eta fluxuaren eta partikulen arteko bero-transferentzia aztertzeko. Era berean, Kiziltaş et al. autoreek (2010) eta Cordioli et al. autoreek (2015) latetako elikagaien likido-solido nahasteetarako bero-transferentzia simulatu zuten, eta prozesua pasteurizazio-baldintzetan baliozkotu zuten.

Hori horrela, ikerketaren helburu nagusia ontziratutako partikulek tratamendu termikoaren bidezko esterilizazio prozesuan duten eragina aztertzea da, masa konstante mantenduz, tratamenduaren denbora tenperatura jakin batera egokituz eta, hala, elikagaien segurtasuna eta kalitatea bermatzeko. Horretarako partikulak gorputz solido esferikoak direla kontsideratu da, patatak hain zuzen.

3 Ikerketaren muina

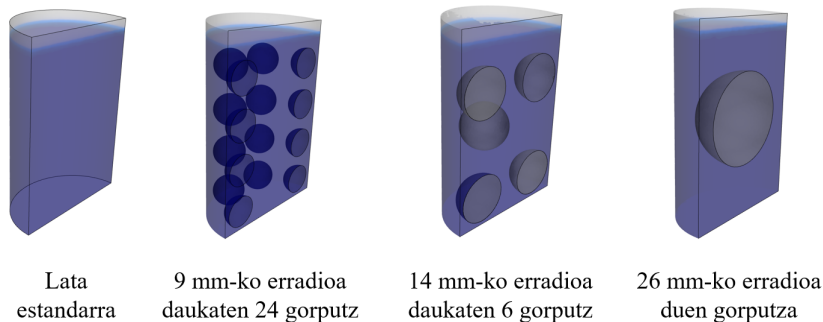
Atal honetan beroketa prozesuan erabilitako zenbakizko ereduaren baliozkotzea, aztertutako kasu bakoitzerako erabilitako geometria, aplikatutako ekuazio eta mugaldeko baldintzak azaltzen dira.

3.1 Geometria

Simulazioak egiteko, 36,5 mm-ko erradioko lata zilindriko estandarra modelizatu da, 110 mm-ko altuerarekin, Erdogdu eta Tutar-en (2011) lanean erabiltzen den bezala. Horrez gain, ontzi honetan tamaina desberdineko partikula esferikoak aztertu dira: 9 mm-ko erradioa duten 24 gorputz, 14 mm-ko erradioa duten 6 gorputz eta 26 mm-ko erradioa duen gorputz bat, solidoen masa totala konstante mantenduz. Bestalde, analisi hau egiteko erabili diren latetan ura 100 mm-ko altueraraino eta airea, gainerako bolumena, definitu dira (1. Irudia)

Gorputzen geometria esferikoa dela eta, baztertu egin da 2D-ko geometria axisimetrikoa erabiltzea, eta 3D-ko eredu baten bidez modelizatu da sistema. Gainera, lataren erdiko plano bertikalean aurrerago azalduko den simetria-baldintza aplikatu da kostu konputazionala murrizteko helburuarekin. 1. Irudian kasu bakoitzean modelizatu den partikulen distribuzioa eta lataren geometria ikusi daiteke. Hori horrela, partikulak modu uniforme batean kokatu dira eta finko mantentzen dira prozesu osoan zehar Yang et al.-ek (2014) egindako ikerketa kontuan hartuta.

1. Irudia: Geometria konputazionalan aztertutako partikulen distribuzioa kasuaren arabera



3.2 Gobernu ekuazioak

Zenbakizko kalkuluak bolumen finituen metodoaren bidez egin dira, CFD *STAR CCM+* (2019) softwarea erabiliz. Bigarren mailako zenbakizko diskretizazioaren eskema bat erabili da, gobernu-ekuazio bakoitzaren konbekzio-terminoetarako, eta lehen mailako denbora integrazio inplizitu baten eskema denboraren diskretizaziorako.

