Influència de la glucosa en la viscositat de preparats alimentaris destinats per a persones afectades per disfàgia

Autora: Silvia Marceló Moros
Tutor: Josep García Raurich
Universitat Politècnica de Catalunya, EET
Data d'entrega: 10/01/2016

Índex

Agraïments 3
CAPÍTOL 1: Introducció al treball i objectius 4
CAPÍTOL 2: Disfàgia 5
2.1. Classificació 6
2.1.1 Disfàgia orofaríngia 7
2.1.2 Disfàgia esofàgica 8
2.1.3 Disfàgia funcional o motora 9
2.1.4 Disfàgia mecànica o obstructiva 9
2.2. Diagnòstic 9
2.3 Tractament 13
2.3.1. Disfàgia orofaríngia 13
2.3.2. Disfàgia esofàgica 15
2.4. Referencies bibliogràfiques : Disfàgia 16
CAPÍTOL 3: Reologia: Fluids i sòlids 19
3.1 Viscositat 19
3.1.1 Viscositat dinàmica 20
3.1.2 Viscositat cinemàtica 20
3.1.3 Viscositat aparent 21
3.2 Fluids 21
3.2.1 fluids newtonians 22
3.2.2 fluids no newtonians 24
3.2.3 fluids viscoelàstics 27
3.3. Referencies bibliogràfiques: Reologia dels fluids 29
CAPÍTOL 4: Agents de grau de consistència 31
4.1 Espessidors i gelificants 32
4.2. Gelificació de polisacàrids 33
4.3. Referencies bibliogràfiques : Agents de grau de consistència 44
CAPÍTOL 5: La glucosa 47
5.1. Biosíntesis 48
5.2. Obtenció d'energia 49
5.3. Glucosa a la sang 50
5.4. Referencies bibliogràfiques : Glucosa 51
CAPÍTOL 6: Metodologia experimental 52
6.1 Productes utilitzats 52
6.2 Matrius 52

6.3 Aparells utilitzats i el seu funcionament 53
6.3.1 Viscosímetre capil·lar Cannon Fenske 53
6.3.2 Viscosímetre rotacional Brookfield 55
6.4 Metodologia de la determinació de les viscositats 58
6.4.1 Mostres 58
CAPÍTOL 7: Resultats i discussió 60
7.1 Efecte de la concentració 60
7.1.1. Espessidor Densiter® 60
7.1.2. Espessidor Resource® 62
7.1.3.Espessidor SenseoPro® 64
7.1.4.Gelatina 74
7.2 Efecte de la temperatura 76
7.2.1Concentració de l'espessidor 76
7.2.2. Gelatina 81
7.3 Efecte de la concentració de glucosa 83
7.3.1. Gelatina 102
7.4. Efecte del repòs 106
7.5. Precipitació 107
CAPÍTOL 8 : Conclusions 109
8.1 Conclusions espessidors de midó de blat de moro (Densiter® i Resource®) 109
8.2 Conclusions SenseoPro® 110
8.3 Conclusions Gelatina neutra Hacendado® 111
CAPÍTOL 9 : Avaluació econòmica 112
CAPÍTOL 10 : Propostes de millora i impacte social 114

Agraïments

Voldria agrair aquest treball en primer lloc a Josep García Raurich, el meu tutor i qui m'ha ajudat i s'ha preocupat per mi en tot moment, ha tingut molta paciència i m'ha donat ànims i motivació per tirar aquest projecte endavant i surti de la millor manera possible. Per descomptat a Maria Luisa Garcia, Logopeda especialitzada en deglució de risc (disfàgia orofaríngia), ja que és la iniciadora d'aquesta investigació i presenta uns grans valors i motivació per ajudar a tots els malalts i aconseguir una correcta dieta que condueixi a la seva millora.

Agrair, als companys del CRESCA, Judith, Queralt i Mercè per la informació i els coneixements que m'han transmès.

M'agradaria agrair també, a Teresa Vidal i a tots els components del departament d'enginyeria paperera per deixar-me utilitzar el laboratori i els viscosímetres.

I finalment agrair a tota la meva família per el suport, afecte i ànims que m'han donat al llarg de tot el camí.

CAPÍTOL 1: Introducció al treball i objectius

Anomenem disfàgia a la dificultat de deglució, es a dir dificultat del pas de l'aliment des de la boca a l'estómac.

La disfàgia és un símptoma altament prevalent, que pot ser degut a múltiples processos patològics, tant estructurals com funcionals i localitzar-se a nivell orofaringe o esofàgic.

Segons els estudis la disfàgia orofaríngia pot causar desnutrició fins a 1/3 dels pacients que la pateixen, com a conseqüència de les alteracions en l'eficàcia del transport del bol alimentari, i ocasionar alteracions en la seguretat de la deglució com penetracions o aspiracions en un 2/3 dels pacients. Aquests pacients tenen un elevat risc de pneumònies per aspiració i infeccions respiratòries. Si es tracta d'un pacient amb problemes neurològics, ancians o persones institucionalitzades pot arribar a ser necessària una alimentació no-oral. Aquests normalment amb estàncies hospitalàries prolongades i amb major mortalitat. Per aquest motiu és molt important un diagnòstic precoç i fiable, per detectar els símptomes i actuar amb el tractament.

S'ha de ser molt prudent a l'hora de subministrar un aliment a una persona que presenta disfàgia, ja que es poden produir complicacions en la seva salut que, en funció de la gravetat d'aquesta alteració, poden arribar a provocar-li mort.
Aquest estudi es planteja, com resultat de l'experiència per part de María Luisa Garcia (Logopeda especialitzada en deglució de risc), en la dificultat de definir els paràmetres que permeten una correcta adaptació dietètica de pacients amb disfàgia orofaríngia.

Aquest treball és una continuació de l'estudi realitzat per la Mercè Alba, i estudia la influencia dels sucres com la glucosa en alguns dels espessidors alimentaris comercials destinats a aquest grup de persones, s'ha mesurat la viscositat d'aquests a diferents temperatures i diferents concentracions de sucre.

L'objectiu principal és determinar si els productes recomanats per a ser utilitzats en dietes per a malalts disfàgics compleixen les funcions i graus de consistència adequats, per a una correcta alimentació.

CAPÍTOL 2: Disfàgia

El terme disfàgia prové de dues paraules gregues, dys (dificultat) i phagia (menjar). La disfàgia és una sensació subjectiva de dificultat perquè l'aliment passi des de la boca a l'estómac, és a dir dificultat de deglució. En si mateixa la disfàgia no es una malaltia, sinó símptoma ocasionat per altres malalties. (1)

L'acte de la deglució és l'acció neuromuscular més complicada de l'organisme. Involucra gran quantitat de nervis cranials tant sensitius com a motors, nervis parasimpàtics i múscul llis i estriat, un total de 30 músculs i 6 parells cranials, que actuen coordinats en boca, faringe i esòfag per fer arribar eficaçment l'aliment des de la boca fins a l'estómac(2). Aquesta activitat fisiològica es produeix més de 500 vegades al dia, cada una té una durada d'uns 3 a 8 segons.

És un acte complex, perquè suposa la realització d'una sèrie de seqüències motores tant voluntàries com involuntàries, que en última instància estan sota el control del sistema nerviós central.

Una deglució normal suposa l'acció coordinada d'un grup d'estructures situades en cap, coll i tòrax, i implica una seqüència d'esdeveniments en els quals uns esfínters funcionals s'obren per permetre la progressió de la bola d'aliment, transportant-lo des de la boca a l'esòfag, i es tanquen després del seu pas per impedir falses rutes i protegir la via aèria. D'aquesta manera evita la intrusió de cossos estranys en el sistema respiratori.

