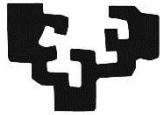


eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



ZTF-FCT  
Zientzia eta Teknologia Fakultatea  
Facultad de Ciencia y Tecnología



ZIENTZIA ETA TEKNOLOGIA FAKULTATEA. LEIOA

---

# GRADU AMAIERAKO LANA

## INGENIARITZA KIMIKOA

### MATERIAL PROBIOTIKO BATEN

### MIKROUHINEN BIDEZKO LEHORKETA

**Ikaslea:** Bergara Latorre, Leire

**Data:** 2014/09/01

**Irakaskasle Zuzendaria**

M. Ortueta Doktorea

J.I. Lombraña Doktorea

**Ikasturte Akademikoa**

2013/2014

*Ingeniaritza kimikoko graduan zehar lagundu didaten guztiei eskerrak eman nahi dizkiet.*

*Horrela, gradu amaierako lan honekin batera, azken pausuak ematen lagundu didatenei ere eskerrak eman nahi dizkiet.*

*Lehenik eta behin nire gurasoei, aita eta ama, beraien laguntzagatik izan ez balitz inoiz ez nintzatekelako puntu honetan egongo; bestalde nire neba Eneko ere hor egon da momentu guztietan*

*ko Zientzi eta Teknologi Fakultateko Ingenieritza Kimikoko Departamentuko irakasle guztiei, jaso dudan formakuntzagatik.*

*Laborategian hain momentu onak pasarazi dizkidan pertsona guztiei: Iciar, Ander, Oihane, Marta, Fan, Ander, Sandra, Andrea eta Lourdesi.*

*Eta azkenik Janireri, berarekin lan egitea oso erraza izan delako eta proiektu hau nirea bezain berea delako.*

*Eskerrik asko guztioi.*

## AURKIBIDEA

1.	LABURPENA.....	1
2.	HELBURUAK .....	1
3.	SARRERA .....	2
3.1.	ELIKAGAI FUNTZIONALAK .....	2
3.2.	URA ELIKAGAIETAN .....	3
3.3.	ENKAPSULAZIOA .....	31
3.3.1.	Enkapsulazio teknikak.....	4
3.4.	ELIKAGAIEN DESHIDRATAZIOA .....	5
3.4.1.	Deshidratazio metodoak.....	5
4.	OINARRI TEORIKOA.....	6
4.1.	MIKROUHINEN BIDEZKO BEROKETARAKO OINARRIAK .....	6
4.1.1.	Mikrouhinen bidezko lehorketaren etapak .....	7
4.2.	PROPIETATE DIELEKTRIKOAK .....	8
4.2.1.	Propietate dielektrikoen definizioa.....	8
4.2.2.	Elikagaien propietate dielektrikoetan eragina duten faktoreak .....	8
4.3.	FLUIDIZAZIOA.....	10
4.3.1.	Fluidizazioaren portaera .....	10
4.4.	UR-AKTIBITATEA .....	11
4.5.	HEZETASUN TOTALA. KARL-FISCHER .....	13
5.	PROZEDURA ESPERIMENTALA .....	14
5.1.	EKIPOEN DESKRIBAPENA .....	14
5.1.1.	Mikrouhin ekipoa .....	14
5.1.2.	Hezetasun baxua determinatzeko ekipoa. Karl-Fischer .....	15
5.1.3.	Ganbera termostatikoa.....	15
5.2.	ESPERIMENTUEN DESKRIBAPENA .....	15
5.2.1.	Kapsulen prestaketa.....	15
5.2.2.	Mikrouhinen bidezko lehorketaren esperimientua .....	15
5.2.3.	Aldagaien analisisa .....	18
5.2.4.	Bideragarritasunaren azterketa burutzeko prozesua.....	19
6.	EMAITZAK .....	20
6.1.	LEHORKETAREN ZINETIKA .....	20

6.1.1.	Lehorketa faseak .....	20
6.2.	TENPERATURAREN ANALISIA.....	23
6.2.1.	Gradiente termikoa.....	24
6.3.	FASEEN ANALISIA.....	24
6.3.1.	I fasearen analisisa .....	25
6.3.2.	II fasearen analisisa.....	27
6.3.3.	III fasearen analisisa .....	29
6.4.	DESHIDRATAZIOAREN KALITATEA.....	30
6.4.1.	Ur-aktibitatea.....	30
6.4.2.	Hezetasun totala .....	30
6.4.3.	Bideragarritasuna .....	31
6.4.4.	Balorazio energetikoa.....	32
6.5.	ESTRATEGIA OPTIMOAREN AUKERA .....	34
7.	ONDORIOAK.....	35
7.1.	LEHORKETAREN ZINETIKA .....	36
7.2.	TENPERATUREN ANALISIA .....	36
7.3.	BIDERAGARRITASUNA .....	36
7.4.	BALORAZIO ENERGETIKOA .....	36
7.5.	ESTRATEGIA OPTIMOAREN AUKERA .....	37
8.	NOMENKLATURA .....	37
9.	BIBLIOGRAFIA.....	39

## 1. LABURPENA

Industria mailan, jaki eta elikagaien prozesamenduaz arduratzen den sektorea garrantzi handia hartzen ari da azken aldian. Batez ere, probiotikoak dituzten elikagaiak dira garrantzia hartzen ari direnak, hauek, onura asko ematen baitizkie hartzen dituen ostalariari.

Horrela, industriak prozesamendua azkarra, merkea eta kalitatekoa izatea bilatzen du. Lan honetan, helburu hauek lortzeko, mikrouhinen teknologia proposatu da; prozesamendu denborak laburtzeko eta produktuaren kalitate ona bermatzeko asmoz. Materiala termosentsiblea denez, lehorketa tenperaturekiko izan ditzakeen arazoak saihesteko, kapsulen barruan sartzea erabaki da; horrela, biltegitratze orduan eta prozesamendu orduan produktuaren kalitatea mantentzeko.

Aurreko guztia kontsideratuta, *Saccharomyces cerevisiae* legamiaren mikrouhinen bidezko lehorketa burutzeraz abiatu da. Prozesuaren zinetika, balorazio energetikoa, deshidratazioaren kalitatea eta mikroorganismoen bideragarritasuna izan dira aztertu diren faktoreak.

Esperimentuak burutu ondoren lehorketa prozesurako estrategia optimoa aukeratu da, prozesu guztian operazio aldagaiak kontrolatuz, produktuaren lehorketa maila eta masa galera aztertuz eta tenperaturen jarraipena eginez.

## 2. HELBURUAK

Proiektu honen helburua, mikrouhinen bidezko lehorketa prozesu bateko aldagaien analisia burutzea da. Horretarako, lehorketan eragina duten parametroak aztertu dira: produktuaren tenperatura eta gradiente termikoa. Lehorketa prozesuaren ondoren, emaitzak kalitate onekoak direla ere ikusi da; horrela, ondokoak izan dira kontuan izan diren eta lan honetan burutu diren atalen jarraipena:

- Lehorketa zinetikaren analisia.
  - Lehorketa fase ezberdinen definizioa.
  - Produktuaren tenperaturaren eragina aztertu.
  - Gradiente termikoaren eragina aztertu.
- Bideragarritasunaren analisia.
- Balorazio energetiko kualitatiboa.
- Estrategia optimoaren aukera.

### 3. SARRERA

Gaur egun, gizakiok geroz eta kontzientzia handiagoa hartzen ari gara osasuntsu jatearen inguruan. Horrela, badaude elikagai funtzional batzuk non beren barnean probiotiko asko dituzten, beharrezkoak diren elementu guztiak gizakioi eskainiz.

#### 3.1. ELIKAGAI FUNTZIONALAK

Definizioz, elikagai funtzionalak, gaixotasunerako arriskuak murrizten dituen eta osasunean onura sortzen duten elikagaiei deritze. Azkenaldian, hauek garrantzi handia hartzen ari dira industria mailan. 3.1. Taulan, zenbait elikagai funtzionalen adibideak ikus daitezke. Aurretik aipatu bezala, komertzializatutako mikroorganismoak garrantzi handia dute, gizakien eta animalien osasunean onurak sortzen baitituzte; hots, probiotiko izena duten mikroorganismo hauek manipulatzeko eta hazteko interes handia sortu da industria mailan (Reid, 2008).

Latinezko, probiotiko hitzak, bizitzarako adierazten du; beraz, probiotikoak, mikroorganismo biziak dira, kantitate egokietan dauden heinean, ostalariari osasuna ematen diotenak (Tripathi eta Giri, 2014). Mikroorganismoen prestaketa edo mikroorganismoak dituen produktu bat dira; hauek, bideragarriak eta kantitate egokian dauden heinean, ostalariaren organismoko mikroorganismoetan aldaketak eskaintzen dituzte, ostalariari osasunean hainbat eta hainbat onura emanez, gehienbat, hezteetako mikroorganismoen balantzean egiten dute onura.

**3.1. Taula.** Zenbait elikagai funtzional beren osagai eta onurekin.

<b>ELIKAGAI FUNZIONALAK</b>		
<b>ELIKAGAIA</b>	<b>OSAGAIA</b>	<b>ONURAK</b>
Kaltzioan aberatsa den esne gaingabetua	Kaltzioa	Kaltzioaren aportazioa
Esneki fermentatuak	Probiotikoak	Osasun gastrointestinal eta immunologikoa
Omega-3-dun arrautzak	Omega-3	Bihotzeko arazoak eta inflamazioak saihesteko
Azido folikotan aberatsak diren zerealak	Azido folikoa	Anemia saihesteko eta umeetako bizkar hezur redibitua saihesteko

Material probiotiko moduan, ostalariari onura eskaintzen dioten probiotiko hauek erabili dira, aurrerago azalduko den moduan, enkapsulaturik, hauek, termosentikorrek baitira.

Jakina denez, elikagaiak beharrezkoak dira izaki bizidunon organismoan. Elikagaiaren definizio moduan, jaten duen organismoari energia eta beharreko sustantzia kimikoak eskaintzen dizkion edozein produktu natural edo eratorri ezagutzen dugu. Elikagaiak hiru funtzio dituzte, lehenengoa, funtzio nutrizionala da; bigarrena, gosea estimulatzea da, honi, funtzio sentsoriala esaten zaio (van der Zanden, van Kleef et al., 2014). Azkenik, hirugarren funtzioa, organismoa modu osasuntsuan mantentzea da; funtzio hau betetzen duten elikagaiak “elikagai funtzionalak” dira.

Normalean, probiotikoak dauzkaten elikagaiak bi modutan aurkitzen dira, janariaren gehigarri moduan edota jaki moduan. Lehenengoz, esnekietan jarri ziren. Aldiz, gaur egun, beste hainbat jakitan aurki daitezke, besteak beste, zukuetan, zerealetan ... Interes handia dago probiotiko hauek jakietan sartzeko, hartzen dituen ostalariari, beharrezko diren konposatu edota nutrienteak ematen dizkiolako eta hezteetako mikrofloraren aktibitatean laguntzen duelako, hezteetako patogenoen aurrea prebentzioa eskaintzen dute, sistema immunologikoa handitzen dute, osteoporosia saihesten dute, azal atopikoa eta abar (O’Flaherty eta Klaenhammer, 2010)

Hainbat in vitro propietate ikertu izan dira, adhesioa eta pH-arekiko erresistentzia barne, probiotiko moduan erabili daitezkeen zepen egokitasuna aztertzeko. Horrela, probiotikoen ingestioak, osasunean onurak ekartzen dituela frogatu ahal izan da; laktosarekiko intolerantzia murriztuz, minbizi arriskuak murriztuz, kolesterola murriztuz eta hezteetako infekzioak murriztuz (Makinen, Berger et al., 2012).

Ikerlan berriek erakutsi dute, bakterio probiotikoak dituzten produktuek %25 egin dutela gora Ipar Amerikan eta Europa ekialdean; Asia eta Europa mendebaldean %5-8 tartean egin dute gora urteko. Beraz, garrantzi ekonomiko handia dutela ikusten da (Champagne, Ross et al., 2011).

Ura kentzea, elikagaiak biltegitratzeko orduan beren propietateak behar bezala mantentzeko aukera egokia da eta gainera garraiatzeko eta biltegitratzeko kostuak murrizten ditu. Ura kentzeko, bi metodo dira erabilienak, lehorketa eta lurrunketa.

### **3.2. URA ELIKAGAIETAN**

Elikagaietatik ura kentzea oso egokia da hauen iraupenerako, biltegitratzeko edota garraiorako. Jakietako mikroorganismoen hazkuntza, elikagaian dagoen hezetasunaren araberakoa da, horregatik, metodo asko daude hau aurrera eramateko: gatza erabiltzea, lehorketa, lurrunketa, errefrigerazioa edota izozketa; lan honetan aurrera eramango den teknika mikrouhinen bidezko lehorketa da. (Kerr, 2013)

Elikagai batean eraso dezaketen mikroorganismoen sentsibilitatea aztertzeko metodorik egokiena uraren aktibitatea ( $a_w$ ) neurtzea da eta ez hezetasun totala; hala ere, lan honetan, ur-aktibitatea begiratzeaz gain, prozesuaren amaiera izango den hezetasun kantitatea ere behatuko da, lehorketaren zein puntutaraino iritsi den jakiteko asmoz.

### **3.3. ENKAPSULAZIOA**

Aurrerago azalduko probiotikoak kontsumitzerako orduan bizirik egon behar dira derrigorrez eta gainera, elikagaiei, biltegitratzea egokia izan dadin, ura kendu behar zaienez, probiotikoak babesteko alginatozko kapsulen barruan sartzen dira; hauek, oso termosentsibleak baitira. Probiotikoek zailtasun handia izaten dute baldintza jakin batzuen aurrean bizirik mantentzeko, esaterako, ingurune azidoetan edota beroa jasateko orduan.

Elikagaiekin lan egiterako orduan, enkapsulazioa erabiltzen da. Enkapsulazioa, probiotiko bati babesa emateko metodo bat da, geruza semi-iragazkorra da, mehea eta sendoa; probiotikoa inguru gastrointestinal sendoetatik babesten du. (Sohail, Turner et al., 2011)

Konposatu bioaktiboen enkapsulazioa, aplikazio desberdin askotan erabil daiteke jakien industrian: oxidazio erreakzioen kontrolean, zapoetan, koloretan, usainean ...

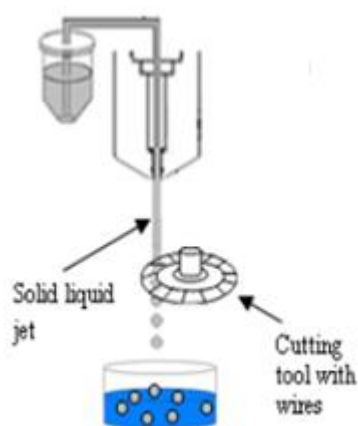
### 3.3.1. Enkapsulazio teknikak

Enkapsulatzea, babestu nahi den materiala (nukleoa) kapsula edota matrize baten barruan sartzea da. Nukleoa, matrize baten barruan dispersatzen da. Material eramailea, jakien industrian erabiliko baldin bada, jaki erakoa izatea beharrezkoa da eta hesi antzeko bat eratzeko gai izan behar da, kapsulen barruan jarritako materiala babestuz.

Probiotikoen biziraupena kapsulen propietate fisiko kimikoen arabera da: estalki mota eta kontzentrazioa, partikularen tamaina ...

Kapsulak eratzeko teknika asko eta asko daude baina teknika nagusiak: emulsioa, estrusioa eta spray lehorketa dira. Hiru teknika nagusi hauek dira jarraian azalduko direnak:

- Emulsioa (Vemmer eta Patel, 2013): metodo hau nukleo erako materialak, nahasten ez diren fase batean emulsionatzean datza; eta lote desberdinetan burutu daiteke bultzatzaile bat daukaten edukiontzi zilindrikoak erabilia (turbina...).
- Estrusioa (Rathore, Desai et al., 2013): lehendabizi, disoluzio polimerikoa eta mikroorganismoak nahastu egiten dira eta estrusioaren bidez, hortz batzuetatik pasaratzen da disoluzioa. Hau, erretikulazio agente batekin kontaktuan jartzen da. Gelifikazioa, disoluzio polimerikoa erretikulazio agentearekin kontaktuan jartzen denean ematen da. Kapsulen tamaina estrusiorako erabiltzen den hortzaren arabera da, baita disoluzio polimerikoaren kontzentrazioaren eta tenperaturaren arabera ere. Teknika hau da lan honetan kapsulak eratzeko erabiliko den metodoa, kapsulak Jet Cutter makinaren bidez egingo dira, 3.1. Irudia.