Kalkulan aplikatutako gobernu ekuazioak masaren kontserbazioa, energiaren kontserbazioa eta momentuen kontserbazioa dira. Masaren kontserbazioa masa-balantzea da kontrol-bolumen baten bidez, eta jarraitutasun-ekuazioaren bidez adierazten da (1 ekuazioa)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho dV + \oint \rho \mathbf{v} d\mathbf{a} = \int S_u dV \quad (1)$$

Non t denbora den, V bolumena; a azalera deskribatzen duen bektorea, ρ dentsitatea, v abiadura eta S_u erabiltzaileak zehaztutako jatorrizko terminoa. Bestalde, termodinamikako lehen legea kontrol bolumenari aplikatuz energia kontserbazioa definitu daiteke (2 ekuazioa)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho E dV + \oint \rho H \mathbf{v} \cdot d\mathbf{a} = - \oint \mathbf{q} \cdot d\mathbf{a} + \oint \mathbf{T} \cdot \mathbf{v} d\mathbf{a} + \int \mathbf{f}_b \cdot \mathbf{v} dV + \int S_u dV \quad (2)$$

Non E energia den, H sistema osoaren entalpia eta q bero fluxua. Masa eta energiaren kontserbazioaren ekuazioak definitu ondoren, momentuaren kontserbazioa (3 ekuazioa) definitzen da

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \mathbf{v} dV + \oint \rho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v} \cdot d\mathbf{a} = - \oint p \mathbf{I} \cdot d\mathbf{a} + \oint \mathbf{T} \cdot d\mathbf{a} + \int \mathbf{f}_b dV + \int \mathbf{s}_u dV \quad (3)$$

Non p presioa da, T estres likatsuren tenkagailua, f_b gorputzaren indarraren emaitza eta s_u erabiltzaileak zehaztutako sorrera terminoa.

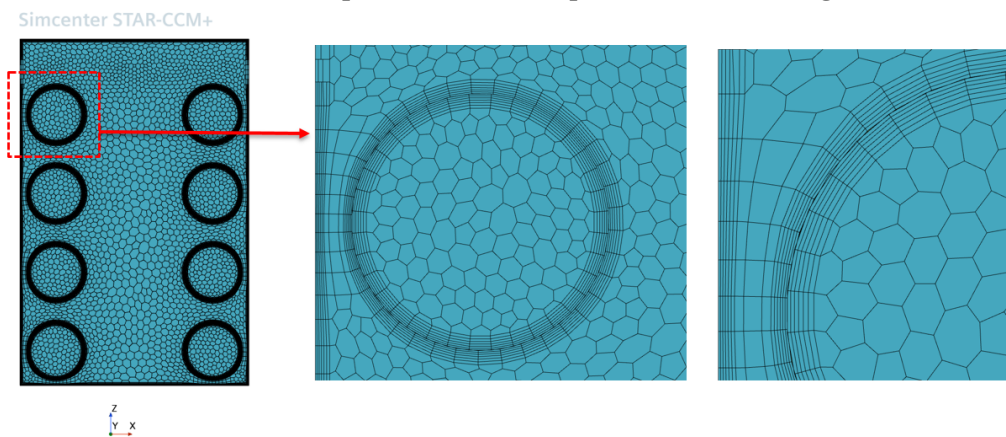
3.3 Sare-konfigurazioa

Geometria konputazionala definitu ostean, diskretizazioa egin da sare-konfigurazioa definituz. Sarea hainbat elementuz osatuta dago eta elementu bakoitza nodo, aurpegi era ertzak definitzen dute. Aztertu nahi den fluidoaren propietate guztiak, hala nola abiadura edo tenperatura, sarea osatzen duten nodo bakoitzean kalkulatzen dira, horien arteko emaitza interpolatuz.