L'objectiu de la deglució és la nutrició de l'individu, però la deglució té dues característiques: l'eficàcia de la deglució, que és la possibilitat d'ingerir la totalitat de les calories i l'aigua necessàries per mantenir una adequada nutrició i hidratació i, la seguretat de la deglució, que és la possibilitat d'ingerir l'aigua i les calories necessàries sense que es produeixin complicacions respiratòries.

La deglució està composta per quatre fases diferents: (3)

a. **Fase preparatòria oral (voluntària)** que inclou masticació, formació del bol i col·locació d'aquest per a la següent fase.
b. **Fase oral (voluntària)** de la deglució la llengua transfereix el bol alimentari a la faringe.
c. **Fase faríngia (involuntària)** de la deglució és una acció ràpida i altament coordinada que dura un segon aproximadament consta de elevació i retracció del paladar tou, el desplaçament antero-superior de la laringe, el tancament laringi a l'altura de l'epiglotis i l'empenta del bol amb aclariment de la faringe.

d. **Fase esofàgica (involuntària)** és la successió coordinada d'aquestes accions fa arribar l'aliment a l'esòfag, començant la fase esofàgica de la deglució que, mitjançant la seva activitat peristàltica, conduirà l'aliment fins a l'estómac.

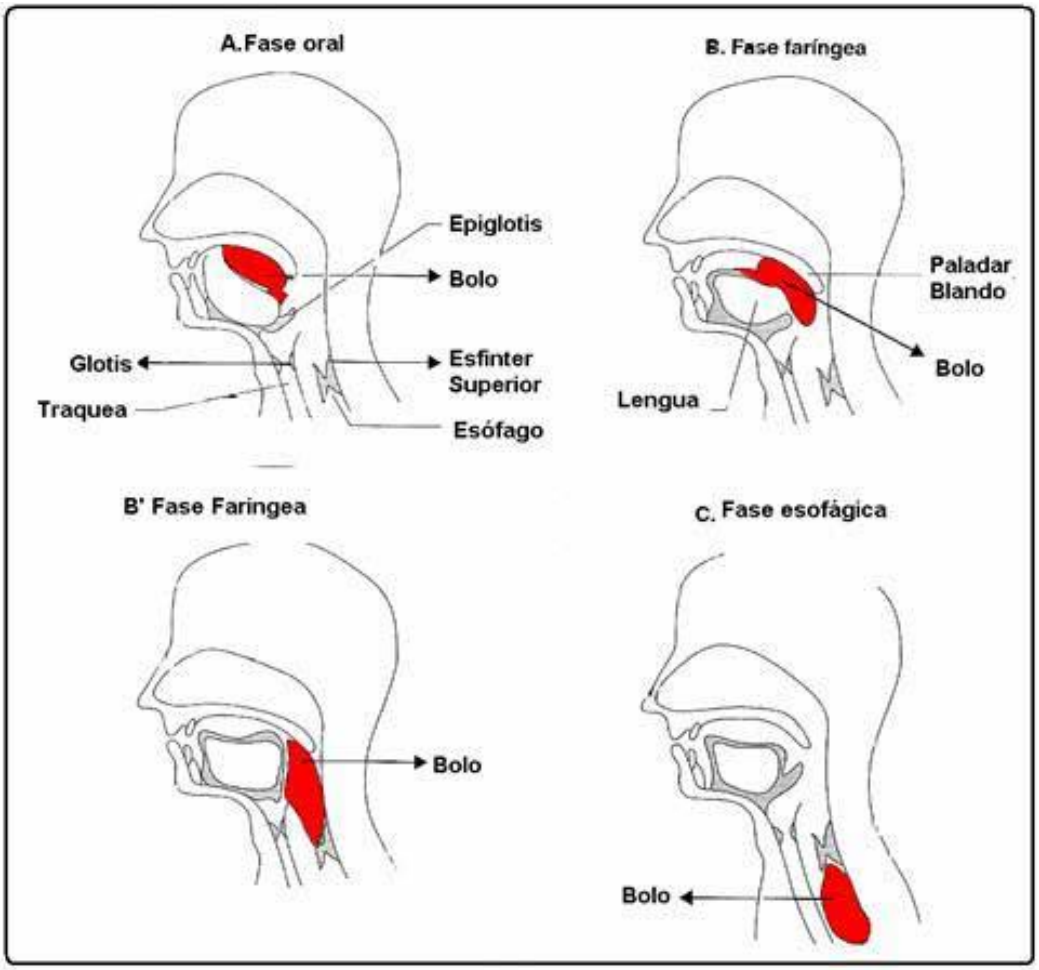


Figura 2.1: Etapes de la deglució

La disfàgia pot ser degut a una alteració orgànica o una dificultat funcional en el trajecte que segueix el bol des de la boca fins l'estómac, pot afectar a pacients de totes les edats, des de nadons a gent gran, encara que la presencia de trastorns psiquiàtrics concomitants poden potenciar-lo.

2.1. Classificació

Des del punt de vista topogràfic es classifica en disfàgia orofaríngia i en disfàgia esofàgica i des del punt de vista fisiopatològic es divideix en funcional (o motora) i en mecànica (o obstructiva).

2.1.1 Disfàgia orofaríngia

També anomenada disfàgia alta o de transferència, dificultat que comprèn la deglució a nivell faringi fins a l'esòfag, engloba les alteracions de la deglució d'origen oral, faringi, laringi i de l'esfínter esofàgic superior i suposa gairebé el 80% de les disfàgies diagnosticades. Hi ha una dificultat en l'inici del glop. Es manifesta amb salivació excessiva, tos al deglutir, regurgitació nasal, veu nasal, deglucions repetides, disfonia i disàrtria.(4)

La disfàgia orofaríngia és un símptoma que engloba dos conceptes importants: la *penetració* laríngia, que suposa l'entrada de l'aliment fins al vestíbul laringi, per sobre del nivell de les cordes vocals, i l'*aspiració*, que es defineix com l'entrada de l'aliment a la laringe, per sota del nivell de les cordes vocals. L'aspiració pot ser clínica o silent, és a dir, asimptomàtica, en funció de la indemnitat o no de la sensibilitat laríngia, del reflex-tussigen i dels mecanismes de neteja traqueal(5).

Es consideren dos grans grups, segons la malaltia causant:

2.1.1.1. Disfàgia neurógena (motora)

La disfàgia neurógena és la produïda per una alteració en les estructures neurals que controlen els complexos mecanismes de la deglució, i suposa una alteració en la seqüència coordinada d'esdeveniments que permeten una deglució segura i eficaç(6). És el grup més nombrós un 80% de les persones amb disfàgia orofaríngia es troben recollides en aquest grup.

La següent taula descriu les malalties causants d'aquest tipus de disfàgia:

Taula2.1.1.1.1: Malalties causants de la disfàgia neurógena

	Causes
Dany cerebral adquirit	Accident cervell vascular, Traumatisme cranioencefàlic, Lesions post quirúrgiques del sistema nerviós central, Anòxia cerebral, Infeccions sistema nerviós central...
Malalties neuro-degeneratives	Demències, Malalties de Parkinson, Esclerosis múltiple, Esclerosis amiotròfica
Disfàgia en l'ancià	
Malalties neuromusculars	Distròfies, Miastènia gravis
Paràlisis cerebral infantil	

Malalties del esfínter esofàgic superior	Disfunció crio-faringe(Acalàsia)

És molt important poder identificar la disfàgia orofaríngia, especialment la disfàgia neurógena, ja que és un símptoma greu, amb complicacions que poden causar la mort del pacient, es pot trobar tant en el període agut del procés com en el subagut o crònic.

2.1.1.2. Disfàgia estructural (mecànica)

La disfàgia estructural és el grup que està compost per aquelles malalties que ocasionen alteracions en l'anatomia dels òrgans.