3.1. Irudia. Jett Cutter teknika.



- Spray lehorketa (Jamekhorshid, Sadrameli et al., 2014): metodo hau, elikagai likidoentzako erabiltzen da eta kostu baxuko prozesu industrialala da, non estaldura materiala eta nukleoa spray baten bidez isurtzen diren.

Normalean metodo honen bidez lortzen diren kapsulak nukleo askotakoak edota matrize erakoak izaten dira. Aglomeratzeak edota estali gabeko partikulak agertzea kapsulak burutzeko metodo azkar honen ohiko arazoak izaten dira. Aldiz, partikulen tamaina egokia lor daiteke atomizazio egoki baten bidez. Hala ere, atomizazioak elikagaien propietate asko galtzea eragiten dio elikagaiari, besteak beste, aromak, zaporeak eta abar.

### 3.4. ELIKAGAIEN DESHIDRATAZIOA

Deshidratazioa elikagaiak egonkortzeko erabiltzen den teknika bat da, elikagaiak izan ditzaketen narriadurak ekiditeko edo geldotzeko, uraren aktibitatea ( $a_w$ ) murriztuz. (Orikasa, Koide et al., 2014) Lurrunketatik oso erraz bereizten den teknika bat da deshidratazioa, bi teknikak uraren aktibitatearen murrizketan oinarritzen badira ere, lurrunketa produktu likidoen gainean aplikatzen da, %50ko ur kantitateekin. Aldiz, deshidratazioa, produktu solidoetan erabiltzen da, %10 baino ur portzentai baxuagoa izaten dute produktu hauek.

Deshidratazio hitza erabiltzen da, prozesu honetan ez delako disolbatzaile edo inerte den osagai likidoa kentzen, baizik eta substantziaren egitura sartzen den ura ere kentzen delako. Horregatik, batzuetan, deshidratazioak elikagaien egitura suntsitzen du; hauentzat prozesu hau egokia ez delarik.

Deshidratazio teknika guztiek uraren galeraren kontzeptua komunean daukate, baina uraren galera hori burutzeko modu desberdinak daude.

#### 3.4.1. Deshidratazio metodoak

(Vega-Mercado, Marcela Góngora-Nieto et al., 2001) artikularen arabera, deshidratazio teknikak generazio desberdinetan sailkatzen dira, teknika bakoitzaren konplexutasunaren arabera.

- Lehenengo generazioa: Kabina eta ohe moduko lehorgailuak sartzen dira generazio honetan. Mota honetako lehorgailuetan, aire beroa, produktuak osatzen duen azalera handi batekin kontaktuan dago, gainazaleko ura kentzeko. Ale, fruitu zati edo barazki erako jakiak lehertzeko erabiltzen dira lehorgailu hauek.
- Bigarren generazioa: Generazio honetako lehorgailuak, pure edota tipo honetako jaki likidoak lehertzeko erabiltzen dira. Mota honetako lehorgailuen artean spray erako lehorgailuak eta danbor erako lehorgailuak daude. Spray lehorketan, partikulen formazioa eta lehorketa era berean ematen dira, hau da, jariakina lehenengo partikula bihurtzen da eta gero lehortu egiten da. Danbor erako lehorgailuetan, zilindro metalikoak dira eta hauen barruan produktua korrante bero batekin kontaktuan jartzen da, zilindro honek ardatz horizontalaren inguruan bira egiten du.
- Hirugarren generazioa: generazio honetan, izozte erako deshidratazioa eta deshidratazio osmotikoa sartzen dira. Izozte erako deshidratazioa, estrukturen eman daitezkeen hausturak ekiditeko eta zapore eta aromaren galerak minimizatzekeo erabiltzen da. Deshidratazio osmotikoa, aldiz, fruitu eta begetalak disoluzio hipertontiko baten bidez lehortzean datza.

- Laugarren generazioa: generazio honetan, fluidizazioa, mikrouhinak eta irrati frekuentziak agertzen dira. Teknika bakoitzak, aplikazio berezi bat dauka. Teknika bakoitza, produktuaren beharizanen eta propietate fisikoen eta kimikoen arabera aukeratzen da. Mikrouhinak eta irrati frekuentziak elikaduran lanean ari diren ikerlarien artean garrantzi handia hartzen ari dira, hauek ekar dezaketen energiaren aurreztearen ondorioz.

Mikrouhin bidezko lehorketa, materialek mikrouhinen energia xurgatzeko duten gaitasunari esker ematen da. Momentu dipolarren eta mekanismo ioinikoen bidez ematen da. Elikagaiak hezetasuna edota ura duen heinean, bero dielektrikoa sortzen du uraren natura dipolarraren eraginez. Frekuentzia altuen eraginez, efektu hau behin eta berriro ematen da, materialen barneko marruskadura sortuz, materiala berotuz eta lehortuz. Azken lehorketa teknika hau, hurrengo orrialdeetan gehiago sakonduko den teknika da.

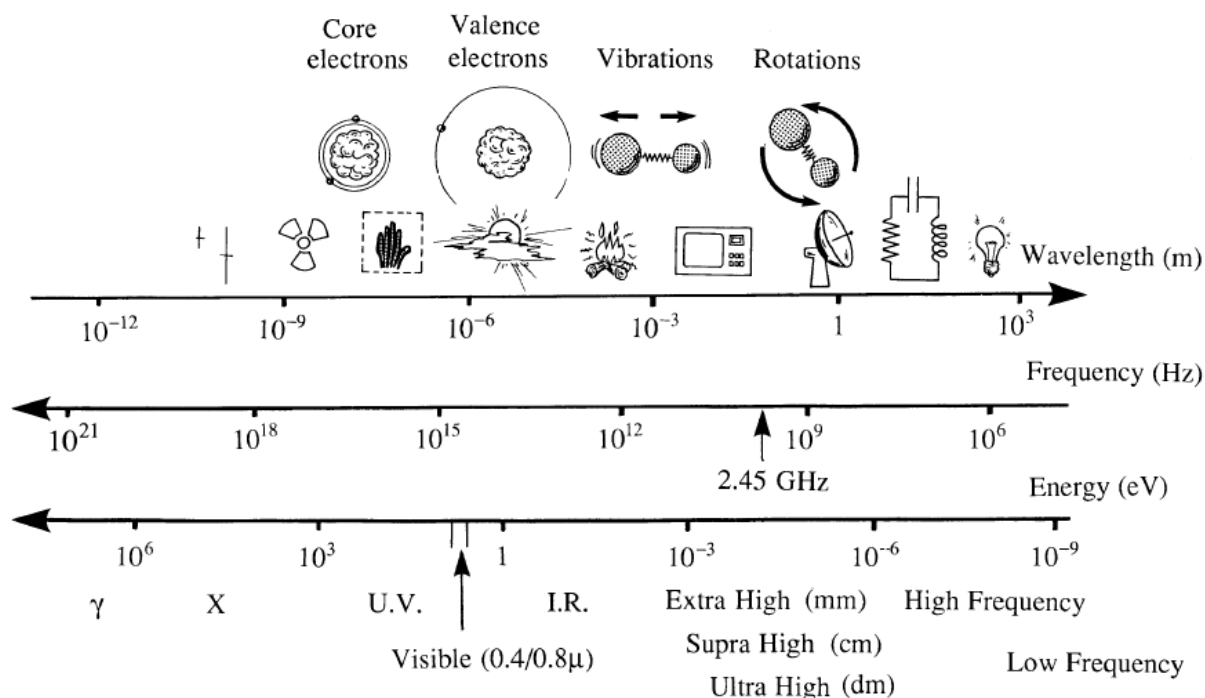
## **4. OINARRI TEORIKOA**

### **4.1. MIKROUHINEN BIDEZKO BEROKETARAKO OINARRIAK**

Mikrouhinen bidezko lehorketa konbektiboa oso prozesu konplexua da, parametro askoren influentzia sartzen da prozesatzerako orduan, ondorioz, guzti hauek kontuan izan behar dira. Mikrouhinen bidezko beroketaren abantailarik handiena, lehortzeko erabiltzen dituen denboren murrizketa da; denbora oso labur batean produktua lehor dezake (Holtz, Ahrné et al., 2010).

4.1. Irudian ikus daitekeen moduan, mikrouhinek, 300 MHz eta 300 GHz frekuentzien bitartean lan egiten duten eta 1 cm eta 1 m bitarteko luzera duten uhin elektromagnetikoak dira. Etxeko mikrouhinek 2,45 GHz-tan lan egiten dute, aldiz, mikrouhin industrialak, 914 MHz eta 2,45 GHz-tan lan egiten dute.

Mikrouhinak energia iturri eraginkorrek dira, lehorketa prozesuan zehar askaturiko hezetasuna, 2,45 GHz-ko frekuentzietan esker, produktuaren barnetik kanpora garraiatzen da, horrela, inbertsoa den gradiente termiko bat sortuz (Chandrasekaran, Ramanathan et al., 2013). Horrela, urak dituen propietate dielektriko onen ondorioz, mikrouhinak, lehorketa prozesu batean erabil daitezkeen energia iturri interesgarria dira.



#### 4.1. Irudia. Espekro elektromagnetikoa

Mikrouhinen bidezko lehorketaren abantaila nagusia, aurretik aipatu bezala, energia transferentzia oso bizkorra ematen dela da, horrela, lehorketa denborak asko murriztuz.

Elikagaien prozesamenduan garrantzia hartzen ari den mekanismoa dira mikrouhinak, tenperatura altuak lortzen direlako, lehorketa denborak asko murrizten direlako eta operazio eta mantenu kostu baxuak dituelako.

Mikrouhinen bidezko lehorketak, ohiko lehorketa prozesuekin alderatzean abantaila asko ditu. Hala ere, desabantaila handi bat du; produktuaren barnean puntu beroak sortzen dira eta ez da beroketa uniforme bat ematen, horrela, produktu deshidratatuaren kalitatea murrizten da (Liu, Ogiwara et al., 2014).

##### 4.1.1. Mikrouhinen bidezko lehorketaren etapak

Normalean, lehorketa prozesuan hiru etapa ezberdin gertatzen dira.

Lehenik eta behin beroketa ematen da. Horrela, mikrouhin energia, energia termiko bilakatzen da, beraz, produktuaren tenperatura handituz, material hezeak bero hori absorbatzen baitu. Bapore presioak, ingurumeneko presioa berdintzen duenean, produktua hezetasuna galtzen hasiko da, ez oso abiadura bizkorrean.

Bigarren fasea, lehorketa bizkorreko etapa da. Tenperatura profil egonkorra agertuko da, mikrouhin energia hezetasuna lurruntzeko erabiliko baita eta ez produktuaren tenperatura handitzeko. Etapa honetan hezetasun galera handiena emango da.

Azkeneko fasean ia lehorketarik ez da emango. Hezetasuna murrizten joango da, lurruntzeko beharrezko energia hornitutako mikrouhinen energia baino baxuagoa denean.

## 4.2. PROPIETATE DIELEKTRIKOAK

Elikagaien propietate dielektrikoak oso parametro garrantzitsuak dira jakien ingeniari eta teknologian. Mota honetako materialen propietate dielektrikoak ezagutzea beharrezkoa da, material honek frekuentzia altuetara jartzen denean izango duen jokaera ezagutu ahal izateko. Ingeniaritzako ikuspuntutik behatuta, propietate dielektrikoak, mikrouhinekin lan egiten deneko parametro fisikorik garrantzitsuenak dira (Sosa-Morales, Valerio-Junco et al., 2010).

### 4.2.1. Propietate dielektrikoen definizioa

Propietate hauek, elikagaiaren propietateen eta propietate elektrikoaren arteko elkarrekintzek duten eraginari buruzko informazioa ematen dute.

Materialen propietate dielektrikoak, beraien permitibitate erlatiboaren arabera definitzen dira; honek, interfaseko uhin elektromagnetikoen eta uhinen atenuazio energiaren arteko erlazioa eskaintzen du. Permitibitate erlatibo konplexuak ( $\epsilon_T$ ), ingurune askeko permitibitatearen berri ematen du, azken hau, (4.1) ekuazioaren bidez adierazten da:

$$\epsilon_T = \epsilon_T' - j\epsilon_T'' \quad (4.1)$$

Non,  $\epsilon_T'$  konstante dielektrikoa eta  $\epsilon_T''$  galera faktorea diren,  $j = \sqrt{-1}$ .

Parte erreala, hau da, konstante dielektrikoa, material batek ingurune elektriko batetan dagoenean, energia gordetzeko duen gaitasuna adierazten du. Alde irudikariak, hau da, galera faktoreak, energiaren absortzioa eta atenuazioa ditu kontutan. Elikagaiak hartzen duen energia termikoa, galera faktorearekiko proportzionala da.

Galera faktorean parte hartzen duten mekanismoak: dipoloa, elektronikoa, ionikoa eta Maxwell-Wagner erantzuna dira. Azken honek, sistema heterogeneoetako interfaseko polarizazioaren berri ematen du, baina gainontzeko aportazioekin alderatuz, oso aportazio baxua du.

Propietate dielektrikoekin erlazionatuta dagoen beste parametro bat penetrazio sakonera da. Jakiekin erlazionatuta dauden materialak oso eroale elektriko txarrak dira, hauek, energia elektrikoa gordetzeko eta dispersatzeko gaitasuna baitute. Penetrazio sakonera ( $d_p$ ), materialaren gainean mikrouhinek %36,8-ko sakonera hartzen duteneko balioa da; balio hau, konstante dielektrikoaren eta galera faktorearen menpekoa da eta (4.2) ekuazioaren arabera kalkulatu da.

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[ 1 + \left( \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right] - 1}} \quad (4.2)$$

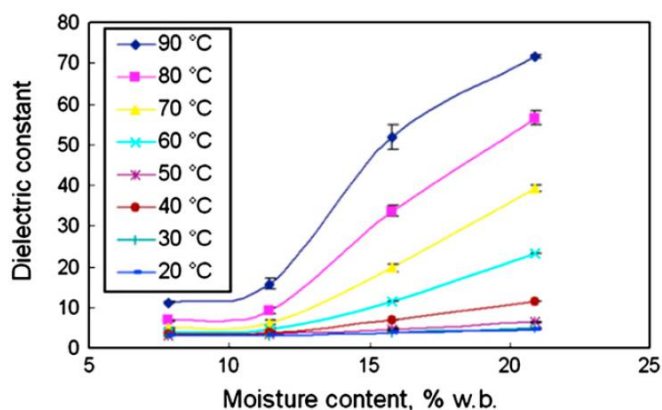
Non  $c$  ( $3 \cdot 10^8$  m/s), argiaren abiadura den eta  $f$ , frekuentzia den (Hz).

### 4.2.2. Elikagaien propietate dielektrikoetan eragina duten faktoreak

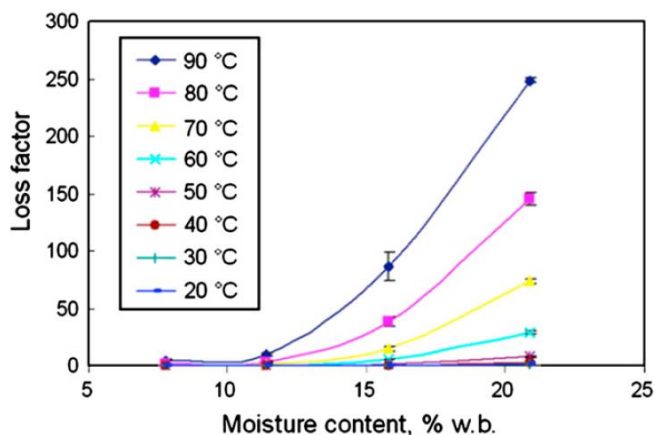
Propietate dielektrikoetan eragina duten hainbat faktore daude, batzuk materialaren naturarekin erlazionatuta daude (konposizioa, estruktura), beste batzuk uhinak aplikatzen direneko beroketaren menpekoak dira (tenperatura, frekuentzia) eta azkenik jakiaren heldutasunaren arabera ere badaude.