Hori horrela, bereizmen handiko sare-konfigurazioa aplikatu da partikulen gainazaletik gertu dauden elementuetan egituratutako gelaxka hexaedroz osatuta. Gelaxka horiek ezartzearen helburua fluxu konbektiboaren abiadura eta tenperatura zehaztasunez ebaztea da. Hori horrela, 6 kapaz osatutako inflazioa aplikatu da, hau da, gainazalari perpendikularrak diren elementu pramatikoz osatutako 6 geruza aplikatu dira. Gainera, 1,1-eko hedapen-faktorea aplikatu da. Aldagai honek hormaren ondoz ondoko geruzetako elementu pramatikoen lodiera hazkunde-abiadura zehazten du. Bestalde, uraren eta airearen arteko interfasean, hau da, bi fase edo ingurune desberdinen arteko bereizketa-eremuan, kontrol-bolumena aplikatu da hobeto definitzeko eta kalitate handiagoko emaitzak lortzeko helburuarekin.

Hortaz, bai fluido eta bai partikulak definitzeko elementu hexaedroz osatutako sare konfigurazioa aplikatu da geometria konputazionalera hobeto egokitzen baita. Adibide gisa 2 irudian 9 mm-ko erradioa daukaten partikulen kasuan erabilitako sare konfigurazioa ikus daiteke.

2. Irudia: 9 mm-ko partikulen kasuan aplikatutako sare-konfigurazioa



3.4 Inguru baldintzak

Lataren hormetan, abiaduraren osagaiak ez irristatzeko baldintzat hartu dira, eta goiko, beheko eta alboko aldeak 373 K-ko tenperatura konstante eta uniformetzat. Hasierako tenperatura uniformea eta konstantea 300 K-koa izan da bai fluidoarentzat bai partikulentzat. Lataren erresistentzia termikoa oso txikia dela kontuan hartuta, hau da, eroankortasun handia duten horma finak, fluidoaren hormetako tenperatura konstantea aplikatu da zuzenean, inguru-baldintza gisa. Baldintza hori aurretik aplikatu da beste lan batzuetan (Erdogdu eta Tutar 2011).

Horrekin batera, partikulen eta fluidoaren arteko ukipen-interfazea aplikatu da. Ukipen-interfazeak bi eskualde lotzen ditu eta bien artean beroa transferitzeko aukera ematen du. Beraz, kontaktuan dauden bi gorputzek tenperatura bera izan behar dute ukipen-eremuan. Ondorioz, fase arteko bi aldean gaineko bero-fluxuak berdina izan behar du. Kasu batzuetan, kontaktu hori ez da perfektua, baina analisi honetan ez da aztertuko, fluidoaren eta partikulen arteko kontaktua perfektua dela kontsideratu baita.

Uraren propietate termofisikoei dagokienez, IAPWS-IF97 (Wagner eta Kretzschmar 2008) eredu erabili da eta airearen kasuan aldiz STAR CCM+ base datuko propietateak hartu dira erreferentzia gisa. Era berean, patataren propietateak ere konstante mantendu dira prozesu osoan zehar (Caballero et al. 2003).

3.5 Zenbakizko metodoa eta ebazteko prozedura

Fluidoari dagokionez, fluxu laminarra kontsideratu da azterketa osoan. Hala ere, aipatu beharra dago turbulentzia-eragin aztertzeko lehen analisian K -Epsilon (Launder eta Spalding 1974) modelo turbulenta aplikatu dela

baina emaitzetan aldaketa nabarmenik ez dagoela ikusi da. Tutar eta Erdogdu-ek (2012) egindako azterketaren arabera, prozesuaren hasieran turbulentsia egon arren, emaitzetan ez dute eraginik, hau da, baztergarriak direla kontsideratu daiteke. Beraz, esan daiteke fluido laminarra kontsideratu daitekeela. Bestalde, Hirt eta Nichols-ek (1981) proposatutako fluido-bolumenaren elementuen eredu (VOF) ura/airea interfazearen jarraipena definitzeko erabili da.