Les malalties que produeixen aquest tipus de disfàgia són:

- Tumors i neoplàsies de cap i coll, seqüeles dels tractaments aplicats
- Malformacions congènites craniofacials
- Estenosis per ingesta de càustics
- Traumatismes cranioencefàlics
- Estenosis per osteofitosis columna vertebral cervical

2.1.2 Disfàgia esofàgica

També anomenada disfàgia baixa, es produeix per una alteració en l'esòfag superior, el cos esofàgic, l'esfínter inferior i el càrdies. Suposa un 20% de les disfàgies que es diagnostiquen. En general es deu a causes mecàniques o alteracions en la motilitat esofàgica. Es manifesta amb sensació d'obstrucció retro-esternal o epigàstrica, dolor toràcic i regurgitació tardana.

La següent taula descriu les malalties causants d'aquest tipus de disfàgia(7):

Taula2.1.2.1 : Malalties causants de la disfàgia esofàgica

	Causes
Trastorns de la motilitat (Motora)	Acalàsia, Malaltia de Changas, Espasmes esofàgics difosos, Esòfag en trencanous, Esclerodèrmia
Lesions obstructives intrínseques (Mecànica)	Tumors esofàgics, Estenosi esofàgica, Diverticles, Esofagitis eosinofílica, Esofagitis infecciosa, Post-quirúrgica (laríngia, esofàgica, gàstrica), Anells esofàgics.

Lesions obstructives extrínseques (Mecànica)	Compressió vascular (dilatació d'aorta, dilatació d'aurícula esquerra, artèria subclàvia aberrant), Masses mediastinals, Hipotròfia aurícula dreta.

2.1.3 Disfàgia funcional o motora

És originada per alteracions funcionals que dificulten el passatge del bol alimentari. Hi ha un trastorn de la motilitat, en general de causa neuromuscular. Els pacients presenten una dificultat progressiva en la deglució de sòlids i líquids, dolor en empassar i sensibilitat a aliments freds o calents. El pacient realitza maniobres que faciliten el passatge del bol alimentari, com deglucions repetides, maniobra de Valsalva o canvis posicionals.

2.1.4 Disfàgia mecànica o obstructiva

Les alteracions mecàniques solen donar lloc a una disfàgia persistent i en general progressiva. S'associa amb disfàgia a sòlids i regurgitació de l'aliment impactat, ja que es manifesta fonamentalment amb la ingesta de sòlids.

La disfàgia d'origen mecànic es produeix per l'estenosi de la llum esofàgica, ja sigui intrínseca o extrínseca.

2.2. Diagnòstic

S'estima que la causa de la disfàgia es pot determinar amb una exactitud de aproximadament el 80% en base únicament a la història clínica. Des del punt de vista clínic podem distingir la disfàgia com a símptoma aïllat i, per altra banda, la presència de símptomes acompanyants que ens alertarà sobre l'existència de possibles etiologies o complicacions. (8)

S'efectuen preguntes clau d'aquesta manera es pot saber si es tracta de disfàgia, distingir el tipus de disfàgia i la causa del problema del que prové, els símptomes que té el pacient són molt importants a l'hora de poder diagnosticar correctament i poder començar el tractament aviat.

La història mèdica i exploració del pacient consta de dades sobre pneumònies prèvies, processos d'aspiració, pics febrils, antecedents de intubació o traqueotomia amb aquesta es determina el tipus de disfàgia té el pacient(9).

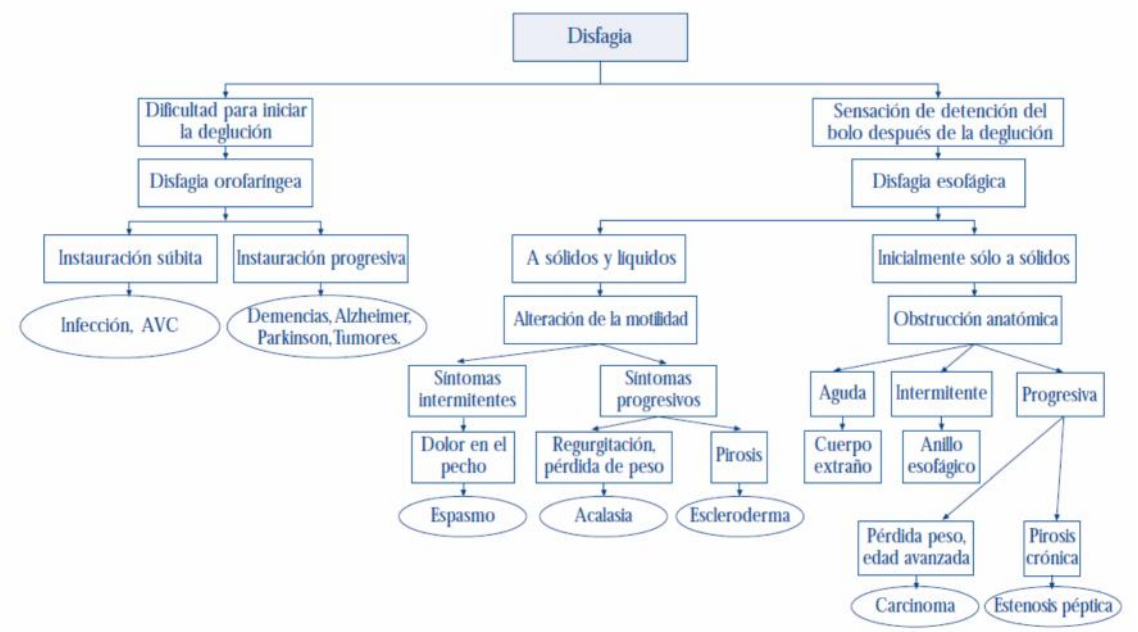


Figura2.2.1: Arbre de diagnòstic de la disfàgia

2.2.1. Exploració clínica: disfàgia orofaríngia

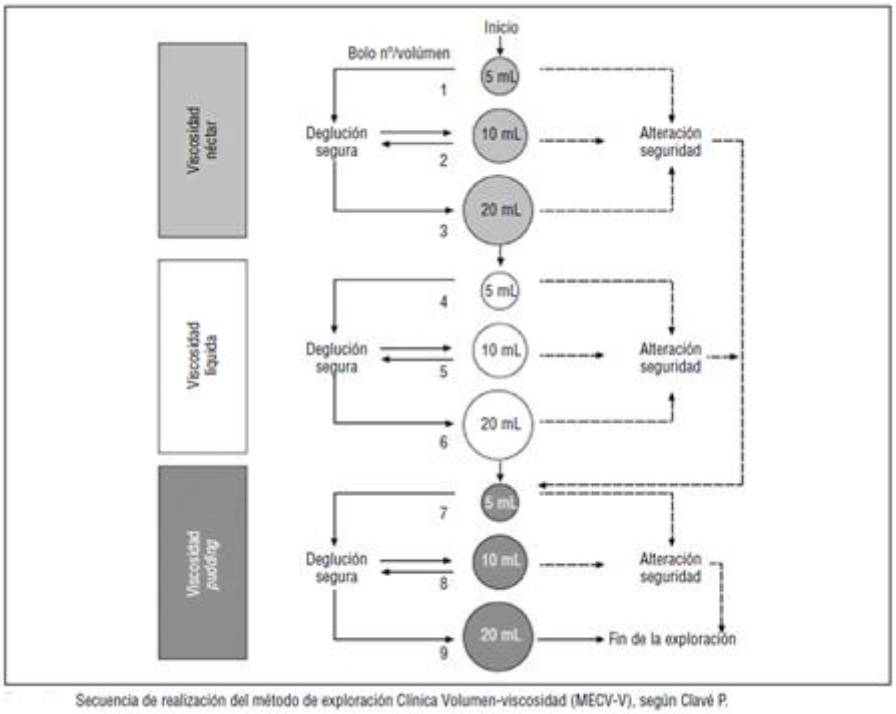
2.2.1.1. Test de l'aigua

Aquest mètode ha estat desenvolupat i validat per DePippo(10), és l'exploració antiga i actualment està en desús perquè pot introduir un diagnòstic erroni pel que fa a les alteracions de la seguretat. A més no determina en cap moment si la deglució és eficaç i no detecta el 40% de les aspiracions silents.