- Konposizioa: Elikagaietan normalean ura izaten da konposatu nagusia. Honetaz gain, uraren influentzia, gatz konposizioa edo beste mineral batzuen kantitatea ere agertzen da materialetan, honek, propietate dielektrikoen ezagutza zailtzen du, osagai bakoitzaren propietateak ezagutu behar direlako. Adibidez, konposatu organikoak dielektrikoki inerteak dira esaten da, aldiz, likido ioniko organikoak, energiarekiko gardenak dira.
- Dentsitatea: Egitura fisikoak propietate dielektrikoetan ere eragina dauka. Bolumen unitateko masa kantitateak efektu nabaria dauka uhinak aplikatzerako orduan.
- Temperatura: temperaturaren eta propietate dielektrikoen arteko erlazioa aztertzea oso konplexua da, temperaturak modu askotan eragiten baitio elikagaiari. Adibidez, elikagaiek gatz konposizioa, elikagaien konposizioa eta abar desberdinak dituzte, horrela, temperaturak modu desberdin batean eragingo dio aldagai bakoitzari, aurretik esan bezala, temperaturaren eta propietate dielektrikoen arteko erlazioa zailduz. Askotan, temperaturarekin material bakoitzak joera desberdina erakusten du eta propietate dielektrikoak eta temperaturaren arteko erlazioa desberdinak izango dira material bakoitzerako.

Mikrouhinen bidezko lehorketa, elikagaietan dagoen ur kantitatearen araberakoa da. Elikagaietako ura, mikrouhinak hoberean xurgatzen dituen konposatua da, gainera, hezetasuna handiagoa den heinean, lehorketa hobeagoa izaten da. Orokorrean, hezetasun handia badago, propietate dielektriko gehiago egongo dira, urak propietate dielektriko asko baititu; beraz, konstante dielektrikoa (4.2. Irudia) handiagoa izango da eta baita, galera koefizientea (4.3. Irudia) ere.



**4.2. Irudia.** Hezetasunak konstante dielektrikoaren gainean duen eragina.



**4.3. Irudia.** Konstanteak galera faktorearen gainean daukan eragina.

### 4.3. FLUIDIZAZIOA

Elikagaien lehorketa, industria mailan burutzen den operazio handienetarikoa da eta energia asko kontsumitzen du. Elikagaien lehorketa, hauek modu egoki batean mantentzeko operazio primarioa da; batzuetan fabrikazio operazio moduan ere erabiltzen da. Prozesu hau oso konplexua da eta bere barnean masa eta energia transferentziak agertzen dira, non aldaketa fisiko eta estrukturalak ematen diren. Forma eta tamaina aldaketak ematen dira eta honek amaierako testura eta transferentzia propietateetan aldaketak eragiten ditu.

Ohantze fluidizatuak, lehorketa prozesuak aurrera eramateko modu eraginkorrek dira; lehorketa mota honetan, masa eta bero transferentzia bizkorrek ematen dira, materiala etengabeko mugimenduan baitago; horrela, partikulak etengabe nahasten daude. Ondorioz, temperaturekiko sensibileak diren materialentzako lehorketa metodo egokia da, etengabeko nahasketa horrek tenperatura altuegiak ez hartzea eragozten duelako (Senadeera, Alves-Filho et al., 2013).

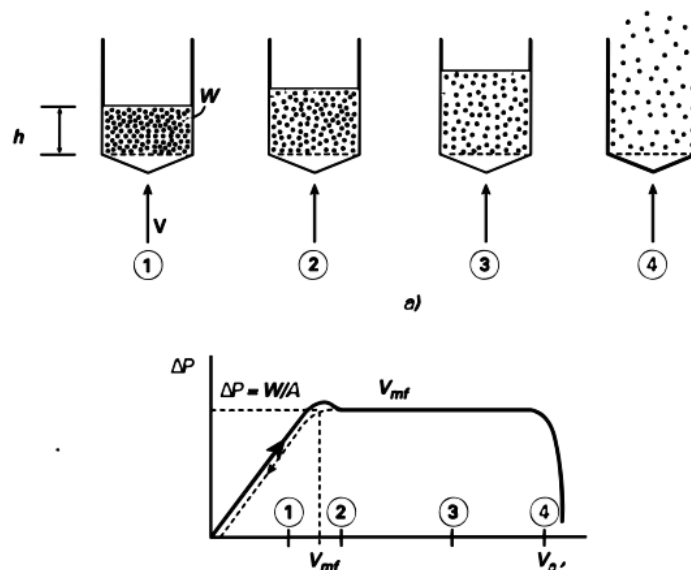
#### 4.3.1. Fluidizazioaren portaera

Fluidizazio minimoko abiadura determinatzea oso garrantzitsua da ohantze fluidizatuekin lan egingo denean, fluidizazioko abiadura berbera mantendu behar baita operazioan zehar, beti abiadura minimo honen gainetik. 4.4. Irudian, fluidizazioaren eskema orokorra ikus daiteke, prozesuan zehar ematen diren karga galerekin batera.

Fluidizazioko abiadura minimoa determinatzeko Ergun-en ekuazioa (4.3) erabiltzen da.

$$(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)g = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})^2}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\mu u_{mf}}{(\phi D_p)^2} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\rho_f u_{mf}^2}{\phi D_p} \quad (4.3)$$

Non,  $\varepsilon_{mf}$ , fluidizazio minimoko porositatea,  $\rho_p$ , partikula lehorraren dentsitatea ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $\rho_f$ , jariakinaren dentsitatea ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $g$ , grabitatea ( $\text{m/s}^2$ ),  $\mu$ , biskositatea ( $\text{Kg/ms}$ ),  $u_{mf}$  fluidizazio minimoko abiadura ( $\text{m/s}$ ) eta  $D_p$ , partikulararen diametroa ( $\text{m}$ ) diren. Ekuazio hau partikula esferiko eta txikietarako erabiltzen da eta lanean ari den erregimenaren arabera, ekuazio honek sinplifikazioak jasan ditzake.



#### 4.4. Irudia. Fluidizazio prozesuaren eskema orokorra.

Fluidizazioko abiadura minimoak partikulen hezetasunarekin erlazioa du, hezetasuna handiagoa den heinean, fluidizazioko abiadura minimoak ere handiagoa izan behar du (Syahrul, Hamdullahpur et al., 2002). Partikula hezeen kasurako, fluidizazio abiadura minimo ondoko karga galera ez da konstantea, zertxobait gora egiten du airearen abiadurak gora egiten duen heinean. Fluidizazioaren hasieran, indar itsaskorren eraginez, partikula guztiek ez dute fluidizatzen; normalean gaineko eremua fluidizatzen egoten da beheko eremua geldirik dagoen artean.

#### 4.4. UR-AKTIBITATEA

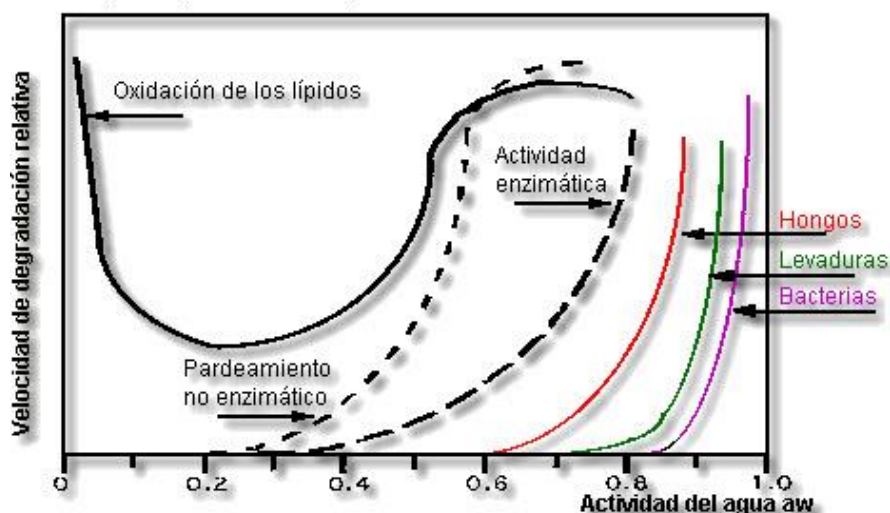
Animalien eta landareen ehunek proportzio ezberdinetan ura dute. Ur hau era heterogeneoan eta konplexuan banatua dago. Proteinak, karbohidratoak eta lipidoak ura duten pisu molekular altuko konposatuak dira. Hauek ehunak sortzen dituzte eta beraz, elikagaiaren ur kantitate totala determinatzea oso zaila da.

Normalean elikagai baten hezetasuna barnean duen ur osoa da. Ur-aktibitatea ( $a_w$ ) oreka adierazten duen kontzeptu termodinamikoa da, (4.4) ekuazioaren bidez definitzen da:

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (4.4)$$

Non,  $p$ , elikagaiaren bapore presioa (bar) eta  $p_0$ , ur puruaren bapore presioa (bar) diren.

4.5. Irudian ikusten den moduan, ur-aktibitatea handitu ahala, urak duen disolbatzaile eta erreakzionatzaile ahalmena handitu egiten da; horregatik, degradaziorik ez gertatzeko, ur-aktibitatea murriztu beharra dago; mikroorganismoen erabilera bizitza handiagoa izateko.



#### 4.5. Irudia. Janari baten egonkortasuna eta ur-aktibitatearen erlazioa.

4.1. Taulan, mikroorganismo desberdinen ur-aktibitateak ikusten dira; nabaria denez, ur-aktibitate altuak ikusten dira eta ondorioz, materialak iraupen egokia izan dezan, ur-aktibitate horiek murrizteko beharra ikusten da, elikagaien kontserbazioa askoz ere hobea baita uraren aktibitate baxuagoa denean.

**4.1. Taula.** Ur-aktibitatea eta mikroorganismoen erlazioa (Dagnas, Onno et al., 2014).

<b>Aw TARTEA</b>	<b>TARTE HONEN Aw BAXUENEAN GARATU EZIN DAITEZKEEN BAKTERIAK</b>	<b>TARTE HONETAN AURKI DAITEZKEEN JANARIAK</b>
1,00- 0,95	Pseudomonak, Escherichia, Proteus, Shigellas, Klebsiella, Baziloak, Clostridium perfringes, legamiak	Produktu freskoak eta enlatatuak, begetalak, okela, arraina, esnea, eta ogia, %40 (p/p) sukrosa edo %7 sodio kloruro dituzten janariak.
0,95–0,91	Salmonella, Vibrio parahaemoliticus, C. botulinum, Lactobacillus, lizunak, legamia (Rhodotorula, Pichia)	Gaztak (Cheddar, Suizo, Muenster, Provolone), urdaiazpiko, fruta zukuak, %55 (p/p) sukrosa edo %2 sodio kloruro dituzten janariak
0,91–0,87	Legamiak (Candida, Torulopsis, Hansenula), Micrococcus	Pastelak, gazta lehorrak, margarina, %65 (p/p) sukrosa edo %15 sodio kloruro dituzten janariak
0,87–0,80	Lizun gehienak (micotoxigenic penicillia), Staphylococcus aureus, sacaromicetes (bailii) spp., Debariomycetes	Zuku kontzentratuak, txokolate, fruta; irina, arroza, fruta pastelak.



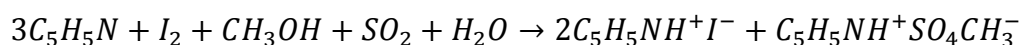
0,80–0,75	Bakteria halofiloak, aspergilli micotoxigénico.	Mermeladak, mazapana
0,75–0,65	Lizun xerofiloak (Aspergillus chevalieri, A. candidus, Wallemia sebi), Saccharomyces bisporus	Olioia % 10 hezetasunarekin, azukrea, fruitu lehorrak
0,65-0,60	Legami osmofiloak (Sacaromyces rouxii), lizunak (Aspergillus echinulatus, Monascus bisporus)	Fruitu lehorrak % 15-%20 hezetasunarekin, gozokiak, eztia
0,50	Ez dago mikrobioen hazkuntzarik	Pasta, espeziak
0,40	Ez dago mikrobioen hazkuntzarik	Deshidrataturiko arrautzak

#### 4.5. HEZETASUN TOTALA. KARL-FISCHER

Hezetasun baxuko janarien ur kantitatea determinatu nahi denean Karl-Fischer esperimentua erabiltzen da. Esperimentu honen oinarria 1853-an Bunchen-ek azaldu zuen, hau, iodoaren erreduzio erreakzioa da. Karl Fischer metodoa, kimika analitikoan asko erabiltzen den baloratzeko metodoa da, honen bidez, lagin batek duen hezetasuna determinatzen da.

Balorazio gunean, anodoan, baloratzailerak (Karl Fischer errektibo berezia) eta disoluzio analitikoa daude. Karl Fischer errektiboak, uraren determinaziorako erabiltzen den iodozko disoluzio estandarra da. Erreaktibo honek iodoa (I<sub>2</sub>), base bat (B) normalean imidazola edota piridina eta SO<sub>2</sub> ditu; 3:1:10 proportzioan, hauek, alkohol batean disolbatuz egoten dira (ROH), normalean metanola izaten da alkohol hau.

Balorazio gunean gertatzen den erreakzioa oxidazioa da, 1 mol SO<sub>2</sub> oxidatzen da kontsumitzen den I<sub>2</sub> mol bakoitzeko eta I<sub>2</sub> mol bat kontsumitzen da disoluzioan dagoen H<sub>2</sub>O moleko. Hau da, 2 mol elektroik kontsumitzen dira ur mol bakoitzeko. Piridina eta metanola erabiltzen badira, erreakzioa, ondoko eran gertatzen da

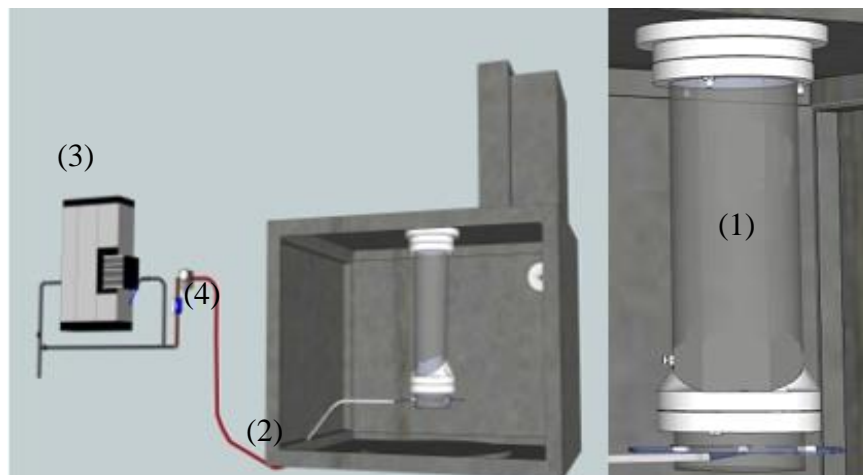


Iodoa, iodurora erreduzitzen da eta sufre dioxidoa, sulfato ioira oxidatzen da. Erreakzioa gertatzeko uraren presentzia beharrezkoa da. Iodoak zuzenean erreakzionatzen du laginean dauden uraren molekin 1:1 proportzioan. Horrela, balorazioa burutu ondoren, laginean dagoen ur kantitatea ezagutu daiteke.

## 5. PROZEDURA ESPERIMENTALA

### 5.1. EKIPOEN DESKRIBAPENA

Ondorengo atalean, esperimentuak burutzeko erabilitako esperimentuen azalpena burutuko da. 5.1. Irudian erabiltzen den ekipoen diagrama bat ikus daiteke.



**5.1. Irudia.** Lehorketarako ekipoen diagrama. (1)Ohantzea, (2)Aire konexioa, (3)Deshumidifikagailua eta (4)Emari neurgailua.