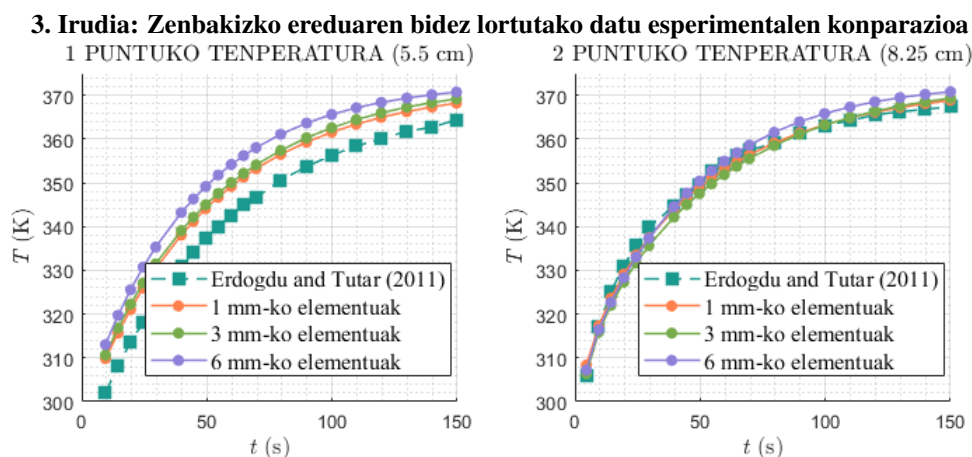
Iterazio-konbergentziaren irizpideari dagokionez, 10^{-4} -ean finkatu da 0,001 s-ko *time-step* minimoarekin eta *time-step* bakoitzean gehienez 20 iterazio burutu dira. *Time-step* aldakorra aplikatu da kostu konputazionala murriztu eta emaitzen kalitatea mantentzeko helburuarekin. Horretarako, *Convective Courant Number* (Courant et al. 1928) parametroa kalkulatu da, denboraren neurria hautatzeko adierazle erabilgarria baita. Denbora kontsideratzen duten simulazioetan zehaztasuna lortzeko, Courant-en balio optimoa 1 izango litzateke.

Hori horrela, simulazioetan baldintza hau ezartzeko, *Convective CFL Condition* aplikatu da, Courant zenbakia kontuan hartuta *time-step*-aren tamaina mugatu ahal izateko. Denbora mugatzeko metodo desberdinak egon arren, metodo hau erabiltzea erabaki da fluxu transitorioko arazoetarako egokia baita.

3.6 Modeloaren balidazioa

Modeloaren balidazioa egiteko Erdogdu eta Tutar-ek (2011) egindako entsegu esperimentalak erabili dira erreferentzia gisa. Horrela, sarea definitzeaz gain simulazioak balidatu egin dira. Horretarako, urez betetako lata baten simulazioa egin da aire espazio bat gehituz. Horrela, esperimentalki neurtutako lataren bi puntuetako tenperaturak simulazioko datuekin konparatu eta datu horietara hobeto egokitzen den sare konfigurazioa hautatu da. Lata barruko fluidoaren tenperatura bi puntutan neurtu da: lataren beheko aldetik 5,5 cm-tara (1 puntua) eta 8,35 cm-tara (2 puntua).

Hori horrela eta datu esperimentalak erreferentzia gisa hartuta, elementu finituen kalkulu-entseguak erabiltzen den sarea optimizatzeko azterketa bat egin da. Horretarako, sarea osatzen duten elementuen tamaina desberdina daukaten simulazio iragankorretan lortutako emaitzak, emaitza esperimentalekin alderatu dira. Aipatu beharra dago azterketa honetan erabilitako simulazioa aurrez definitutako simulazio berdina dela baina esfera solidoak kontuan eduki gabe. Beraz, datu esperimentalak hiru kasu desberdinekin alderatu dira: sare konfigurazioko elementuak 1 mm-koak direnean, elementuak 3 mm-koak direnean eta azkenik elementuak 6 mm-koak direnean. 3. Irudian sarearen elementu tamainak tenperaturaren bilakaeran duen eragin ikusi daiteke deboran zehar.