Consisteix en l'administració mitjançant xeringa 10 ml d'aigua i s'observa si hi ha baveig, nº de deglucions, si hi ha tos o disfonia. Es repeteix 4 vegades en total amb el mateix volum i s'acaba amb 50 ml. La prova és positiva si es presenta qualsevol Símptoma.

2.2.1.2. Test de viscositats

Mètode d'exploració clínica volum-viscositat(MECV-V). Permet identificar precoçment els pacients amb disfàgia orofaríngia, i per tant de presentar alteracions de l'eficàcia i seguretat de la deglució disminució del volum del bol i augment de la viscositat milloren la seguretat de la deglució Utilitza bols de tres viscositats diferents i entres volums diferents(11). Consisteix en administrar al pacient 5, 10 i 20 cc d'aliment en textures nèctar, púding i líquid obtingudes amb espessidors comercials. (12)



Secuencia de realización del método de exploración Clínica Volumen-viscosidad (MECV-V), según Clavé P.

Figura 2.2.1.1.: Test de viscositats MECV-V

S'ha d'observar en el pacient, presència de tos, canvis en el to de veu, presència de residus orals, existència d'una deglució fraccionada, error del segell llavis, residus faringis mentre es monitoritza la saturació d'oxigen. Una disminució de l'ordre del 3% en la saturació basal d'aquest gas en el pacient es considera un signe d'aspiració(13).

L'aplicació del MECV-V està indicada davant qualsevol sospita tant de disfàgia orofaríngia ja que, a més d'especificar alguns dels signes més freqüents i importants de la disfàgia, també orienta sobre quines són la viscositat i el volum més adequats per compensar al pacient i alimentar-lo d'una manera segura i eficaç. D'aquesta manera s'obté un criteri de selecció sobre les proves complementàries per a cada pacient.

2.2.2. Exploració clínica: disfàgia esofàgica

Pel que fa a les proves diagnòstiques, es discuteix si cal fer primer endoscòpia o un esofagograma amb contrast baritat (Deglució de bari)(14).

El esofagograma baritat, pres amb el pacient en posició supina i de peu, destaca les irregularitats en la llum de l'esòfag i identifica la majoria dels casos d'obstrucció, membranes i anells. L'estudi baritat de l'orofaringe i esòfag durant la deglució és la prova inicial de més utilitat; pot ser també útil en la detecció de acalàsia i espasme esofàgic difús, si bé aquestes afeccions són diagnosticades de manera més definitiva mitjançant manometria. També pot servir incloure un

comprimit de bari per identificar les estenosis subtils. La deglució d'un glop de bari pot ser útil també en els pacients disfàgics amb una endoscòpia negativa, si s'agrega el comprimit.

2.2.2.1. Proves complementaries

Quan amb l'historial clínic i l'exploració, no s'acaba de detectar l'origen o el metge vol assegurar el diagnòstic o necessita detalls del cas del pacient realitza els següents :

2.2.2.1.1. Rx contrastada de la deglució: Serveix per documentar alteracions anatòmiques associades amb disfàgia i la presència d'aspiració. Poden no ser detectades les anomalies menors. Es pot establir la localització anatòmica de la que dóna origen a la disfàgia en reproduir els símptomes durant el passatge del bol sòlid.

2.2.2.1.2. Laringoscòpia naso-faríngea: Per via trans-nasal s'introdueix un fi endoscopi que permet visualitzar la mucosa de la cavitat oral, nasofaringe, faringe i laringe. Aquest mètode és de molta utilitat en l'avaluació de la disfàgia orofaríngia, permetent detectar lesions estructurals i tumoracions, acumulació de residus o saliva i paràlisi de les cordes vocals. Permet a més la presa de biòpsies.

2.2.2.1.3. Videofluoroscòpia: És l'estudi de referència en cas de disfàgia. És una tècnica radiològica dinàmica que consisteix en l'obtenció d'imatges seqüencials en perfil lateral i anteroposterior després de la ingesta de diferents volums d'un contrast hidrosoluble amb 3 viscositats diferents (sòlid, semisòlid i líquid). El vídeo es pot reproduir a baixes velocitats i fins i tot quadre per quadre, el que facilita la identificació de moviments anormals del bol, aspiració, moviment de les estructures anatòmiques i temps exacte de trànsit durant les fases oral i faríngia de la deglució. Permet avaluar més el buidament de l'esòfag tant en posició de peu com en decúbit, el que permet moltes vegades detectar alteracions motores(15).

2.2.2.1.4. Videomanometría: La videofluoroscòpia i la manometria són els mètodes més efectius per a l'estudi de la deglució. Inicialment es van correlacionar les troballes manomètrics i videofluoroscópicos en temps diferents(16). Posteriorment es va introduir l'avaluació simultània de tots dos mètodes en temps real, en pantalles separades, i en l'actualitat la tendència és a analitzar els resultats dels dos estudis sincronitzadament en la mateixa pantalla.

Un cop realitzades les exploracions i proves anteriorment explicades es pot classificar la disfàgia les causes que produeixen i el tractament específic pel diagnòstic obtingut, en el següent arbre(17) es pot apreciar els tipus de diagnosis de disfàgia.

2.3 Tractament

El grau i durada de la disfàgia determina la magnitud de la pèrdua nutricional. L'alimentació inadequada comporta a una malnutrició proteic-calòrica amb aprimament. Cada pacient ha de tenir una dieta específica segons el tipus de disfunció i de la capacitat de mastegar i de deglutir de cada pacient per poder alimentar-se correctament i no patir desnutrició i deshidratació.

2.3.1. Disfàgia orofaríngia:

La majoria de les causes de la disfàgia orofaríngia no són susceptibles de teràpia directa. En els pacients amb disfàgia avançada, els objectius més importants del tractament són la protecció de les vies aèries i el manteniment de la nutrició. Es pot obtenir una millora simptomàtica significativa amb diverses maniobres dissenyades per maximitzar l'eficàcia de la deglució i minimitzar el risc d'aspiració.

També pot aconseguir-se un cert alleugeriment prestant una atenció detallada a la naturalesa i consistència dels aliments ingerits, així com al mètode d'administració. Quan aquestes mesures no tenen efecte, l'aspiració segueix constituint un risc significatiu i arriba a comprometre la nutrició; per tant, cal considerar mitjans alternatius de suport nutricional. Els pacients amb malaltia neurològica avançada, per exemple, requereixen habitualment una gastrostomia endoscòpica percutània (GEP) amb la finalitat de permetre la nutrició enteral. En individus altament seleccionats en els quals la disfàgia sembli ser conseqüència principalment de la impossibilitat d'obrir l'esfínter esofàgic superior ha de plantejar la conveniència de miotomía quirúrgica.

El canvi de consistència dels aliments millora l'eficàcia i la seguretat de la deglució. Els aliments compactes són més fàcils de controlar a la boca i d'empassar. A la disfàgia orofaríngia els aliments s'han d'ingerir en consistència tova, picats, mòlts o en forma de puré homogeni. Els canvis de textura poden ser temporals o permanents en funció de la causa de la disfàgia i del seu grau de rehabilitació.(18)

Taula 2.3.1.1: Classificació segons el grau de consistència d'aliments sòlids

Consistència aliments sòlids	Descripció	Exemple
Puré	Puré homogeni, cohesiu i sense grumolls, no precisa masticació.	Puré de patata i verdures, llet amb farina de cereals...