#### 5.1.1. Mikrouhin ekipoa

Produktuaren lehorketa esperimentuak aurrera eramateko erabiltzen den ekipo nagusia mikrouhin ekipoa da. Honek, atal desberdinak dauzka: ohantzea, zuntz optikoak (tenperatura neurtzeko), airearen hezetasuna kentzeko ekipoa, hotz ekipoa, bero ekipoa eta kaudalimetroa.

Mikrouhin labeak 2,45 GHz-ko frekuentzian lan egiten du eta lor daitekeen potentzia maximoa 2 kW-koa da, hala ere potentzia hori aldatu egin daiteke %10 eta %100 tartean.

Mikrouhin labeak, ganbera barruan, ohantzea kokatzeko kako batzuk dauzka, baita 24 cm-tako diametroa duen plater birakari bat ere, mikrouhinaren uhinak ganbera osoan zehar modu homogeneo batean banandu daitezten.

- Ohantzea(1): Ohantzea, 60 mm-ko diametroa eta 270 mm-ko altuera dituen erreaktorea da. Mikrouhinaren ganbera barruan kokatzen da, 5.1. Irudian ikus daitekeen moduan; sabaitik eskegita, kako batzuekin eutsirik; bertan jarraian azaltzen diren zuntzak sartzen dira, tenperaturaren jarraipen egokia burutzeko. Ohantze finko-fluidizatua izango da; finkoa lehenengo eta bigarren fasean eta fluidizatua hirugarren fasean.
- Zuntz optikoak: Tenperatura kontrolatzeko lau zuntz optiko erabiltzen dira. Lehenengoarekin sarrerako airearen tenperatura neurtzen da; bigarrenarekin ohantze barrukoa eta altuera txiki bateko tenperatura neurtzen da, hirugarrenarekin, produktuaren irteerako tenperatura eta laugarrenarekin, ohantze barrukoa eta altuera handiagoko tenperatura. Zuntz hauek Optocon marka eta Fotemp4 modeloko tenperatura neurtzaileari konektatuta daude.

- Aire konexioa(2): Toki honetatik ohantzera sartu behar den lehorketa airea aukeratzen da; hau da, sarrerako tenperatura baxuak behar direnean, nitrogeno likidoa sartuko da eta aldiz, sarrerako tenperatura altuak behar direnean, labe baten bidez beroturiko airea sartuko da. Horretarako, badaude, hotz ekipo bat eta bero ekipo bat.

Hotz ekipoan, serpentin bat sartzen da nitrogenoaren tanke barruan eta horrela aire hotza sartzen da mikrouhin ganberara. Aldiz, bero ekipoan, erresistentzia bidez berotzen da aire beroak garraiatuko duen tutua eta horrela airea berotzen da.

Aire konexioaren bidez aukeratuko da bata edo bestea elikatzea, balbula bat irekiz edota itxiz.

- Deshumidifikagailua(3): Esperimentuak modu egokian aurrera eramateko mikrouhin ganberara aire lehorra sartu behar da. Horretarako, Donaldson markako iragazki bikoitzeko hezetasuna kentzeko makina erabiltzen da. Emari maximoa 10 m<sup>3</sup>/h, laneko presioa 7 bar, airean lortutako hezetasuna %0,5 baino baxuagoa izaten da eta ihintz tenperatura -40 °C.
- Emaria neurtzeko gailua(4): deshumidifikagailuaren irteeran, mikrouhin labera elikatuko den emaria neurtzeko gailu bat dago INEKO markakoa, azalera aldakorreko emari neurgailua da, bertan balbula baten bidez aukeratu daiteke sistemara sartuko den emari kantitatea.

### 5.1.2. Hezetasun baxua determinatzeko ekipoa. Karl-Fischer

Erabilitako ekipoa: Karl-Fischer Metrohm 860 KF. Ekipo honi esker lehorketa burutu ondoren produktuan dagoen hezetasun askea neurtu da. Ekipoak Karl-Fischer-en erreakzioa eta konduktometria erabiliz aske dagoen uraren balorazioa egiten du. Ekipo honi esker esperimientuen lehorketa maila ezagutu daiteke.

### 5.1.3. Ganbera termostatikoa

Ekipo honi esker, Novasina TH2 ganbera termostatikoa, laginek duten orekako hezetasuna determinatu daiteke. Horrela, esperimientuen ondoren produktua guztiz lehortu den eta nahi den balioa lortu duen ala ez jakin daiteke.

## 5.2. ESPERIMENTUEN DESKRIBAPENA

### 5.2.1. Kapsulen prestaketa

Kapsulak prestatzeko, Jett Cutter makina erabiltzen da; TECNALIA RESEARCH & INNOVATION instituzioaren laguntzaz burutzen dira kapsula hauek; %3-ko alginato kaltzikoa eta %10-ko legamia (*Saccharomyces cerevisiae*) kantitatea duen disoluzio bat prestatzen da (hau da, 3 g 100 ml-ko eta 10 g 100 ml-ko); gero disoluzio hau Jet Cutteretik pasatu ondoren, Kloruro Kaltzikoa %2, kitosanoa %0,2 eta azido azetikoa %0,2 dituen gel disoluzioan sartzen da; horrela, 2,25 mm-ko kapsulak lortzen dira. Kapsulak, presiozko estrusio bidez lortzen dira, Jett Cutterak kapsulak nahi diren tamainaren arabera hartz batekin mozten dituelarik.

### 5.2.2. Mikrouhin bidezko lehorketaren esperimientua

Aurretik prestatutako materiala mikrouhin bidez lehortuko da, barruan ohantze finko-fluidizatuan kokatuta egonik. Mikrouhin bidezko esperimientuak burutzeko, hiru fase

desberdin finkatu dira. Fase bakoitzean hiru maila termiko desberdin ezarri dira (kontrolatu beharrekoak), horrela, saiakuntzetan airearen tenperatura baxua (5 °C), inguruko tenperatura (20 °C) eta airearen tenperatura altuak (40 °C) erabili dira.

Ohantzea finko-fluidizatu erakoa dela esaten da; lehenengo eta bigarren faseak ohantze finko moduan burutzen direlako eta hirugarrena aldiz, ohantze fluidizatua delako. Hau da, lehenengo faseetan, tenperaturen kontrola burutzea oso garrantzitsua da, mikroorganismoentzako bi hauek baitira fase kritikoenak, eta aurretik aipatu den moduan, hauek termosentsibleak dira. Aldiz, hirugarren fasea, fluidizazioan burutzen da, geratzen den hezetasun gutxia guztiz desagertzeko eta lehorketa homogenea izateko, fluidizazioa oso gogorra izatea ez da komeni, talkek, mikroorganismoen galera ekar dezaketelako.

Lehorketa faseak 5.2. Irudian ikusten den moduan finkatu dira. Hau da, hasiera batean airearen abiadura, fluidizaziorako behar den minimoan ezarri da (1,8 m/s). Ohantzeak fluidizatzen duenean, lehenengo fasea amaitu dela esaten da; horrela, airearen abiadura jaitsi egiten da, bigarren etapari dagokion fluidizaziorako abiadura jarritz (0,83 m/s); azkenik, materialak fluidizatzen duenean, bigarren fasea bukatu dela esaten da eta hirugarren faseari hasiera ematen zaio, abiadura ez da aldatzen, materialak fluidizatzen jarraitzea interesatzen baita.

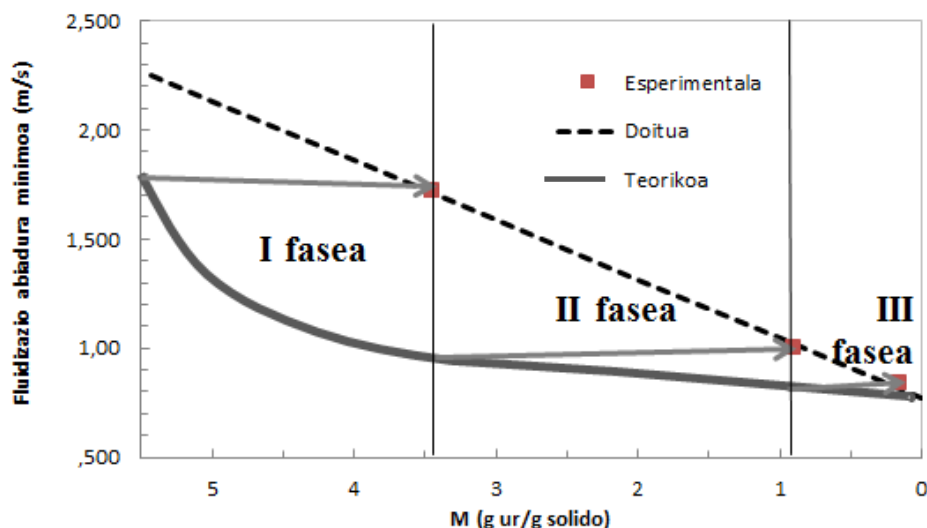
Hirugarren fasea bi modu desberdinetan egin da, esperimentuak errepikatuz; bata inguruko tenperaturaren materiala fluidizatzen utziz eta bestea, materialari hirugarren etapa honetan beroa aplikatuz; (orduro 5 °C-ko maila aldaketak eginez; 40 °C-tan hasita).

Ohantzearen fluidizazio minimoko abiadura ezagutzeko, zein erregimenetan lanean ari garen ezagutu behar da; hori Reynolds-en zenbakiaren bidez ezagutu daiteke. Zenbaki hau, (5.1) ekuazioaren arabera kalkulatzeko den zenbaki adimentsionala da. Kasu honetarako  $Re < 20$  denez, fluidizazioko abiadura minimoa ezagutzeko (5.2) ekuazioa erabiltzen da.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (5.1)$$

$$u_{mf}^2 = \frac{d_e (\rho_p - \rho_j) g}{1650 \mu} \quad (5.2)$$

Non,  $Re$ : Reynolds zenbakia,  $\rho_j$ : jariakinaren dentsitatea ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $v_s$ : airearen abiadura (m/s),  $D$ : diametroa (m),  $d_e$ : diametro esferikoa (m) eta  $\rho_p$ : partikularen diametroa ( $\text{Kg/m}^3$ ) diren.



## 5.2. Irudia. Lehorketa faseak fluidizazioko abiadurarekin erlazionatuta.

- I fasea: Fase honetan, sarrerako airearen emaria  $5 \text{ N/hm}^3$ -tan finkatu da; horrela, materialak fluidizatzen duenean, fase hau bukatu dela esaten da. Fase honetan zehar airearen tenperatura eta produktuaren gainazaleko tenperatura kontrolatu behar dira, planifikatutako maila termikoak (5.1. Taula) bete daitezten.

Mikrouhinak piztuta daude. Airearen tenperatura kontrolatzeko, sarrerako airearen balbula zabaldu edo itxi egingo da, beharren arabera eta materialaren gainazaleko tenperatura kontrolatzeko mikrouhinen potentziarekin lan egingo da.

- II fasea: Mikrouhinak piztuta daude; lehenengoaren berdina da; aldatzen diren gauza bakarrak maila termikoa (5.1. Taula) eta sarrerako airearen emaria dira; hau da, lehenengo fasean  $5 \text{ N/hm}^3$ -tan fluidizatu egin duenez, emari hau jaitsi egiten da;  $3 \text{ N/hm}^3$ . Emari honetan ere, materialak fluidizatzen duenean, fasea bukatu dela esaten da.
- III fasea: Fase honetan mikrouhinak itzalita mantentzen dira eta emaririk ez da aldatzen; hau da, materiala fluidizatzen mantentzen da nahi den uraren aktibitatea lortu arte.

Hirugarren fase hau, bi modu desberdinetan burutu zen, lehenengoa inguruko tenperaturan eta bigarrena maila aldaketa (ordu betero,  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko jaitsiera  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan hasita) batzuekin beroa aplikatuz, lehorketa denborak murrizteko asmoz.

Fase bakoitzaren bukaeran eta hirugarren fasean, ordu betero laginak hartzen dira, lehorketaren zein puntutan gauden jakin ahal izateko eta zinetikaren jarraipen on bat burutu ahal izateko. Lehorketa prozesuan zehar, laginak hartzeaz gain, zerbait sarriago ohantzea pisatu egin da, masaren jarraipen on bat burutzeko.

Azkenik, harturiko laginen ur-aktibitatea eta hezetasun absolutua determinatzen dira. Uraren aktibitatea neurtzeko, lagina ganbera termostatikoa sartzen da eta 20 minutu pasatzen direnean, honek eskainitako balio apuntatzen da. Hezetasun absolutua, Karl-Fischer makinaren bidez neurtzen da; honetan, lagina  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ -tara lurruntzen da eta galtzen duen hezetasuna, balorazio tokira joaten da bertan baloratu eta denbora bat pasatu ondoren, makinak, oinarri hezeko hezetasunaren datua ematen du.

### 5.2.3. Aldagaien analisia

Saiakuntzetan, lehorketa prozesuan zehar kontuan hartu beharreko aldagaiak hiru dira: produktuaren gainazaleko temperatura, gradiente termikoa eta airearen abiadura. Aldagai hauek kontutan izanda bederatzi esperimentu diseinatu dira.

5.1. Taulan,  $T_{aire}$  airearen temperatura da ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_s^*$  lehorketa adiabatikoa suposatzen deneko materialaren temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da eta azkenik,  $T_f$  kontroleko temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da; azken hau airearen temperatura eta lortu nahi den materialaren temperaturaren arteko bataz bestekoa da.

**5.1. Taula.** Burutu diren esperimentuen planteamendua.

	I fasea			II fasea			III fasea	Kodea
Esp.	$T_{aire}$	$T_f$	$T_s^*$	$T_{aire}$	$T_f$	$T_s^*$	$T_{maila}$ aldaketa	
1	5	20	35	5	20	35		LM/LM
2	5	20	35	20	27,5	35		LM/ML
3	5	30	55	40	47,5	55		LH/HL
4	20	27,5	35	5	20	35		ML/LM
5	20	27,5	35	20	27,5	35		ML/ML
6	20	37,5	55	40	47,5	55		MM/HL
7	20	37,5	55	20	27,5	35		MM/ML
8	40	47,5	55	40	47,5	55		HL/HL
9	40	47,5	55	20	37,5	55		HL/MM

Kodeek lehenengo fasean eta bigarren fasean erabiltzen diren airearen tenperatura ( $T_{aire}$ ) eta gradiente termikoari egiten diote erreferentzia. Hau da, ezkerreko hizkiak airearen tenperaturari egiten dio erreferentzia eta eskumakoak, aldiz, gradiente termikoari. Letrek ingeleseko nomenklaturari egiten diote aipua, Low, Medium eta High. Ondorioz, airearen kodeak, L= 5 °C, M= 20 °C eta H= 40 °C. Gradiente termikoaren kodeei dagokienez, L= 15 °C, M= 25-30 °C eta H= 50 °C.

Adibidez, hirugarren esperimentuan; lehenengo fasean, sarrerako airearen tenperatura L= 5 °C eta gradiente termikoa H= 50 °C; bigarren fasean, sarrerako airearen tenperatura H= 40 °C eta gradiente termikoa L= 15 °C.

Lehenengo, bigarren eta bosgarren esperimentuak bi aldiz burutu ziren. Lehenengo aldian, hirugarren fasea inguruko tenperaturan burutu zen eta bigarren aldian berriz, azken fase honetan beroa aplikatu zen; hirugarren fasean beroa aplikatzearen emaitzak ikusteko; azken fase hau laburtzeko asmoz.

#### **5.2.4. Bideragarritasunaren azterketa burutzeko prozesua.**

TECNALIA RESEARCH & INNOVATION instituzioaren bidez burutu da zenbaketa.

Amaierako mikroorganismo bizien zenbaketa burutzeko, plaketan egiten den kolonien zenbaketa oso metodo erabilia da; kasu honetan, mikroorganismo bizi bakoitzak ikusgarria den kolonia bat sortuko du, horrela sortzen diren kolonien arabera, zenbat mikroorganismo bizi dauden ikusi ahal izango da.

Mikroorganismo biziekin lan egitean, batez ere laginak txikiak direnean, errore esperimentalak egoten dira; hala ere, gutxi gora beherako zenbaketa burutzeko plaketan burutzen den kolonien zenbaketa metodo egokia da.