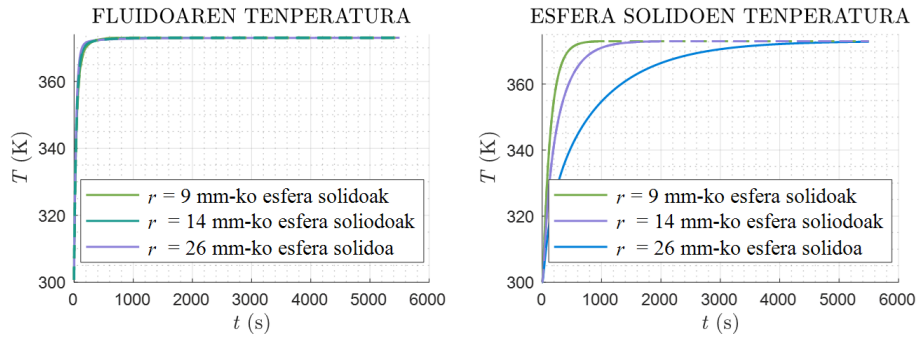


3. Irudia aztertuz gero, ikusi daiteke datu esperimentaletara gehien hurbiltzen den balioa 1 mm-ko elementuz osatutako sarea dela. Hala ere, 3 mm-ko elementuz osatutako sarearekin alderatuta, diferentzia %2-a baino txikiagoa da. Gainera, elementu kopurua ere gutxiago da, 1 mm-ko elementuz osatutako sarea 388044 elementuz osatuta dago eta 3 mm-ko elementuz osatutako sareak aldiz 29595 elementu ditu. Hortaz, kontutan hartuta tenperatura diferentzia txikia dela, 3 mm-ko elementu tamaina definitu da sarea konfiguratzeko, izan ere elementu kopurua txikiagoa izatearekin bat kostu konputazionala murriztea lortzen da. Hortaz gain, ikusi daiteke 6 mm-ko elementu tamaina aplikatuz gero datu esperimentalekin konparatuz, lehenengo puntuko tenperatura diferentzia handia da. Nahiz eta elementu gutxiago eduki eta kostu konputazionala gehiago murriztu, datuak ez lirateke fidagarriak izango beraz ez litzateke egokia izango sarea konfiguratzeko.