Masticació molt fàcil	Aliments de textura tova que requereixin ser mínimament masticats i poden ser fàcilment xafats amb la forquilla.	Espaguetis molt cuits, peix trossejat, formatge...
Masticació fàcil	Aliments tous s'ha d'evitar aliments que suposin un alt risc d'ennuegament.	Verdura amb patata, hamburguesa, fruita madura, molla de pa...
Normal	Qualsevol tipus d'aliment i textura	Aliments amb alt risc d'ennuegament

Taula 2.3.1.2: Classificació segons el grau de consistència dels líquids

Consistència de líquids	Descripció	Viscositat (cP)
Líquid fi	No deixa capa en el recipient que el conté.	0-50
Nèctar	Deixa una fina capa en el recipient que el conté. Pot ser xuclat a través d'una palleta. Pot ser begut directament del got o tassa.	51-350
Mel	Deixa una capa gruixuda en el recipient que el conté. A l'abocar cau molt a poc a poc o degota. No pot ser xuclat a través d'una palleta. Pot ser begut d'un got o tassa.	350-1750
Púding	No cau a abocar-lo. Adopta la forma del recipient que el conté. No pot ser begut d'un got o tassa. S'ha de prendre amb cullera.	>1750

Els aliments que suposen un alt risc d'ennuegament com els fibrosos o amb herbes, aliments amb parts dures o punxants, pells, aliments amb diferents consistències, aliments cruixents, aliments enganxosos, aliments durs s'han d'eliminar de la dieta.(19)

En cas de no assolir l'objectiu calòric amb la ingesta d'aliments convencionals es recomana l'ús de suplements dietètics energètics en la consistència millor acceptada pel pacient.

2.3.2. Disfàgia esofàgica:

Segons la malaltia que la provoca tindrà un tractament o un altre, seguidament s'exposen els tractaments i les malalties usuals.

2.3.2.1.Trastorns motors esofàgics:

Acalàsia i Espasme esofàgic difús (EED): Per ara, les principals opcions terapèutiques consisteixen en la dilatació pneumàtica i la miotomía quirúrgica. La dilatació amb bugia proporciona un alleugeriment simptomàtic transitori, mentre que la dilatació pneumàtica vigorosa pot deparar alleujament a llarg termini. La miotomía de Heller pot practicar-se actualment per mitjans poc invasius.

2.3.2.2.ERGE i estenosi pèptica: S'ha de reduir la influència del factor més nociu per la mucosa esofàgica; l'àcid(20).

Hi ha varies opcions de tractament:

- Inhibidors de la bomba de protons (IBP), solen ser molt eficaços per alleujar els símptomes i curar l'esofagitis erosiva demostrant invariablement superiors al que ARH2.
- La cirurgia laparoscòpia anti-reflux, segueix sent una alternativa real per al tractament eficaç a llarg termini de l'ERGE (en contra del flux normal dels aliments).
- Dilatacions endoscòpiques amb pilotes pneumàtics o bugies solament són útils en pacients amb ERGE de llarga evolució que desenvolupin estenosi pèptica.

No obstant, en la majoria dels pacients és necessari un tractament de manteniment a llarg termini amb fàrmacs.

2.3.2.3. Lesions neoplàsiques: el tractament dels tumors esofàgics dependrà de l'estirp dels mateixos després de la confirmació anatomopatològica i del diagnòstic de extensió. En tumors operables s'utilitzarà cirurgia en combinació amb quimio i/o radioteràpia. Per als tumors inoperables hi pròtesis autoexpandibles intraesofágicas com a tractament pal·liatiu.

2.3.2.4.*Estenosi esofàgiques d'etiologia càustica:* Les dilatacions endoscòpiques amb bugies es realitzaran setmanalment al principi, espaiant posteriorment en funció de la resposta de cada cas. O seran tractades quirúrgicament.

2.3.2.5.Membranes i anells*:* per la dilatació de membranes i anells mucosos de esòfag distal (Schatzki) s'utilitzaran bugies o pilotes pneumàtics. Després de la dilatació, en cas d'aparèixer esofagitis per reflux gastroesofàgic, s'iniciarà tractament mèdic agressiu. La recurrència de la disfàgia és freqüent sent necessàries successives dilatacions en el futur(21).

2.4. Referencies bibliogràfiques : Disfàgia

1. Disfagia. Etiopatogenia, clasificación y clínica. González de Canales de Simón, M.P, del Olmo Martínez, L i Arranz Santos, T. Departamento digestivo del hospital clínico universitario de Valladolid. DOYMA, 2001.

2.Schetzberg, A.F.; Nemeroff, Ch.B. "Tratado de Psicofarmacologia". Ed. Masson. Barcelona 2006.

3. Alba Mora, Mercè. TFG : Influència de la viscositat en preparats alimentaris destinats a persones afectades per disfàgia. UPC Barcelona. 2014.

4. Velasco MªM; Arreola V; Clavé P; Puiggrós C.; Abordaje clínico de la disfagia orofaríngea: diagnóstico y tratamiento. Nutr Clíni Med 2007. Vol. I (3): 174-202.

5. Kidd D, Lawson J, Nesbitt R, et al. The natural history and clinical consequences of aspiration in acute stroke. Q J Med. 1995; 88 (6): 409-13.

6. Gonzálz C, Casado MªP, Gómez A, Pajares S, Dávila R, Barroso L, Panizo E;. Guía de nutrición para personas con disfagia. Gobierno de España. Ministerio de sanidad Servicios sociales e igualdad. Imserso 2012.

7. Soifer, Luis i Dima, Guillermo. Disfagia. Departamento de medicina, Instituto universitario CEMIC, Buenos Aires. http://www.sage.org.ar/nueva/docs/expertos/dres_soifer_y_dima.pdf

8. Vázquez Pedreño, Luis A, Ruiz Ruiz, Juan M i García Ruiz, Elena. Disfagia. Hospital Universitario "Virgen de la Victoria", Málaga.
http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/Manual%20de%20urgencias%20y%20Emergencias/disfagia.pdf

9.Wallace KL, Middleton S, Cook IJ. Development and validation of a self-report symptom inventory to assess the severity of oral-pharyngeal dysphagia. Gastroenterology 2000; 118: 678-87.

10.DePippo K, Holas M, Reding M, Mandel F. The Burke Dysphagia Screening Test for Dysphagia: validation of its use in patients with stroke. Stroke 1993; 24 (S52): 173

11.Clavé P, De Kraa M, Arreola A, Girvent M, Farré R, Palomera E. The effect of bolus viscosity on swallowing function in neurogenic dysphagia. Aliment Pharmacol Ther 2006; 24: 1385-94.

12.Clavé P, Arreola V. Método de Exploración Clínica Volumen-Viscosidad (MECV-V) para la detección de la disfagia orofaríngea. Novartis Medical Nutrition, editor. 2006. Ref Type: Serial (Book,Monograph).

13.Clavé P, Arreola V, Romea M, Medina L, Palomera E, Serra-Prat M. Accuracy of the volume-viscosity swallow test for clinical screening of oropharyngeal dysphagia and aspiration. Clin Nutr. 2008; 27:806-15.

14.Spieker MR. Evaluating dysphagia. Am Fam Physician 2000, ; 61:3639-48

15.Gates J, Hartnell GG, Gramigna GD. Videofluoroscopy and swallowing studies for neurologic disease: a primer. Radiographics. 2006; ; 26(1):e22

16.Cappabianca S, Reginelli A, Monaco L, Del Vecchio L, Di Martino N, Grassi R. Combined videofluoroscopy and manometry in the diagnosis of oropharyngeal dysphagia: examination technique and preliminary experience. Radiol Med. 2008; 113:923-40.