Zenbaketa burutzeko pausuak ondokoak dira:

1. 50 ml ur destilatutan %10-eko lurra duen esekidura prestatu; lurra, lehorra eta hartu berria izan behar da.
2. Suspentsioa nahastu 30-60 minutu inguru. Eskuzko nahasketa edota nahasketa magnetikoa erabil daiteke.
3. Aurreko suspentsiotik 5 ml dituen seriean dauden diluzioak prestatuko dira 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000.
4. 4 plaketan izenak jartzen dira (bat diluzio bakoitzarentzako); diluzio bakoitzetik 0,1 ml eta "Agar Nutritiboa" jarri Petri plakan.
5. 2-3 egun inguru 37 °C-tan inkubatzen utzi.
6. Plaketan inhibiziorik egon den ikusi.
7. Zenbaketa burutu, horretarako, 30 eta 300 kolonia bitartean dituzten plakak aukeratzen dira. Emaitza ufc/g unitateetan eman (kolonia unitateak gramoko).

## 6. EMAITZAK

### 6.1. LEHORKETAREN ZINETIKA

#### 6.1.1. Lehorketa faseak

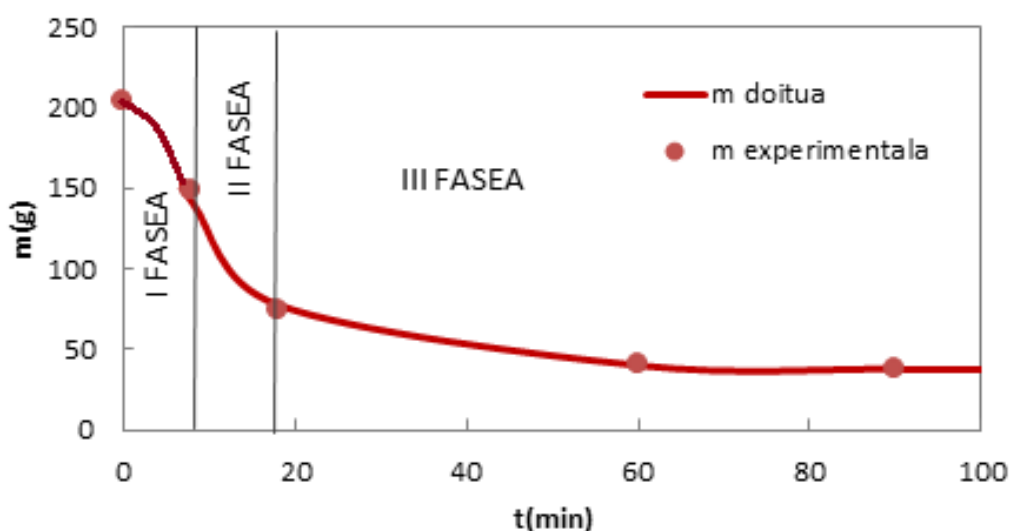
Lehorketa faseak 5.2.2. atalean azaldu dira. Beraz, lehorketaren zinetika lortzeko, lehorketa prozesuaren zehar, masari jarraipena egin zaio; horrela, fase bakoitzaren bukaera eta hirugarren fasean zehar, ordu erdiro masak hartu dira; gainera, fase bakoitzaren bukaeran eta hirugarren fasean ordu betero, laginak hartu dira uraren aktibitatearen jarraipena egiteko eta lehorketaren zein puntutan gauden jakiteko, materialaren kalitate ona bermatzeko asmoz.

Masa eta denbora erlazionatzen dituen grafikoa lortu aurretik, laginak hartu diren puntu bakoitzean masaren zuzenketa burutu behar izan da; hau da, masa hori lehortzen jarraituko dela kontutan izan behar da; gero amaierako masa (Karl-Fischer datuaren bidez lortzen dena) egokia izan dadin.

6.1. Irudian, masa denborarekiko irudikatu da eta puntu esperimental hauek dagozkien ekuaziora doitu dira. Ikusten denez, 6.1. Irudiko denborarekiko masaren jarraipenak itxura sinusoidala du; lehorketa prozesuetan ematen den itxura. Orohar, lehenengo fasean lehorketa ez da azkarra, nahiko geldoa da; momentu honetan gainazaleko hezetasuna desagertzen ari baita. Geroago egoera egonkorra lortzen da.

Ageria denez, lehorketaren abiadura maximoa inflexio puntuaren ondoren ematen da lehenengo eta bigarren faseen artean (mikrouhinak piztuta daudenean). III fasean malda ia konstanteko lehorketa ikus daiteke.

Esperimentuak 240 minuturaino irauten badu ere; azken fase hau laburtzea erabaki da; dinamika berdina jarraitzen baitu amaiera arte eta horrela esanguratsuena dena (hasierakoa) ondo ikusteko.



#### 6.1. Irudia. Masaren jarraipena 3.esperimenturako (LH/HL).



Doiketa, puntu esperimentalen bidez lortu da; bi ekuazio erabili dira doiketarako; bata inflexio puntura arte eta bestea hortik aurrera; biak ekuazio parabolikoak izanik.

Amaieran izan beharko genukeen masaren kalkulua (6.1) ekuazioaren bidez lortzen da. Ikusten den moduan, Karl-Fischer ( $KF$ ) eta labea erabiliz ( $m_{s.lehor}$ ) lortzen da. Karl-Fischer makinak 140 °C-tararte berotzen du lagina eta lurrundutako hezetasuna ponpa baten bidez balorazio gunera eramaten da; atal honetan balorazioa burutzen da eta bukatzerakoan laginak duen hezetasun portzentajea emango du, hezetasun hau oinarri hezean ematen du makinak. Labearekin aldiz, esperimentuetan erabilitako materialaren hasierako lagina labean sartzen da 60 °C-tan eta 24 ordu pisatu egiten da lagina, pisua konstante izan arte; horrela materialaren solido lehor kantitatea lortzen da.

$$m_{amaiera} = \frac{m_{s.lehor}}{1-KF} \quad (6.1)$$

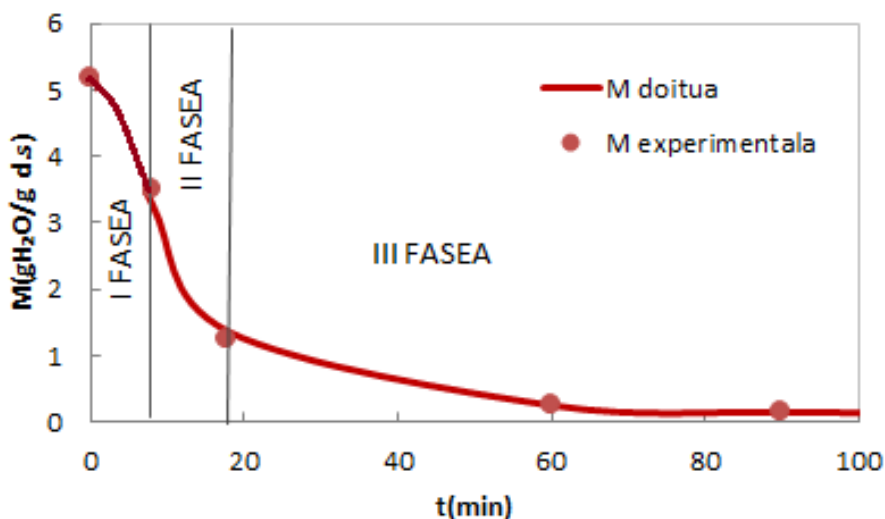
$m_{amaiera}$ , amaieran izan beharko genukeen masa (g) da, laginik hartu izan ez bagenu izan beharko genukeen masa,  $m_{s.lehor}$  solido lehor kantitatea da eta  $KF$  Karl-Fischer makinak eskaintzen duen laginaren hezetasuna (g ur/g total).

Labearen bidez lortutako solido lehorraren masarekin, oinarri lehorreko hezetasuna kalkulatu daiteke (6.2) ekuazioan ikusten den moduan.

$$M_i = \frac{m_i - m_{s.lehor}}{m_{s.lehor}} \quad (6.2)$$

$M_i$  i momentuan dagoen hezetasuna da (oinarri lehorrean) (g H<sub>2</sub>O/g d.s) eta  $m_i$  i momentuan dagoen masa (g) da gramotan.

Momentu desberdinetako hezetasunak denborarekiko irudikatu dira. (6.2. Irudia).



### 6.2. Irudia. Hezetasunaren bilakaera 3.esperimenturako (LH/HL)

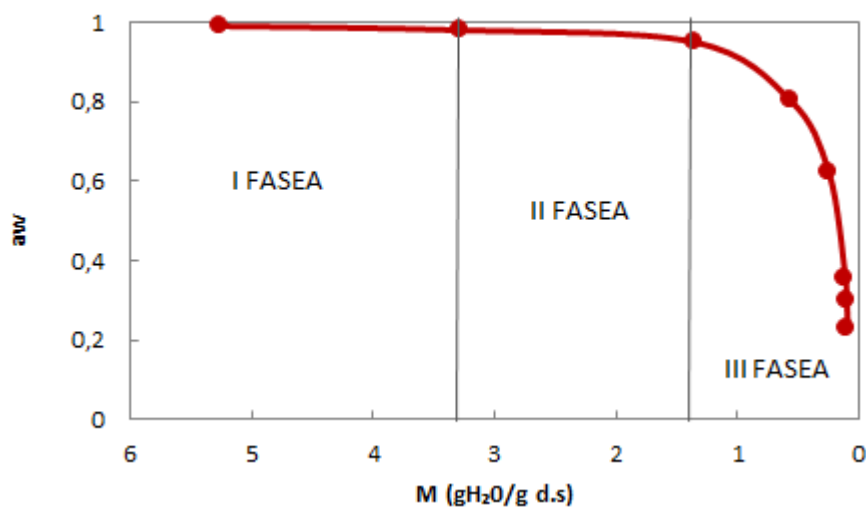
Ikusten denez, 6.1. Irudiak eta 6.2. Irudiak itxura berbera dute. 6.2. Irudia zinetikak aztertzeko erabiltzen den irudia da. 6.1. Iruditik ateratzen diren ondorio berberak ikusten dira hemen ere. Hau da, lehenengo eta bigarren faseetan, hau da, mikrouhinak piztuta daudenean, lehorketa abiadura maximoa ematen da eta hirugarren fasean aldiz lehorketa konstantea ematen da.

Memoriaren puntu honetatik aurrera, grafiko guztiak hezetasunarekin erlazionatuko dira, aipatu bezala hau baita zinetikak aztertzeko erabiltzen den parametroa.

Alderaketak egiteko erabiliko diren grafikoak uraren aktibitatea eta hezetasuna erlazionatzen dituen grafikoa (6.3.Irudia) eta lehorketaren abiadura eta hezetasuna erlazionatzen dituen grafikoa izango dira (6.4.Irudia).

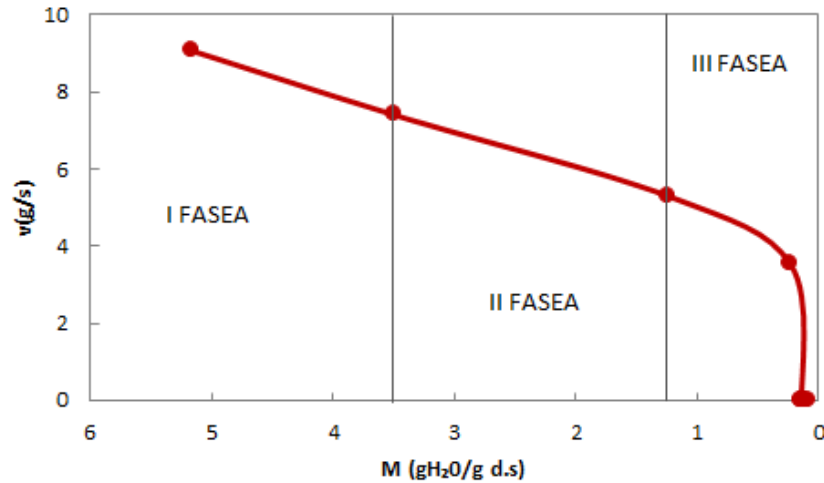
6.3. Irudian 3. esperimenturako ur-aktibitatearen banaketa ikusten da, hezetasunarekiko irudikaturik. Ikus daitekeen moduan lehenengo eta bigarren faseko ur aktibitatearen jaisiera ez da oso bortitza, azken hau horrela izatea interesatzen da lehorketaren kalitatea ona dela adierazten duelako eta lehorketa homogeenoa dela ere esaten duelako. Gainera kapsulen barruan dauden mikroorganismoak tenperaturekiko oso sentikorrak dira eta tenperatura aldaketa bortitzak ez dituzte ondo jasaten, beraz, lehorketaren baldintza leunak izatea interesatzen da.

Mikrouhinen existentziari esker ematen da lehorketa homogeenoa, hauek produktuaren barneko ura lurruntzen baitute, hau da, materiala barnetik kanpora lehortzen dute. Aldiz, hirugarren fasean, hezetasuna asko jaisten ez bada ere, uraren aktibitateak nabarmen behera egiten duela ikus daiteke, honek gainazaleko ura lurruntzen ari dela adierazten du. Ondorioz, esan daiteke uraren aktibitateak gainazaleko hezetasunari bakarrik egiten diola erreferentzia. Ondorioz, Karl Fischer bidez neurtzen da hezetasun totala (6.1. Taula).



### 6.3. Irudia. 3. esperimenturako (LH/HL) ur-aktibitatearen banaketa.

6.4. Irudia lortzeko, lehorketa prozesuan zehar masak izan duen denborarekiko bilakaera deribatu behar izan da. Deribatzekeo masaren balore esperimentaleko puntuak bi ekuazio parabolikori doitu zaizkio; ekuazio bat inflexio puntua baino lehen eta bestea inflexio puntuaren ondoren. Ekuazio hauek denborarekiko deribatuz, abiaduraren profila lortu da. Honetarako 6.2. Irudiko datuak erabili dira.



#### 6.4. Irudia. Lehorketa abiaduraaren profila 3.esperimenturako (LH/HL).

Hasiera batean lehorketa abiadura ez da oso bortitza (uraren aktibitatearekin gertatzen zen berdina), beraz egokia da, aurretik aipatu bezala hasierako baldintzak leunak izatea interesatzen baita. Aipatu bezala hasieran barneko ura lurruntzen denez, abiaduraaren profila leunagoa da. Hirugarren fasean gainazaleko hezetasuna lurruntzen denez, puntu honetatik aurrera abiadura handiagoa da. Amaieran lehorketa oso geldoa dela ikus daiteke, puntu honetan ia urik ez baita geratzen.

### 6.2. TENPERATURAREN ANALISIA

Lehorketaren zinetika ezagutzeko, produktuaren tenperatura kontrolatzea oso garrantzitsua da. Produktuaren barneko tenperatura kontrolatzea ezinezkoa denez, produktuaren gainazaleko tenperatura neurtu da zuntz baten bidez.