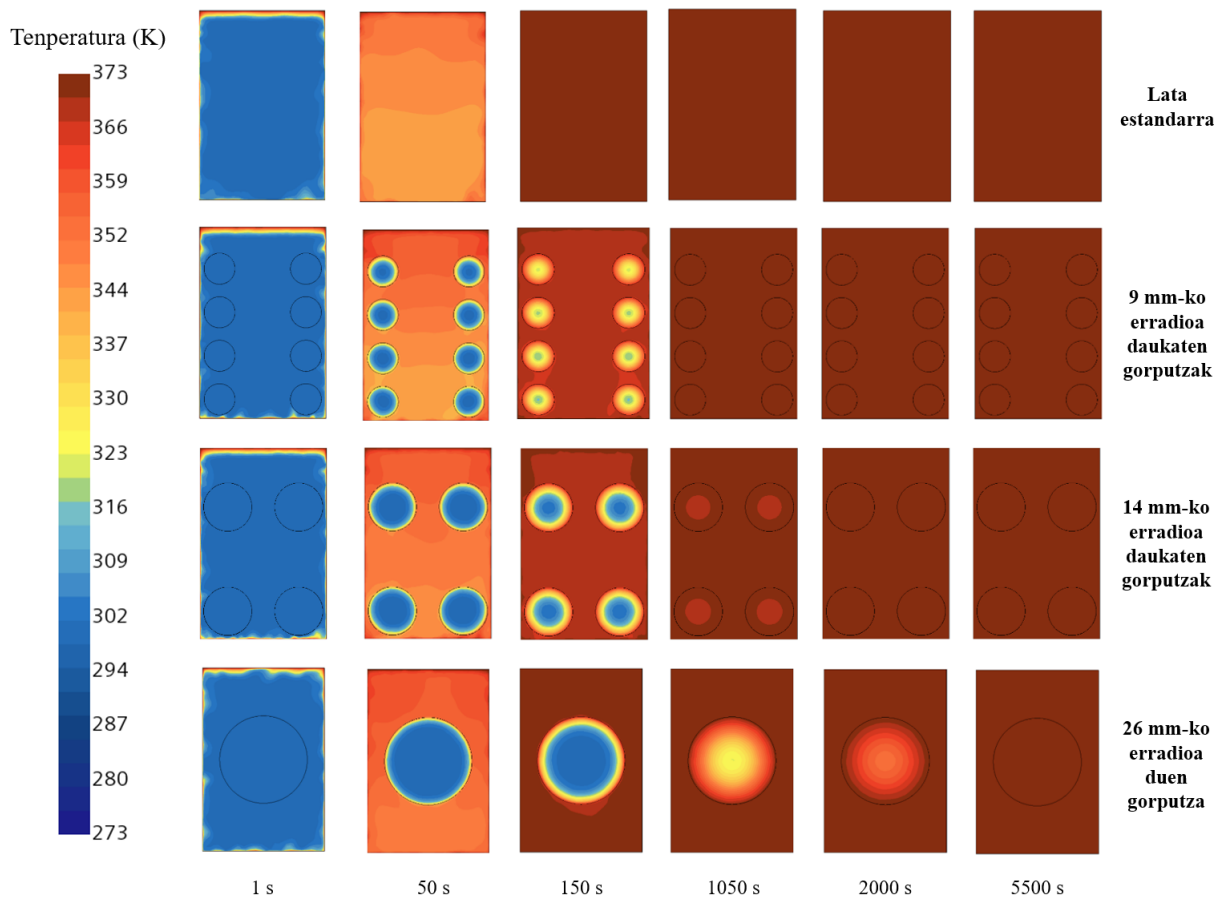
4 Emaitzak

Atal honetan aurrez deskribatutako simulazioetako emaitzak aztertzen dira, esfera solidoen beroketa prozesua denboran aztertzeko helburuarekin. Horretarako fluidoaren temperatura mediaren, hau da, airearen eta uraren temperatura mediaren eta esfera solidoen temperaturaren eboluzioa aztertuta da denboran zehar. Beroketa prozesua modu bisual batean aztertzeko temperatura profilak atera dira denborarekiko (5. Irudia).

4. Irudia: Aztertutako kasuen temperatura denborarekiko.(a) Fluidoaren temperatura media denborarekiko eta (b) Esfera solidoen temperatura media denborarekiko



5. Irudia: Aztertutako kasuen temperatura profilak denborarekiko



Fluidoaren temperaturari dagokionez, konbektzio naturalaren bidez berotzen da, modu uniformearen lataren pare-

tek temperatura berdina eta konstantea dutelako. Beheko aldean temperatura baxuagoa egongo den eta goiko aldean aldiz temperatura altuagoa dentsitate- diferentziaren ondorioz 5. Irudian ikusi daitekeen bezala. Beroketa prozesuaren abiadura aldiz 4. Irudian ikusi daitekeen bezala, ez da diferentzia nabarmenik ikusi hiru kasuak alderatzean esfera solidoen tamaina aldatu arren masa totala konstante mantentzen baita. Hori horrela, berotze prozesuan energia kantitate berdina aplikatzen denez, fluidoaren beroketa abiadura ez da aldaketa nabarmenik ikusi.