17.Harris, A.; Parkman, H; Cohen, S. "Valoración del paciente con disfagia". Tiempos Médicos. 1995. 517: 17-26.

18. Gil Hernández A. Tratado de Nutrición. 2a ed. 2010, Capítulo desnutrición y enfermedad. Burgos R, Virgili N, Sarto B. Edit. Médica Panamericana. Madrid 2010.

19. García, M. Tratamiento de la disfágia orofaríngia nurógena y dieta disfágica progresiva DTVVA. Obra cientifica , s.f.

20.Howden CW. Aspectos clínicos de la enfermedad por reflujo gastroesofágico y la úlcera péptica. En: Freston JW, Jacobson ED, Quigley EMM, eds. Digestive Diseases Self-Education Program. Edición en español. Trastornos relacionados con el ácido. Barcelona Medical Trends, S.L; 2000. P.21-33.

21.Ritcher JE. Pirosis, disfagia, odinofagia y otros síntomas esofágicos. En: Sleisenger MH, Fordtran JS, dirs. Enfermedades gastrointestinales: Fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. Volumen I. Buenos Aires: Editorial médica Panamericana; 1994. P. 339-48.

CAPÍTOL 3: Reologia: Fluids i sòlids

Hi ha una gran dificultat per adaptar una dieta a les deficiències fisiològiques que presenten els pacients afectats per disfàgia, d'aquesta manera es planteja la necessitat de valorar i determinar el comportament determinats espessidors que, poden ser emprats per modificar convenientment el grau de consistència dels aliments en funció dels graus de disfàgia i la necessitat el malalt.

La reologia és la ciència que estudia la deformació i el flux de la matèria, i la manera com els materials responen a l'aplicació de forces i tensions. (1)

Els fluids que són d'interès de la reologia presenten una gamma de comportaments que van des de el líquid viscós newtonià fins al sòlid elàstic de Hooke, aquests dos es consideren substàncies amb comportament ideal.

S'entén com a fluid tota porció de matèria capaç de deformar-se contínuament quant es sotmesa una força o deformació, a diferència dels sòlids, els quals no es deformen o només fins a un cert punt. Són fluids tots els líquids, els gasos i altres fluids de composició més complexa tals com emulsions i suspensions, les pastes i els polímers fosos. (2)

S'observa un comportament diferent de qualsevol producte en funció de les condicions en les quals es troba, s'ha de tenir en compte tots els paràmetres que poden influir en la realització de les determinacions, essencialment longituds, massa, temps i temperatura.(3)

Es molt important conèixer com varien les propietats del fluid amb les variacions de temperatura, ja que es poden produir canvis freqüentment en l'assumpte de cuinar els aliments, transportar-los o emmagatzemar-los.

3.1 Viscositat

La viscositat d'un fluid representa la resistència que presenta aquest a fluir. La viscositat és una propietat de tots els fluids, tant líquids com gasos, si bé en els últims el seu efecte és gairebé menyspreable. Físicament es pot definir com el coeficient de proporcionalitat entre l'esforç tangencial i el gradient de velocitats(4). Aquesta equació es reconeguda matemàticament com la llei de newton.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \qquad [1]$$

on:

τ: esforç de cisallament aplicat (Pa).

μ: viscositat dinàmica (Pa·s).

$\dot{\gamma}$: gradient de velocitats en la direcció perpendicular a l'esforç (velocitat de deformació) (s-1)(du/dy).

Alguns fluids sotmesos a condicions extremes, deixen de ser viscosos i llavors es diu que presenten superfluïdesa. Aquest fluids sense viscositat se'ls anomena ideals, i no posseeixen capacitat de transmetre el moviment d'una capa de fluid a una altra. Cal dir que de fluids ideals no n'existeixen però si que en alguns casos es pot aproximar a la realitat per tal de facilitar els càlculs.

La temperatura i la pressió són les magnituds que determinen si es pot aproximar un fluid a l'ideal, ja que la viscositat és funció d'aquestes dues. Tanmateix, és molt més sensible a la temperatura, essent gairebé negligible l'efecte de la pressió. (5)

3.1.1 Viscositat dinàmica

El símbol habitual de la viscositat dinàmica és la lletra grega μ, les unitats del sistema internacional (SI) és el Pascal-segon (Pa·s), per el sistema CGS la unitat utilitzada és el Poise (P). La relació entre aquests és:

$$1\ \mathrm{P} = 100\ \mathrm{cP} = 1\ \mathrm{g/(cm \cdot s)} = 0{,}1\ \mathrm{Pa \cdot s}$$

3.1.2 Viscositat cinemàtica

La viscositat cinemàtica es representa amb la lletra grega v. No posseeix cap significat físic però a vegades resulta útil per a simplificar expressions. Ve representat pel quocient de la viscositat i la densitat:

$$v = \mu/\rho \qquad [2]$$

On:

v: viscositat cinemàtica (cSt).

μ: viscositat dinàmica (cP).

ρ: densitat del fluid (g/ml).

Les unitats del sistema internacional és l'Stoke, però es pot trobar expressat en altres unitats.

$$1\ \mathrm{St} = 100\ \mathrm{cSt} = 1\ \mathrm{cm2/s}$$

3.1.3 Viscositat aparent

La viscositat aparent, "η", es defineix com el quocient entre l'esforç tallant i la velocitat de deformació. Aquest terme és el que s'utilitza en parlar de "viscositat" per a fluids no newtonians.

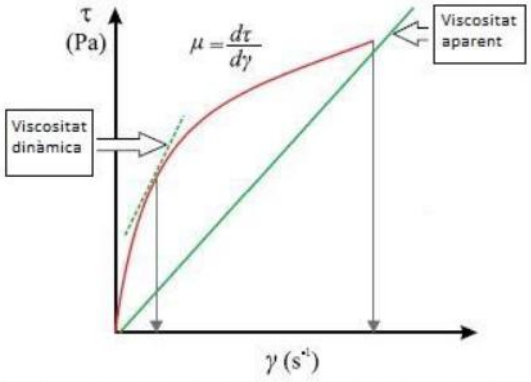


Figura 3.1.3.1 : Comportament de la viscositat aparent i la viscositat dinàmica

3.2 Fluids

Un fluid és una substància que es pot deformar amb facilitat a causa de la seva poca cohesió intermolecular, no té forma pròpia i adopta la forma del recipient que el conté. A diferència d'un sòlid, quan s'aplica un esforç tangencial, i per petit que aquest sigui, sempre apareixerà una deformació en forma de gradient de velocitats. El coeficient de proporcionalitat entre la causa i l'efecte és allò que coneixem per coeficient de viscositat. Les substàncies que es poden considerar fluids són els líquids i els gasos.

A més, en el si d'un fluid es compleix la condició d'adherència, és a dir, dues partícules de fluid en contacte tenen la mateixa velocitat. Pel mateix motiu, la velocitat d'una partícula de fluid en contacte amb qualsevol sòlid serà la mateixa que la pròpia del contorn.

Propietats dels fluids:

- Densitat absoluta: En general és funció de la pressió i de la temperatura a la qual es troba el fluid. S'expressa com la massa per unitat de volum (kg/m^3 en SI).
- Pes específic: s'expressa com el pes per unitat de volum (N/m^3 en SI).
- Gravetat específica: indica la densitat d'un fluid respecte la densitat de l'aigua a temperatura estàndard. Aquesta propietat és adimensional.
- Volum específic: inversa de la densitat. (m^3/kg en SI).
- Compressibilitat: Capacitat del fluid a disminuir el volum al aplicar una pressió o compressió. L'esforç unitari es proporcional a la deformació unitària.(N/m^2 en SI).
- Viscositat: Resistència al moviment relatiu de les capes adjacents en el fluid. (Pa·s en SI).
- Isotropia: les propietats re-manifesten en qualsevol direcció en forma idèntica.