Aurrerago aipatu bezala, esperimentuak burutzeko  $T_s^*$  teoriko bat finkatu da, baina hau ez da esperimentuetan lortuko den tenperatura, azken batean interfaseko tenperatura neurtzen baita zuntzen bidez; beraz, tenperatura erreala kalkulatzeko (6.3) ekuazioa erabili da.

$$T_s = 2T_f - T_{aire} \quad (6.3)$$

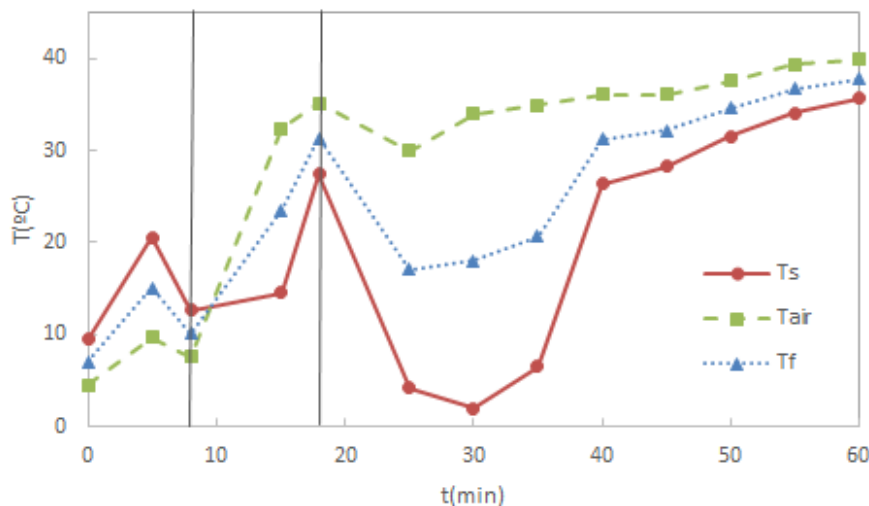
Kontrolatu nahi den tenperaturarekin ( $T_f$ ) eta airearen tenperaturarekin ( $T_{aire}$ ) berdina gertatzen da; hau da, aurretik planifikatutakoaren eta benetan esperimentuetan lortu den tenperaturaren artean desberdintasuna dago; beraz, azken bi hauek ondoko modu honetan kalkulatu dira:

$$T_{aire} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (6.4)$$

Non  $T_{in}$  (°C), sarrerako tenperaturari dagokion eta  $T_{out}$  (°C) irteerako tenperaturari dagokion.

$$T_f = \frac{T_s^* + T_{aire}}{2} \quad (6.5)$$

$T_f$  ohantzean dagoen partikulen arteko filmaren tenperatura da; ezinezkoa delako produktuaren ohantzeko tenperatura neurtzea, gero airearen tenperatura eta prozesua adiabatikoa deneko tenperaturaren arteko batz bestekoaren bidez kalkulatu da. Tenperatura hauen jarraipena 6.5. Irudian ikus daiteke; non, grafikoa hirugarren saiakuntzarako burutu den.



**6.5. Irudia.** 3.esperimentuko tenperaturaren eboluzioa.

### 6.2.1. Gradiente termikoa

6.5. Irudian, hirugarren esperimenturako burutu den tenperaturaren ebaluazioa ikus daiteke. Horrela, grafiko honetan, materialaren temperatura ( $T_s$ ), airearen temperatura ( $T_{aire}$ ) eta kontrolatzen den temperatura ( $T_f$ ) irudikatu dira.

5.1. Taulan ikusten den moduan hirugarren saiakuntzan, lehenengo fasean airearen temperatura 5 °C-koa da eta bigarren fasean aldiz, 40 °C-koa. Ohartu, airearen temperatura baxuak erabiltzen direnean, materialaren temperatura airearen temperatura eta ohantzeko tenperaturaren gainetik dagoela, hau da, materialak beroa askatzera joko du eta konbektzio bidezko galerak emango dira; ondorioz, energetikoki ez da mesedegarria izango, mikrouhinen bidez lehortzen ari bada ere materialak energia galduko duelako.

6.5. Irudia ikusita, aipatu behar da, materiala oso gutxi kaltetzen dela,  $T_f$  ohantzeko temperatura beti nahi dena baino txikiagoa dela; ezin izan baitzen nahi zen kontroleko temperatura lortu. Honek, baldintzak leunagoak izatea eragiten du eta horrela, materiala gutxiago kaltetzea.

Aldiz, airearen temperatura altuak erabiltzen direnean, materialaren temperatura airearen temperatura eta ohantzeko tenperaturaren azpitik geratzen da; ondorioz, materialak berotzea joko du beti; hau da, mikrouhinen bidezko lehorketa batez gain, lehorketa konbektibo bat ere emango da; energetikoki mesedegarria.

Honez gain, bigarren fasea bukatzen denean eta hirugarrena hastear dagoenean, tenperaturaren jaitsiera bat ematen dela ikus daiteke; jaitsiera hau mikrouhinak itzaltzen direlari atxikitzen zaio.

6.5. Irudian hirugarren esperimentua erakutsi bada ere, gainontzeko esperimentuek ere dinamika berdina jarraitzen dute.

## 6.3. FASEEN ANALISIA

Esperimentuen datuen tratamendua burutu ondoren, faseen analisia burutzera jo da; horretarako lehenengo fasearen eragina ikusteko, bigarren fasean baldintza berberak dituzten esperimentuak konparatu dira. Berdina egin da bigarren fasearen eragina ikusteko, hau da,

lehenengo fasean baldintza berdinak dituzten esperimentuak konparatu dira. Gainera, hirugarren fasean beroa erabiltzea hobea dela ere ikusi da.

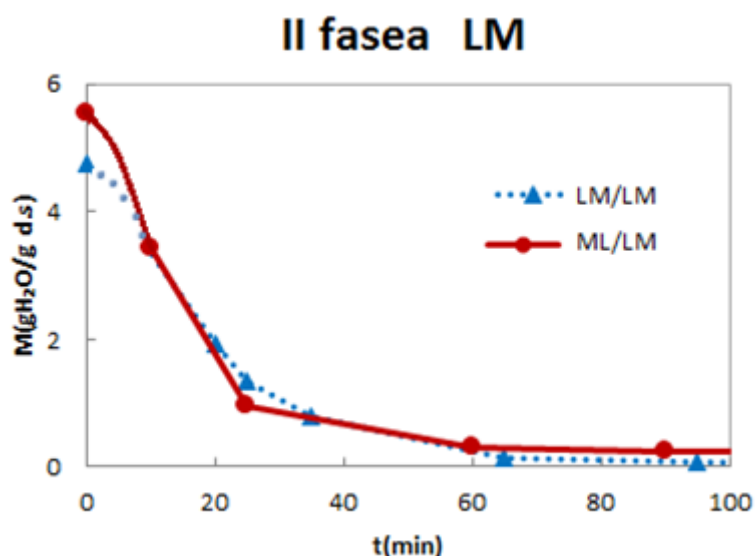
### 6.3.1. I fasearen analisia

Atal honetan, aipatu bezala, II fase berdina duten esperimentuak konparatu dira; lehenengo fasearen eragina ikusteko.

Lehenengo eta laugarren esperimentuek II fasean LM mailarekin burutu dira ( $T_{\text{aire}}= 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Lehenengo esperimentuaren baldintzak I fasean:  $T_{\text{aire}}= 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Laugarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6.6. Irudian, lehenengo faseek malda desberdinak dituztela ikus daiteke, honek lehorketa abiadura desberdinak izan direla adierazten du, maila termiko altuagoak erabiltzen direnean lehorketa abiadurak ere altuagoak izaten dira, aurretik aipaturiko moduan, mikrouhinez gain, materiala, konbekzioaren bidez ere lehortzen ari delako.

Bigarren fasean baldintza berdinak erabili direnez, amaieran kurbak asko hurbiltzen direla ikus daiteke; honela bukaerako kurbaren joera lehenengo fasearen menpekoa ez dela ikus daiteke. Bigarren fasearen agerpenean ez da atzerapenik ageri, maila termikoen desberdintasuna oso handia ez baita.

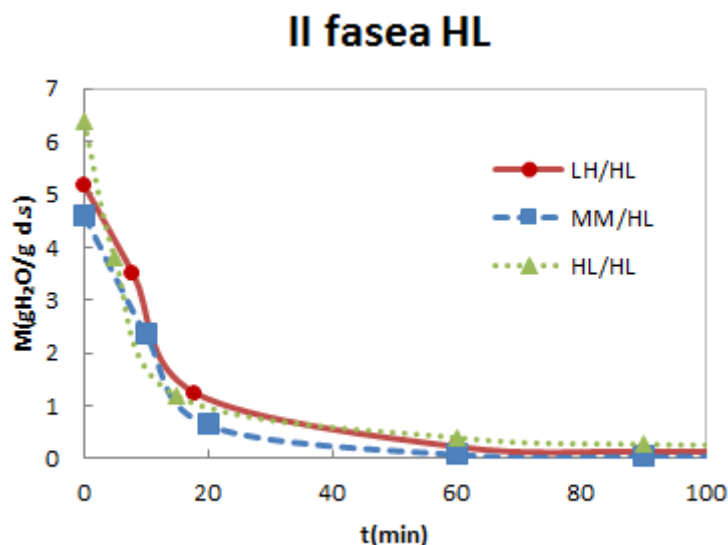


### 6.6. Irudia. 1 (I fasea LM) eta 4 (I fasea ML) esperimentuen alderaketa.

Jarraian, bigarren, bosgarren eta zazpigarren esperimentuak alderatuko dira; hauetan, bigarren fasean ML maila erakusten dute ( $T_{\text{aire}}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Bigarren esperimentuaren baldintzak I fasean:  $T_{\text{aire}}= 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bosgarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zazpigarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6.7. Irudian ikus daiteke hiru esperimentuek bigarren fasea momentu berean lortzen dutela, hau da, bigarren fasearen etorrera ez dago lehenengo faseagatik baldintzatuta; aipatzekoa da, kasu honetan, hiru esperimentuen lehenengo faseen artean alde handirik ez dagoela eta ondorioz, lehorketaren abiaduran desberdintasun handirik ez dagoela. Hala ere, ikus daiteke, oso nabaria ez bada ere, zazpigarren esperimentuko malda zertxobait handiagoa dela beste biekin

konparatuz, honek, lehenengo fasean lehorketa abiadura handiagoa dela adierazten du, maila termikoa altuagoa baita; hau da konbekziozko lehorketa altuagoa dela eta bero galerarik ez dagoela.



**6.7. Irudia. 2.** (I fasea LM), 5.(I fasea ML) eta 7. (I fasea MM) esperimentuen alderaketa.

Hiru esperimentuen bukaera denbora, antzekoa izan da, beraz, lehenengo faseak esperimentuaren iraupenean ez duela eragiten ondoriozta daiteke.

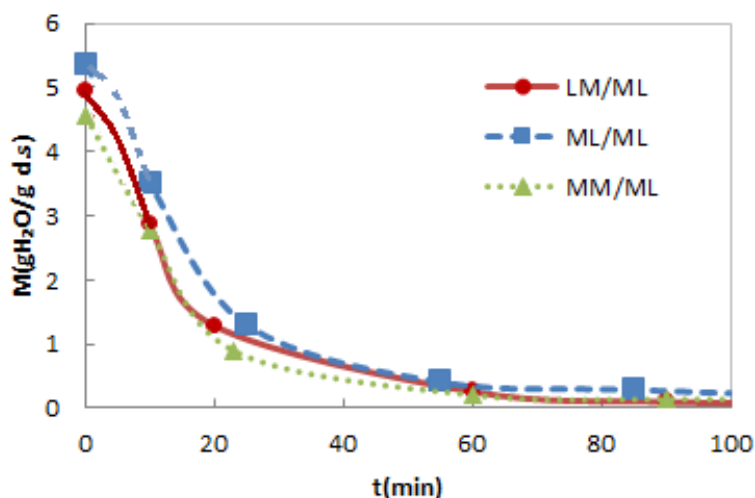
Honez gain, ikus daiteke hiru esperimentuetan hasierako baldintzak ez direla berdinak, honek lehorketa aurretiko fasean materiala gutxiago lehortu dela esan nahi du; hau da, materiala hozkailuan dagoen fasean hezetasun gutxiago galdu duela zazpigarren esperimentuaren kasuan.

Lehenengo fasearen alderaketarekin bukatzeko, hirugarren, seigarren eta zortzigarren esperimentuak alderatuko dira; hauek, bigarren fasean HL maila erakusten dute ( $T_{\text{aire}}= 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Hirugarren esperimentuaren baldintzak I fasean:  $T_{\text{aire}}= 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Seigarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zazpigarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}= 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6.8. Irudi honetan, zortzigarren esperimentuak lehorketa abiadura handiena duela ikus daiteke, bere malda handiena delako hasieran; esperimentu honek, hiru saiakuntzetatik airearen sarrerako tenperaturarik altuena dauka lehenengo fasean eta bere gradiente termikoa txikia bada ere, kasu honetan materiala bizkorren lehortzen da; beraz, hemendik, lehorketa abiadura sarrerako airearen tenperaturaren menpekoa dela ondoriozta daiteke.

Grafikoaren itxurari dagokionez, aurrekoen antz handia duela aipatu behar da; hau da, amaieran guztiak puntu berberera iristen dira, hasierako fasea desberdina izan arren.

## II fasea ML



**6.8. Irudia.** 3. (I fasea LH), 6.(I fasea MM) eta 8. (I fasea HL) esperimentuen alderaketa.

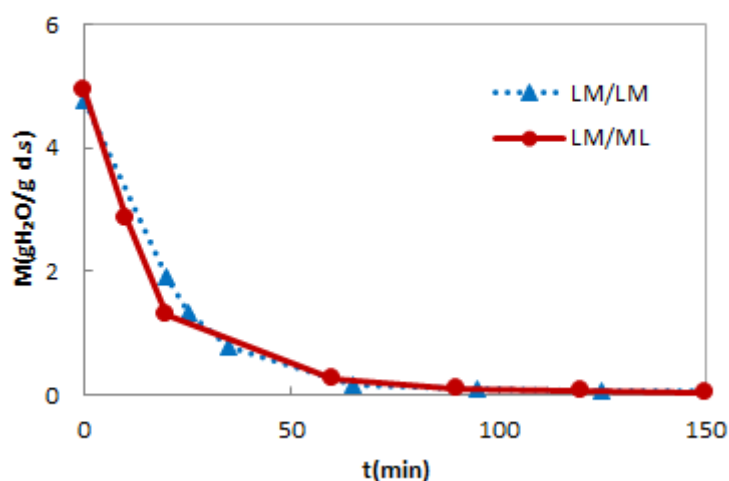
6.3. irudian komentatu den moduan lehenengo fasean uraren aktibitatearen jaitziera ez da oso nabarmena, fase honetan, barneko hezetasunaren murrizketa ematen baita.

### 6.3.2. II fasearen analisia

Atal honetan lehenengo fase berdinak dituzten esperimentuak alderatuko dira; II fasearen eragina aztertu ahal izateko.

Lehenengo eta bigarren esperimentuak I fasean LM mailarekin burutu dira ( $T_{\text{aire}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  eta  $\text{Gradiente} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Lehenengo esperimentuaren baldintzak II fasean:  $T_{\text{aire}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  eta  $\text{Gradiente} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Bigarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  eta  $\text{Gradiente} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## I fasea LM



**6.9. Irudia.** 1.(II fasea LM) eta 2. (II fasea ML) esperimentuen alderaketa.

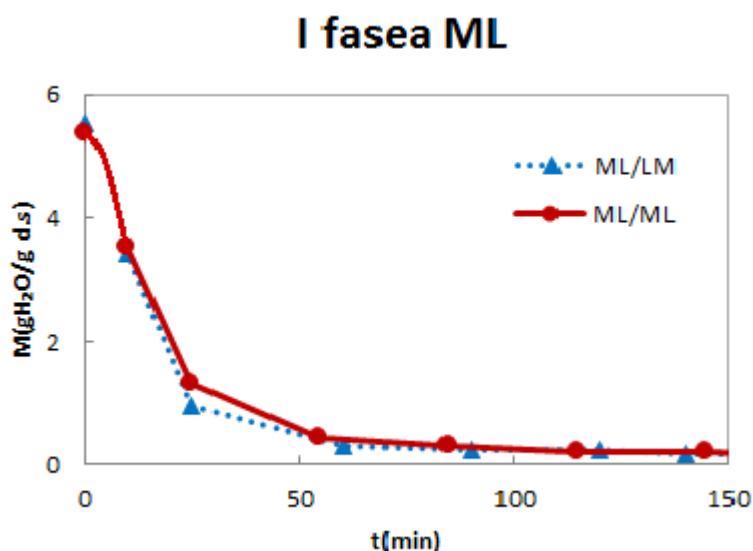
Nabaria denez, 6.9. Irudian, lehenengo faseak berdinak direla esan daiteke; baina bigarren fasean desberdintasun bat ikus daiteke; lehenengo esperimentuku kurba, bigarren esperimentuku kurbaren gainetik doala ikus daiteke; honek, bigarren esperimentuku bigarren fasea bizkorrago burutzen dela adierazten du; kasu honetan, airearen sarrerako temperatura altuagoa delako; beraz, materiala bizkorrago lehortuko da.