Esfera solidoen kasuan aldiz, gainazala konbekzio bidez berotuko da eta barnealdea kondukzio bidez. Transferentzia ematen den azalera handiagoa denean, hau da, gorputzaren tamaina handiagoa bada, orduan eta handiagoa izango da bero transferentzia bai konbekzioz eta bai kondukzioz. Bestalde 4. Irudian ikusi daitekeen bezala beroketa prozesuaren abiadura handiagoa da esfera solidoaren tamaina txikiagoa den neurrian. Hori horrela, 26 mm-ko erradioko esfera solidoen beroketa prozesuaren denbora beste bi kasuena baino handiagoa da. Horren ondorioz, 26 mm-ko erradioa daukaten partikulak berotzeko aplikatzen den denboran beste bi kasuetan esfera solidoen beroketa prozesua burutu da jada eta temperatura konstantean mantendu dira.

5 Ondorioak

Azterketa honetan lataratutako esfera solidoen beroketa prozesua aztertu da, masa totala konstante manduz eta esfera solidoen tamaina aldatuz. Kasu honetan latak ura eta aireaz definitutako fluido nahasketa batez osatuta daude.

Emaitzak aztertu ondoren ikusi daiteke gorputz solidoen tamainak eragina duela lataren beroketa prozesuan, bai fluidoaren temperatura abiadura eta era berean esfera solidoen temperatura abiadura. Geroz eta esfera solido txikiagoak eduki beroketa prozesua arinagoa da beroa transferitzeko eremua txikiagoa delako. Hori horrela, lataratutako gorputzaren materialak, tamainak eta fluidoaren propietateak beroketa prozesuan eragin zuzena dutela ondorioztatu da.

6 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Beroketa-fasean berotze-eremu motelena, sistemaren beste eskualde batzuetan baino temperatura baxuagoa duen eremua da. Gutxieneko temperaturaren balioa ezagutzea funtsezkoa izango da tratamendu termikoaren eragin-kortasuna kalkulatzeko. Alegia, hilgarritasuna da esterilizazioa ebaluatzeko parametro garrantzitsuenetarikoa bat, eta partikulen gutxieneko temperatura aplikatuz kalkulatzen da. Beraz, batetik, beroketa-eremu geldoena non dagoen aztertu nahi da, sistemaren eremu kritikoa izango baita, eta saiakuntza esperimentalak egiten badira, eremu horretako temperatura neurtu beharko litzateke. Bestalde, gorputz solidoen gutxieneko temperatura zein den jakin nahi da, haien hilgarritasuna zehazteko eta tratamendu termikoaren bidez esterilizazio prozesuaren eraginkortasuna kuantifikatzeko.

Horrez gain, ondorengo pausua latari mugimendu angeluar bat inposatzea izango litzateke, mugimenduak berotze prozesuaren abiadura duen eragina aztertzeko. Badaude hainbat ikerketa lataren mugimenduaren analisisian oinarritzen direnak (Ghani et al. 2003) baina ikerketa hauetan ez dira gorputz solidoak kontsideratzen.

Erreferentziak

- Barros, M. B. (2017). Residuos alimentarios: análisis y propuesta de metodología de cuantificación.
- Bigelow, W. D. & Esty, J. R. (1920). The thermal death point in relation to time of typical thermophilic organisms. *The Journal of Infectious Diseases*, 27:602–617.
- Bistafa, S. R. (2018). On the development of the navier-stokes equation by navier. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40.
- Caballero, B., Trugo, L. C., & Finglas, P. M. (2003). Encyclopedia of food sciences and nutrition.
- Casado, A., Rodríguez, B., D.Alonso, I., Olivares, M. P., & Lara, P. (2021). Global hunger index. el hambre y los sistemas alimentarios en situaciones de conflicto.
- Chapagain, A. K. & James, K. (2013). Chapter 12 - accounting for the impact of food waste on water resources and climate change.
- Cordioli, M., Rinaldi, M., Copelli, G., Casoli, P., & Barbanti, D. (2015). Computational fluid dynamics (cfd) modelling and experimental validation of thermal processing of canned fruit salad in glass jar. *Journal of Food Engineering*, 150:62–69.