A més, el concepte de viscositat permet realitzar una classificació dels fluids segons es comporten aquests en el seu moviment, a la següent gràfica es pot apreciar el comportament de cada tipus segons el esforç de cisalla, els fluids es poden classificar en newtonians, no newtonians o viscoelàstics, seguidament seran descrits en el següents subapartats.

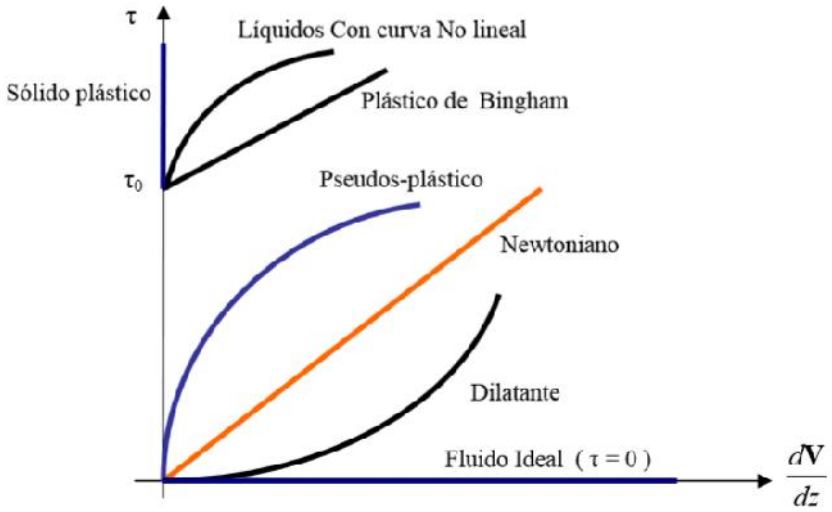


Figura 3.2.1: Comparació del comportament i la tipologia dels fluids

3.2.1 fluids newtonians

Per definició, un fluid newtonià és un fluid ideal, que no té propietats elàstiques, és incompressible, isotròpic i no té estructura.

Aquells fluids on l'esforç tallant és directament proporcional a la rapidesa de deformació s'anomenen fluids newtonians, la viscositat pot considerar constant en el temps i solament depèn de la temperatura.(6)

Molts dels fluids reals mostren un comportament newtonià en un rang molt ample d'esforços tallants.

Els fluids newtonians són un dels fluids més senzills de descriure. La corba que mostra la relació entre l'esforç o cisalla contra la seva velocitat de deformació és lineal. El millor exemple d'aquest tipus de fluids és l'aigua.

Un bon nombre de fluids comuns, de gran ús en l'enginyeria, es comporten com a fluids newtonians sota condicions normals de pressió i temperatura, com són per exemple l'aire, l'aigua, la gasolina, el vi i alguns olis minerals.

Aquests fluids segueixen la llei matemàtica lineal de Newton de la viscositat, descrita anteriorment equació 1.

L'estudi del comportament viscós dels fluids, és important i conèixer els conceptes de esforç i deformació per als fluids viscosos. Per a això es considera la figura 3.2.1.1, que mostra una situació de flux tallant simple. Es tracta d'un líquid entre dues plaques separades una distancia L . La placa superior es mou a una velocitat constant v causa de l'acció d'una força F.

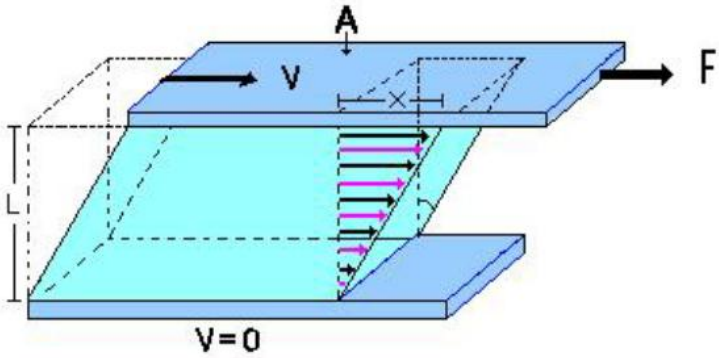


Figura 3.2.1.1 : Diagrama d'un fluid en flux tallant simple

Les capes del fluid que estiguin en contacte amb la placa superior es mouran a la mateixa velocitat que aquesta mentre que la capa inferior, en contacte amb l'altra placa, restarà immòbil. D'aquesta manera apareixerà un gradient de velocitats al llarg de la direcció perpendicular a l'esforç que, si el fluid és newtonià, serà lineal. (7)

Per tal que es compleixi, cal que el flux que es formi entre les plaques, en el si del fluid, sigui laminar, és a dir, que el nombre adimensional de Reynolds sigui inferior a 2.300.

3.2.2 fluids no newtonians

Els fluids No Newtonians es defineixen com aquells en què l'esforç tallant no és directament proporcional a la deformació.

Les partícules disperses del fluid poden interaccionar entre sí o amb el medi que les conté. En els fluids no newtonians la interacció depèn de la velocitat del flux i el coeficient de viscositat deixa d'ésser una constant. Aquests fluids es poden caracteritzar millor mitjançant altres propietats que tenen en relació al esforç i les tensions dels esforços sobre diferents condicions de flux. Per aquest motiu en els fluids no newtonians solem parlar de viscositat aparent η (quocient entre l'esforç tallant i la velocitat de deformació) en comptes de viscositat. (8)

Alguns exemples de fluids amb comportaments marcadament no newtonians són la crema dental, el greix i el rentaplats en gel. En aquests exemples hi ha un esforç per sota del qual es comporten com un sòlid.

Els fluids no newtonians no compleixen amb la llei de viscositat de newton. Els experts han proposat varis models per descriure el comportament de les propietats de flux de les substàncies(9). Un dels models més utilitzats i engloba de forma general tots els fluids és el model de Herschel-Bulkley, expressat per la següent equació:

$$\tau - \tau_0 = k(\dot{\gamma})^n \qquad [3]$$

On:

τ: esforç de cisallament.

K: coeficient de consistència.

$\dot{\gamma}$: gradient de velocitats en la direcció perpendicular a l'esforç.

N: índex de comportament al flux.

T_0: Llindar de fluència.

Segons les constants empíriques, K, τ_0 i n es classifiquen els fluids no newtonians.

És important classificar els fluids no newtonians en independents del temps o dependents del temps.

3.2.2.1. Comportament independent del temps: l'esforç tallant només depèn de la velocitat de deformació.

3.2.2.1.1. Fluids plàstics: Es distingeix per l'aplicació d'un esforç de tall llindar, per sota d'aquest el material no flueix de forma viscosa, sinó es comporta com a un sòlid. Un cop el fluid arriba aquest valor llindar, el fluid adopta característiques viscoses es a dir flueix com un líquid. Aquest valor llindar es conegut amb el nom de llindar de fluència(τ_0).