Lehenengo fasean gertatzen zen moduan, kasu honetan ere lehorketa prozesuaren bukaeran emaitza berberak lortzen dira eta gainera denbora berdinean lortzen dira; ondorioz, fase honek ere lehorketa prozesu osoan ez dauka eragin handirik.

Ondoren, laugarren eta bosgarren esperimentuak alderatu dira, hauetan, I fasea ML mailarekin burutu da ( $T_{\text{aire}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Laugarren esperimentuaren baldintzak II fasean:  $T_{\text{aire}}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bosgarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6.10 eta 6.11 Irudietatik, lehenengo fasean lortzen ziren ondorio berberak lortu daitezke, hau da, sarrerako temperatura handiagoa den heinean fase horren lehorketa abiadura handiagoa da, materiala mikrouhin bidez lehorteaz gain, konbekzioz ere berotzen ari delako; azken hau, energetikoki mesedegarria da, lehorketa bizkorrago lortuko delako. Gainera, fase hauen aldaketak ez du amaierako uraren aktibitatean eraginik, azken hau, guk aurretik aipatutako balioa baita.

Lehorketa prozesuaren denborak ere ez dira gehiegi aldatzen, minutu batzuetako gorabeherak badaude baina ezin dira fase honen temperatura eta gradiente aldaketei atxiki.

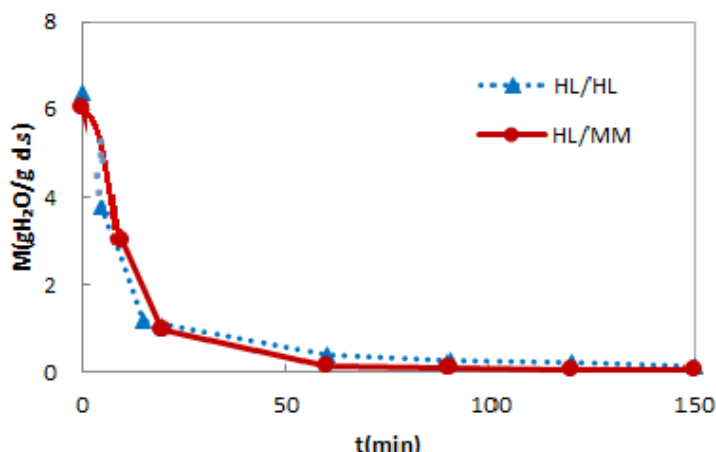


#### 6.10. Irudia. 4.(II fasea LM) eta 5. (II fasea ML) esperimentuaren alderaketa.

Zortzigarren eta bederatzigarren esperimentuak I fasean HL mailarekin burutu dira ( $T_{\text{aire}}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Zortzigarren esperimentuaren baldintzak II fasean:  $T_{\text{aire}}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bederatzigarren esperimentukoak:  $T_{\text{aire}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $\text{Gradiente}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



### I fasea HL

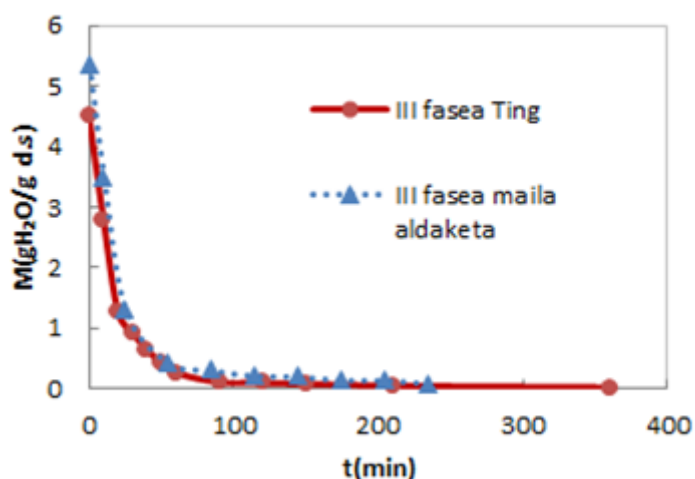


**6.11. Irudia.** 8.(II fasea HL) eta 9. (II fasea MM) esperimentuen alderaketa.

### 6.3.3. III fasearen analisisa

III fasearen analisisa burutzeko, lehenengo, bigarren eta bosgarren esperimentuak bi aldiz burutu ziren. Lehenengo aldirian hirugarren fase hau inguruko tenperaturan burutu zen eta bigarren aldirian ordu betero 5 °C-ko maila aldaketak burutu ziren, 40 °C-tik hasita; horrela, prozesua bizkortzeko asmoz. Lortutako emaitzak, 6.12. Irudian ikus daitezke.

### III fasea



**6.12. Irudia.** III fasearen alderaketa, inguru tenperaturan edo maila aldaketarekin.

6.12. Irudian ikus daitekeen moduan, hirugarren fasean beroa aplikatzeak ez du inongo aldaketarik sortzen amaierako datuetan; hezetasun maila berberera heltzen baita; hirugarren fasea inguruko tenperaturan burutzen denean, 0,242 balioko ur-aktibitatea lortzen da 360 minututan eta hirugarren fasean beroa aplikatzen dugunean aldiz, 0,275 235 minututan balioko

hezetasuna, beraz, desberdintasun handirik ez dago hezetasunaren aldetik, aldiz, prozesamendu denborak nabarmen egiten du bera, horrela denborak murriztuz produktuaren amaierako kalitateari eragin gabe.

Desberdintasun bakarra, lehorketa prozesuaren iraupen denbora da, hirugarren denboran beroa aplikatzen denean, lehorketa prozesua askoz ere bizkorragoa baita.

## **6.4. DESHIDRATAZIOAREN KALITATEA**

Lehorketa prozesuan zehar kontuan hartu beharreko parametroak ez dira tenperatura eta abiadura soilik; lehorketaren zehar produktuaren kalitatea bermatzea eta amaieran produktuak kalitate egokia izatea ere oso garrantzitsua da. Hau kalkulatzeko ur-aktibitatea eta hezetasun totala kontuan hartu behar dira.

Horrez gain, izaki bizidunekin lan egiten hari garenez, lehorketa prozesuaren ondoko mikroorganismoen bideragarritasuna ere kontuan izan behar da eta gainera kuantitatiboa den balorazio energetiko bat ere burutuko da atal honetan.

### **6.4.1. Ur-aktibitatea**

Ur-aktibitateak produktuaren erabilgarritasuna eta bizi denbora adierazten ditu. (Ambros, Forest et al. 2013)-n ikusten den moduan; materialaren ur-aktibitatea 0,2-0,3 tartean egon behar da mikroorganismoan hazkuntza eta bideragarritasuna posible izateko. 6.1. Taulan esperimendu bakoitzean lortutako ur-aktibitateak ageri dira.

### **6.4.2. Hezetasun totala**

Datu hau Karl-Fischer esperimenduen bidez determinatu da, emaitzak 6.1. Taulan ageri dira. Karl-Fischer makinak hezetasuna oinarri hezean ematen du.

6.1. Taulari erreparatuz gero, konturatu da, zenbat eta sarrerako aire beroagoa erabili lehorketa prozesuaren abiadura handiagoa dela, hau da, mikrouhinen bidez berotzen egoteaz gain konbekzioz ere berotzen ari dela eta horrela, hezetasun baxuak arinago lortzen direla. Honez gain, amaierako fasean beroa aplikatzen denean, saiakuntza bakoitzaren amaierako denbora asko murrizten dela ere ikus daiteke; hau da, arinago heltzen gara helburu moduan finkaturiko amaierako ur-aktibitate eta hezetasun totalaren tarte horretara.

### 6.1. Taula. Deshidratazioaren kalitateari buruzko datuak.

Esp.	V [-dM/t (g H <sub>2</sub> O/g solido lehor)] Bataz beste	Amaierako t (min)	Amaierako ur- aktibitatea $a_w$	Amaierako KF(%)
1	1,562	275	0,251	6,726
2	3,881	195	0,275	7,522
3	2,530	240	0,23	7,706
4	1,799	240	0,261	7,577
5	1,816	235	0,275	7,458
6	2,831	210	0,253	7,599
7	2,000	240	0,262	8,414
8	3,304	240	0,265	8,830
9	2,470	240	0,236	7,726
1 (T <sub>inguru</sub> )	0,776	320	0,283	8,371
2 (T <sub>inguru</sub> )	1,732	330	0,275	8,497
5 (T <sub>inguru</sub> )	1,899	360	0,242	8,129
Liofilizazio	0,194	720	0,327	8,855

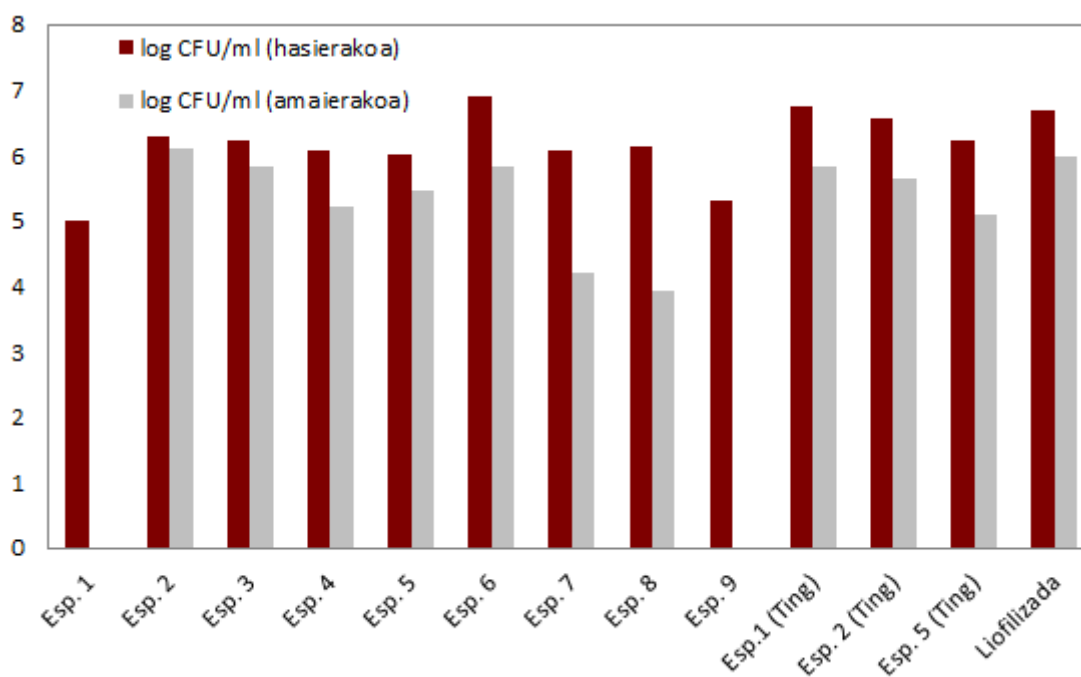
### 6.4.3. Bideragarritasuna

Mikroorganismoekin lan egiten ari denez, lehorketa prozesuaren ondoren zenbat mikroorganismo bizirik geratu diren zenbatzen da. Datu honekin lehorketa prozesuaren bideragarritasuna eta egokitasuna ikus daiteke. Horrez gain, mikroorganismoei zein maila termiko edo gradiente termiko egokiago dagokien ikus daiteke. 6.13. Irudian mikroorganismo bizien zenbaketa ikus daiteke.

6.13. Irudian hasierako laginean zeuden mikroorganismo kopurua eta amaierako laginean zeuden mikroorganismo kopuruak ikus daitezke. Aurretik aipatu bezala, lehenengo, bigarren eta bosgarren esperimentuak bi aldiz burutu ziren, batean hirugarren fasean inguruko

temperatura erabili zen eta errepikatu zenean hirugarren fasean beroa aplikatu zitzaion produktuari.

Ikus daiteke, hirugarren fasean beroa aplikatzen denean, mikroorganismoen bideragarritasuna hobetua dela. Fase honetan, inguruko tenperaturaren burutzen denean, mikroorganismo guztiak hiltzen baitira. Hau, azken fase honetan inguruko tenperaturaren egitean fase honen luzerari atxikitzen zaio; hau da, hainbeste denbora materiala fluidizatzen egotean partikulen arteko talkek mikroorganismoak hiltzea ekar dezake. Gaur egun, mota honetako produktuak lehortzeko erabiltzen den teknika nagusia liofilizazioa da. Gure lehorketa prozesuan, liofilizazioaren kasuan baino mikroorganismo bizi gehiago egotea interesatzen da; 6.4.4. atalean azalduko den moduan, liofilizazioan energia asko erabili behar baita. 6.2. Taulan ikus daiteke badaudela hiru saiakuntza liofilizazioa baino eraginkortasun handiagoa dutenak (bigarren, hirugarren eta bosgarren esperimentuak).



### 6.13. Irudia. Hasierako eta amaierako mikroorganismo kopurua (log CFU/ml) erlazioa.

Bigarren, hirugarren eta bosgarren esperimentuetan erabiltzen diren tenperaturak ertainak dira orokorrean, batzuetan hasieran tenperatura hotzak erabiltzen badira ere. Mikroorganismoek muturreko tenperatura altuak jasaten ez dituztela ondoriozta daiteke. Hobe da hasiera batean tenperatura hotzak edota erdibidekoak erabiltzea, horrela mikroorganismoak erdi lokaturik geratzen baitira heriotzera heldu gabe.

Hau da, hasieran tenperatura hotzak erabili behar dira, mikroorganismoak lokaturik geratzeko eta ondoren, erdibideko tenperaturak, muturreko tenperatura altuak jasaten ez dituztelako.

### 6.4.4. Balorazio energetikoa

6.2. Taulan ikuspegi orokor batetik abiatuz, balorazio energetikoa burutu da, modu kualitatibo batean.

Lehenengo eta bigarren faseak bakarrik hartu dira kontutan balorazio energetikoa burutzerako orduan, azken fasea, kasu guztietan modu berdinean burutu delako eta bere kontribuzioa ez

litzatekelako esanguratsua izango; gauza berdina gertatzen da aplikatzen den mikrouhinen energiarekin, hau da, bi faseetan aplikatzen denez ez da bere kontribuzioa kontuan hartu 6.2. Taula honetan; azken batean datu hori esanguratsua ez delako.

Baloratzeko orduan, esperimentu bakoitzean temperaturari egin zaion jarraipena izan da kontuan. Hau da fase bakoitzean  $T_s$ , materialaren tenperatura,  $T_{aire}$ , airearen tenperaturaren ginetik doan edo ez izan da kontutan.

**6.2. Taula.** Balorazio energetikoa eta bideragarritasunaren errendimendua.

Esperimentua	I fasea	II fasea	Balorazio energetiko totala	Bideragarrit. Errendimendua (%)
1	-	-	--	0,0
2	-	-	--	97,0
3	-	+++	++	93,7
4	++	-	+	85,8
5	++	++	++++	90,9
6	++	+++	+++++	84,4
7	++	-	+	68,9
8	+++	+++	+++++	64,0
9	+++	-	++	0,0
Liofilizazioa	Ez dago	Ez dago	Oso negatiboa	89,5

Materialaren tenperatura, airearen tenperaturaren ginetik dagoenean, materialak galera konbektiboak dituela kontsideratzen da; hau da, airearen tenperatura hotzagoa denez, materialak beroa galtzera joko duela suposatzen da eta hau minus (-) batekin baloratzen da.

Aldiz, materialaren tenperatura airearen tenperaturaren azpitik dagoenean, mikrouhinen bidezko lehorketa batez gain, kontribuzio konbektiboa dagoela ere kontutan hartzen da; energetikoki mesedegarria, airea materiala baino beroago dagoenez, azken honek, berotzera joko baitu; hau positibo (+) moduan baloratuko da; gradiente termikoaren arabera; gradiente termiko baxuentzako ikur positibo bakarra, gradiente termiko ertainentzako bi ikur positibo (++) eta gradiente termiko altuentzako, hiru ikur positibo (+++).