- Courant, R., Friedrichs, K., & Lewy, H. (1928). Über die partiellen differenzgleichungen der mathematischen physik. *Mathematische Annalen*, 100:32–74.
- Droogenbroeck, B. V., Skipness, D., de Mezquia, D. A., Bou-Ali, M., Erdogdu, F., & Topcam, H. (2021). Cfd analysis of can heating process.
- Durance, T. D. (1997). Improving canned food quality with variable retort temperature processes. *Trends in Food Science Technology*, 8:113–118.
- Erdogdu, F. & Tutar, M. (2011). Velocity and temperature field characteristics of water and air during natural convection heating in cans. *Journal of Food Science*, 76:E119–E129.
- Erdogdu, F., Tutar, M., Sarghini, F., & Skipnes, D. (2017). Effects of viscosity and agitation rate on temperature and flow field in cans during reciprocal agitation. *Journal of Food Engineering*, 213:76–88.
- Ghani, A. G. A., Farid, M. M., & Zarruk, S. J. (2003). The effect of can rotation on sterilization of liquid food using computational fluid dynamics. *Journal of Food Engineering*, 57:9–16.
- Guerrero-Legarreta, I. (2014). Canning. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 137–141.
- Hirt, C. W. & Nichols, B. D. (1981). A computational method for free surface hydrodynamics. *Journal of Pressure Vessel Technology-transactions of The Asme*, 103:136–141.
- Holdsworth, S. & Simpson, R. (2015). *Thermal Processing of Packaged Foods*. Food Engineering Series. Springer International Publishing.
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. part 1: Techniques and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57:501–523.
- Kiziltaş, S., Erdoğdu, F., & Palazoğlu, T. K. (2010). Simulation of heat transfer for solid-liquid food mixtures in cans and model validation under pasteurization conditions. *Journal of Food Engineering*, 97:449–456.
- Lauder, B. E. & Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3:269–289.
- Ortuño, C., Martínez-Pastor, M. T., Mulet, A., & Benedito, J. (2012). An ultrasound-enhanced system for microbial inactivation using supercritical carbon dioxide. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 15:31–37.
- Park, H. & Yoon, W. (2018). Computational fluid dynamics (cfd) modelling and application for sterilization of foods: A review. *Processes*, 6:62.
- Rabiey, L., Flick, D., & Duquenoy, A. (2007). 3d simulations of heat transfer and liquid flow during sterilisation of large particles in a cylindrical vertical can. *Journal of Food Engineering*, 82:409–417.
- Sulser, T., Wiebe, K. D., Dunston, S., Cenacchi, N., Nin-Pratt, A., Mason-D’Croze, D., Robertson, R. D., Willenbockel, D., & Rosegrant, M. W. (2021). *Climate change and hunger: Estimating costs of adaptation in the agrifood system*. International Food Policy Research Institute.
- Tutar, M. & Erdogdu, F. (2012). Numerical simulation for heat transfer and velocity field characteristics of two-phase flow systems in axially rotating horizontal cans. *Journal of Food Engineering*, 111:366–385.
- Wagner, W. & Kretschmar, H.-J. (2008). Iapws industrial formulation 1997 for the thermodynamic properties of water and steam. *International Steam Tables*, 7–150.
- Yang, Z., Fan, H., Parker, D., Fryer, P., Bakalis, S., & Fan, X. (2014). Study on solids translational and rotational motions in rotating cans. *LWT - Food Science and Technology*, 57:383–392.

7 Eskerrak eta oharrak

Ikerketa lan honek Eusko Jaurlaritzak IT1505-22 Ikerketa Taldearen eta Gipuzkoako Kontseilu Probintzialaren Programaren esparruan Hoztikor (2022-ZIENTZIA -000052-01) proiektuaren esparruan diru laguntzak jaso ditu.