6.2. Taulan ikusten denez, balorazio energetikoa burutu ondoren, ohartzen gara zortzigarren esperimentua dela balorazio onena duena; hau da, mikrouhinen bidez berotzeaz gain, materiala modu konbektiboan ere berotzen da; gradiente termiko altuarekin. Hala ere, esperimentu

honetako bideragarritasunaren errendimendua ez da oso ona; beraz balorazio energetikoaren eta errendimenduaren arteko optimizazioa burutu beharra dago.

Lehorketa liofilikoa oso negatiboa da ikuspuntu energetikotik; lehorketa prozesuan oso denbora luzeak erabiltzen baititu; prozesu osoan zehar huts ponpa pizturik dagoelako, gainera materialari beroa aplikatu behar zaio izoztuta dagoen bitartean; gainera, sistema osoa errefrigeratu beharra dago. Guzti honen ondorioz, energetikoki liofilizazioa bat ere mesedegarria ez dela ondorioztatzen da.

Bideragarritasunaren errendimenduari dagokionez, aurretik aipatu den moduan, badaude hiru esperimentu liofilizazioa baino errendimendu hobea dutenak (bigarrena, hirugarrena eta bosgarrena); hirurak hirugarren fasean beroa aplikatzen denean.

## 6.5. ESTRATEGIA OPTIMOAREN AUKERA

Aurrerago aipatu den moduan, hiru esperimentu daude liofilizazioa baino bideragarriagoak direnak: bigarren, hirugarren eta bosgarren esperimentuak. Beraz, puntu honetatik aurrera, esperimentu horiek aztertuko dira; estrategia optimoa aukeratzeko asmoz. 6.3. Taulan, hiru esperimentu hauen baldintzak aurkezten dira.

**6.3. Taula.** Bigarren, hirugarren eta bosgarren esperimentuen baldintzen laburpena.

	I fasea			II fasea			III fasea	Kodea
Esp.	$T_{\text{aire}}$	$T_b$	$T_s^*$	$T_{\text{aire}}$	$T_b$	$T_s^*$	$T_{\text{maila aldaketa}}$	
2	5	20	35	20	27,5	35		LM/LM
3	5	30	55	40	47,5	55		LM/ML
5	20	27,5	35	20	27,5	35		LH/HL

6.3. Taulari erreparatzen badiogu; esan daiteke; esperimenturik prozesagarriena saiakuntza burutzeko orduan, bosgarren esperimentua dela; kasu honetan nitrogeno likidorik erabili behar ez delako, sarrerako airea inguruko tenperaturakoa baita eta horrez gain, ez lehenengo fasean ezta bigarren fasean ere, berogailurik behar ez delako.

6.4. Taulan balorazio energetikoaren eta bideragarritasunaren arteko konparaketa burutu daiteke.

6.4. Taulan, bideragarritasunaren errendimendurik hoberena duen esperimentua, bigarrena da, baina kasu honetan, lehenengo fasean nitrogeno likidoa erabiltzen dugu eta gainera, energetikoki ez da oso mesedegarria, bai lehenengo fasean eta baita bigarren fasean ere galera konbektiboak ematen direlako, beraz, esperimentu hau baztertu egiten da.

**6.4. Taula.** Bigarren, hirugarren eta bosgarren esperimentuetako balorazio energetikoa eta bideragarritasunaren errendimenduaren laburpena.

Esperimentua	I fasea	II fasea	Balorazio energetiko totala	Bideragarrit. Errendimendua (%)
2	-	-	--	97,0
3	-	+++	++	93,7
5	++	++	++++	90,9

Hirugarren esperimentuari dagokionez, bigarren fasean berogailua erabiltzen bada ere eta mikrouhinez gain beroketa konbektiboa ematen bada ere, bosgarren esperimentuan baino balorazio energetiko okerragoa ematen da. Bosgarren esperimentuaren bideragarritasun errendimendua, hirugarren esperimentuarena baino okerragoa bada ere, ez da datu txarra lortzen.

Beraz, operazio baldintzak kontuan izanda, balorazio energetikoa kontuan izanda eta bideragarritasun errendimendua kontuan izanda, lehorketa prozesua burutzeko estrategia optimoa bosgarren esperimentuaren dela uste da.

Hala ere, aipatzekoa da, gure kasuan *Saccharomyces cerevisiae* izan dela erabili den probiotiko modeloa, horrela, baliteke, beste probiotiko bat erabiltzean, suertatuko litzatekeen estrategia optimoa beste bat izatea. Azken batean, hiru eta bosgarren esperimentuen artean alde handirik ez baitago. Hau da, hirugarren esperimentuak ez du hain balorazio energetiko txarra eta bideragarritasunaren aldetik oso ona da; aldiz, bosgarren esperimentua oso ona da energetikoki, baina ez du oso nabarmen liofilizazioaren bideragarritasuna gaitzen.

Hau da, gure probiotikoaren kasuan optimoa bosgarren esperimentua bada ere, baliteke, beste probiotiko modelo batekin hirugarren esperimentua ere egokia izatea edota etorkizunean egon daitezkeen prozesamendu eskakizunentzako hirugarren esperimentuaren antzeko baldintzak dituen esperimentu bat proposatu daiteke.

## 7. ONDORIOAK

Lan honetan, lehorketa prozesuan eragina izan duten parametroak aztertu dira: produktuaren tenperatura eta gradiente termikoa. Horrez gain, prozesuaren zinetika, produktuaren kalitatea eta bideragarritasuna ere kontuan izan dira. Hau lortzeko hiru maila termiko desberdinetako bederatzi esperimentu aurrera eraman dira; maila termiko baxua, ertaina eta altuak aplikatu dira.

Beraz, esperimentuetatik lortutako emaitzak, baldintza ezberdinen arteko alderaketa egiteko erabili dira.

## 7.1. LEHORKETAREN ZINETIKA

Esperimentuetarako hiru fase bereiztu dira:

- Lehenengo fasean, mikrouhinak piztuta, produktuaren barneko hezetasuna kentzen da eta horregatik uraren aktibitateak ez du nabarmen behera egiten, puntu honetan lehorketa abiadurak ez dira oso handiak ikusten, aipatu bezala, barneko hezetasuna kentzen ari delako.
- Bigarren fase honetan ere mikrouhinak piztuta daude, puntu honetan lehorketa abiadura maximoa ematen da; lehorketa produktuaren barnealdetik kanporantz baitator; beraz, fase hau difusioagatik kontrolatuta dagoela esaten da.
- Hirugarren fasean, mikrouhinak ez daude piztuta eta fase honetan produktuari geratzen zaion hezetasuna murriztea da helburua; produktua fluidizazioan mantenduz. Fase honetan gainazaleko hezetasuna denez murrizten dena, uraren aktibitateak nabarmen egiten du behera.

## 7.2. TEMPERATUREN ANALISIA

- Produktuaren tenperatura: hau, prozesuan zeharreko sarrerako tenperaturaren menpekkoa da, hau da, sarrerako tenperatura altuak erabiltzen direnean, produktuaren tenperatura, sarrerako eta ohandzeko filmaren tenperaturaren azpitik geratzen da; horrela, produktua mikrouhinen bidez lehorteaz gain, konbekzio bidez ere lehortzen ari dela esaten da. Aldiz, sarrerako tenperatura baxuak erabiltzen direnean, produktuaren tenperatura, sarrerako airearen tenperaturaren gaintik geratzen da eta kasu hauetan, konbekziozko galerak daudela esaten da produktua beroegi baitago.
- Gradiente termikoa: gradiente termikoa zenbat eta handiagoa izan, lehorketa prozesua azkarrago ematen da, hezetasuna denborarekiko irudikatzen deneko malda handiagoa baita gradiente termiko altuak erabiltzen direnean.

## 7.3. BIDERAGARRITASUNA

Probiotikoak, termosentikorrek direla jakina da; esperimentu honen bidez, hauek, muturreko tenperaturak jasaten ez dituztela egiaztatu da; horrela, esperimentu hauek baztertu egin direlarik.

Bideragarritasunaren errendimendua, esperimentu liofilikoarena baino altuagoa izatea bilatu da; horrela, hau betetzen duten esperimentuak, bigarrena, hirugarrena eta bosgarrena direla ikusi ahal izan da; hauek, tenperatura leunenak dituzten esperimentuak izan dira.

## 7.4. BALORAZIO ENERGETIKOA

Energetikoki sailkatzerako orduan, produktuaren tenperaturaren eta gradiente termikoaren araberako sailkapena burutu da; hau da, aurrerago aipatu bezala, galera konbektiboak ematen dira produktuaren tenperatura sarreraren gaintik dagoenean, ondorioz, hau negatiboa da, aplikatzen ari garen energia galtzen ari garelako; horrela, mikrouhinez gain konbekzioz ere berotzen ari garenean, positiboa dela kontuan hartzen da, materiala bizkorrago lehortuko



delako; hala ere, tenperaturak mugakoak ez izatea gomendatzen da. Gradiente termiko altuek balorazio energetiko hobea dute.

## 7.5. ESTRATEGIA OPTIMOAREN AUKERA

Balorazio energetikoaren eta bideragarritasunaren arteko optimoa bilatu behar da; aurretik aipatutako muturreko tenperaturak baztertu egin dira eta puntu honetara hiru esperimentuekin iristen da, mikroorganismo biziak dituzten esperimentuak (bigarrena, hirugarrena eta bosgarrena).

Tenperatura baldintza leunak dituzten esperimentuak izango dira aproposenak. Beraz, bigarren esperimentua zuzenean baztertzen da, balorazio energetiko txarra baitu.

Hirugarren esperimentua eta bosgarren esperimentua aukeratzeko orduan, erabiliko den probiotiko modeloaren arabera aukeraketa izango da. Hau da, guk erabili dugun probiotiko modelorako, bosgarren esperimentua da egokiena; hala ere, hirugarren esperimentuak bideragarritasunare datu oso onak ditu eta energetikoki mesedegarria da, ondorioz, baliteke, beste probiotiko modelo bat erabiltzerako orduan, azken honek ere emaitza onak ematea. Beraz, hirugarren eta bosgarren esperimentuak dira aurreko baldintza guztiak kontutan izanda estrategia optimoenak.

## 8. NOMENKLATURA

$a_w$ : ur-aktibitatea.

$c$ : argiaren abiadura (m/s).

$D$ : diametroa (m).

$D_p$ : partikularen diametroa (m).

$d_e$ : diametro esferikoa (m).

$d_p$ : barnerapen sakonera (m).

$f$ : frekuentzia (Hz).

$g$ : grabitatea ( $m/s^2$ ).

$KF$ : Karl-Fischer esperimentuan lortutako hezetasuna (%).

$m$ : masa (g).

$M$ : hezetasun totala ( $g H_2O/g$  solido lehor).

$p$ : elikagaiaren bapore presioa (bar).

$P_0$ : ur puruaren bapore presioa (bar).

$Re$ : Reynolds zenbakia.

$T_{air}$ : airearen tenperatura ( $^{\circ}C$ ).

$T_f$ : ohantzean dagoen partikulen interfaseko filmaren tenperatura ( $^{\circ}C$ ).

$T_{in}$ : airearen sarrerako tenperatura ( $^{\circ}C$ ).

$T_{out}$ : airearen irteerako tenperatura ( $^{\circ}C$ ).

$T_s$ : produktuaren gainazaleko tenperatura ( $^{\circ}C$ ).

$T_s^*$ : produktuaren gainazaleko tenperatura teorikoa lehorketa adiabatikoan ( $^{\circ}C$ ).

$t$ : denbora (s).

$u_{mf}$ : fluidizazio abiadura minimoa (m/s).

$v_s$ : airearen abiadura (m/s).

#### *Hizki Grekoak*

$\mu$ : biskositatea (kg/ms).

$\epsilon'$ : konstante dielektrikoa.

$\epsilon''$ : galera faktorea.

$\rho_f$ : jariakinaren dentsitatea ( $Kg/m^3$ ).

$\rho_p$ : partikula lehorraren dentsitatea ( $Kg/m^3$ ).

## 9. BIBLIOGRAFIA

AMBROS, S., FOREST, P., eta KULOZIK, U., 2013. Temperature controlled microwave vacuum drying as innovative drying technique: influence of process and product parameters on the product quality of probiotics. Sixth Nordic Drying Conference, Copenhagen, 2013. Proceedings.

CHAMPAGNE, C.P., ROSS, R.P., SAARELA, M., HANSEN, K.F. and CHARALAMPOPOULOS, D., 2011. Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. *Int. J. Food Microbiol.*, 149, 185-193.

CHANDRASEKARAN, S., RAMANATHAN, S. and BASAK, T., 2013. Microwave food processing—A review. *Food. Res. Int.*, 52, 243-261.

DAGNAS, S., ONNO, B. and MEMBRÉ, J., 2014. Modeling growth of three bakery product spoilage molds as a function of water activity, temperature and pH. *Int. J. Food Microbiol.*, 186, 95-104.

HOLTZ, E., AHRNÉ, L., RITTENAUER, M. and RASMUSON, A., 2010. Influence of dielectric and sorption properties on drying behaviour and energy efficiency during microwave convective drying of selected food and non-food inorganic materials. *J. Food Eng.*, 97, 144-153.

JAMEKHORSHID, A., SADRAMELI, S.M. and FARID, M., 2014. A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 531-542.

KERR, W.L., 2013. Chapter 12 - Food Drying and Evaporation Processing Operations. In: M. KUTZ, ed, *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, pp. 317-354.

LIU, S., OGIWARA, Y., FUKUOKA, M. and SAKAI, N., 2014. Investigation and modeling of temperature changes in food heated in a flatbed microwave oven. *J. Food Eng.*, 131, 142-153.

MAKINEN, K., BERGER, B., BEL-RHLID, R. and ANANTA, E., 2012. Science and technology for the mastership of probiotic applications in food products. *J. Biotechnol.*, 162, 356-365.

O'FLAHERTY, S. and KLAENHAMMER, T.R., 2010. The role and potential of probiotic bacteria in the gut, and the communication between gut microflora and gut/host. *Int. Dairy J.*, 20, 262-268.

ORIKASA, T., KOIDE, S., OKAMOTO, S., IMAIZUMI, T., MURAMATSU, Y., TAKEDA, J., SHIINA, T. and TAGAWA, A., 2014. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *J. Food Eng.*, 125, 51-58.

RATHORE, S., DESAI, P.M., LIEW, C.V., CHAN, L.W. and HENG, P.W.S., 2013. Microencapsulation of microbial cells. *J. Food Eng.*, 116, 369-381.

- REID, G., 2008. Probiotics and prebiotics – Progress and challenges. *Int. Dairy J.*, 18, 969-975.
- SENADEERA, W., ALVES-FILHO, O. and EIKEVIK, T., 2013. Influence of drying conditions on the moisture diffusion and fluidization quality during multi-stage fluidized bed drying of bovine intestine for pet food. *Food Bioprod. Process.*, 91, 549-557.
- SOHAIL, A., TURNER, M.S., COOMBES, A., BOSTROM, T. and BHANDARI, B., 2011. Survivability of probiotics encapsulated in alginate gel microbeads using a novel impinging aerosols method. *Int. J. Food microbiol.*, 145, 162-168.
- SOSA-MORALES, M.E., VALERIO-JUNCO, L., LÓPEZ-MALO, A. and GARCÍA, H.S., 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. *LWT - Food Sci. Technol.*, 43, 1169-1179.
- SYAHRUL, S., HAMDULLAHPUR, F. and DINCER, I., 2002. Thermal analysis in fluidized bed drying of moist particles. *Appl. Therm. Eng.*, 22, 1763-1775.
- TRIPATHI, M.K. and GIRI, S.K., 2014. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *J. Funct. Food.*, 9, 225-241.
- VAN DER ZANDEN, L.D.T., VAN KLEEF, E., DE WIJK, R.A. and VAN TRIJP, H.C.M., 2014. Knowledge, perceptions and preferences of elderly regarding protein-enriched functional food. *Appetite*, 80, 16-22.
- VEGA-MERCADO, H., MARCELA GÓNGORA-NIETO, M. and BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., 2001. Advances in dehydration of foods. *J. Food Eng.*, 49, 271-289.
- VEMMER, M. and PATEL, A.V., 2013. Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents. *Biol. Control*, 67, 380-389.