La raó per la que es comporten així aquests fluids és la gran interacció existent entre les partícules suspeses en el seu interior, formant una capa anomenada solvatació. Estan formats per dues fases, amb una fase dispersa formada per sòlids i bombolles distribuïts en una fase contínua. En aquests fluids, les forces de van der Waals i els pons d'hidrogen, produeixen una atracció mútua entre partícules. També apareixen forces de repulsió degut a potencials de la mateixa polaritat. En aquest tipus de fluids es formen col·loides les quals les seves forces repulsives tendeixen a formar estructures de tipus gel, si les partícules són molt petites posseeixen una gran superfície específica, rodejats d'una capa d'adsorció formada per molècules de fase continua fins que no s'aplica un esforç de tall determinat.(10)

El plàstic ideal s'anomena plàstic de Bingham, té un comportament newtonià, experimenta una relació lineal entre l'esforç tallant o de cisallament i el gradient de deformació un cop superat un determinat valor de l'esforç tallant, centrant-nos en l'equació 3 l'índex de comportament del flux corresponent a la "n", ha de esser 1, ja que l'esforç tangencial és una recta la qual té un valor inicial τ_0.

Aliments d'exemple que segueixen aquesta relació són: Ketchup, pasta dental, xocolata.

3.2.2.1.2. Pseudo-plàstic: Quan (n) l'índex de comportament del flux té un valor entre 0 i 1. La viscositat aparent es redueix a mesura que el gradient de l'esforç tallant augmenta, es a dir que la viscositat aparent depèn de la velocitat de deformació i l'esforç tallant. La viscositat decreix perquè les macromolècules i les partícules en suspensió s'alineen amb l'esforç.
Un clars exemples d'aquests són: xampú, salses, nata.

3.2.2.1.3.Dilatant: Parlem de un fluid dilatant quan es compleix n>1 com es pot observar en la figura anterior, la viscositat aparent augmenta amb el gradient de l'esforç tallant. En aquest tipus s'anomena dilatant perquè experimenta un augment de volum en la seva estructura quan s'aplica un gradient de velocitats elevat.

Inicialment el fluid amb un gradient de velocitat baix aquest presenta unes propietats lubricants degut a la seva estructura interna, formada per partícules sòlides de mides variades envoltades per una fracció líquida, la viscositat és baixa. Quan el gradient de velocitats augmenta, les partícules s'estiren i canvien la seva estructura de forma que el líquid que les lubrica no és suficient, i per tant augmenta la viscositat aparent i el volum del fluid.

Exemples de fluid dilatant són: les suspensions concentrades de midó i sorra humida.

3.2.2.2.Comportament dependent del temps: la viscositat aparent depèn també del temps durant el qual els fluids estan sotmesos a un esforç. Quan aquests fluids estan sotmesos a un esforç s'observen cicle d'histèresis, tendència d'un material a conservar una de les seves propietats(11).

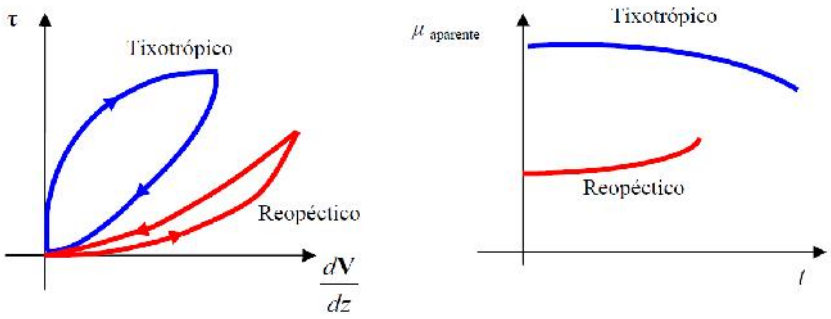


Figura 3.2.2.2.1 : Fluids dependents del temps

3.2.2.2.1.Tixotròpics: la viscositat aparent disminueix a mesura que augmenta el temps d'aplicació de l'esforç. A nivell estructural la troxitropia reflexa la ruptura de l'estructura quan el fluid es sotmès a un esforç, això facilita el flux. Encara que la viscositat disminueixi en el temps en aquest tipus de fluids, aquest efecte és reversible. Si després d'haver sigut sotmès a un esforç es deixa el fluid en repòs, aquest recupera l'estructura, el seu comportament anterior i per tant el valor de la seva viscositat inicial.(12)

El iogurt, la maionesa, la margarina són exemples d'aliment amb aquest comportament.

3.2.2.2.2. Reopèctics: Es manifesta un augment de la viscositat aparent amb l'augment del temps d'aplicació de de l'esforç de cisallament. En aquest cas un petit esforç afavoreix la formació d'una estructura, justament el contrari del què passa en els tixotròpics. Alguns exemples són; el guix i l'argila.

3.2.3 fluids viscoelàstics

Els fluids viscoelàstics es caracteritzen per presentar a la vegada propietats tant viscoses com elàstiques. Aquesta mescla de propietats pot ser deguda a la existència en el líquid de molècules molt llargues i flexibles o també a la presencia de partícules líquides o sòlides disperses.

Són els formats per la suma d'un component elàstic (seguint la llei de Hook o no) que absorbeix l'energia aplicada, transformant durant la deformació en energia potencial, de manera que quan aquesta cessa, la deformació torna al seu estat inicial, i un component viscós (Newtonià o no), que absorbeix l'energia aplicada transformant-la en calor i fluint. Les emulsions amb alt contingut de fase interna presenten una certa rigidesa i poden per tant exhibir un comportament, en alguna cosa, semblant a l'elasticitat dels sòlids. El terme viscoelasticitat engloba el comportament de molts fluids que poden exhibir elasticitat i flux quan són sotmesos a un cisallament(13). La major part de les pastes i emulsions concentrades, així com els gels, solen mostrar viscoelasticitat. Això es tradueix en el comportament següent: a baixes deformacions, el fluid viscoelàstic es comporta literalment com un sòlid elàstic. A altes deformacions, aquests flueixen de forma viscosa; és dir, com líquids.(14)

La causa del comportament viscoelàstic és la mateixa que produeix la visco-plasticitat i la tixotropia. Un material viscoelàstic posseeix una estructura interna que és capaç d'emmagatzemar energia a baixes deformacions, energia que allibera després en cessar la deformació per tornar al seu configuració original, de manera similar a un ressort. És clar, si la deformació és de magnitud suficient, l'estructura interna col·lapsa i es produeix el flux del material(15).

Per tant flueixen quan s'aplica en ells un esforç de tall, però tenen la particularitat de recuperar parcialment el seu estat inicial, com els cossos elàstics.

La deformació del material generalment depèn del temps.

Els polímers fosos i les solucions de polímers, gelatina, nata, gelats s'inclouen en aquest tipus de fluids.

En estudiar l'efecte de la velocitat de deformació en funció del temps, en un material viscoelàstic, en tenir aplicada una força durant un cert temps i després deixa d'actuar es presenta la situació següent figura 3.2.3.1.

En aplicar la càrrega, el material segueix una trajectòria AB que és molt curta i elàstica. En deixar d'actuar la càrrega, es produeix una recuperació elàstica com CD el material mai recupera la seva longitud inicial, quedant amb una deformació permanent.

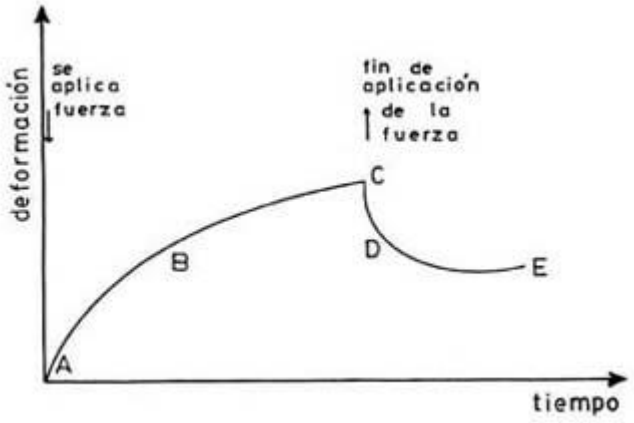


Figura 3.2.3.1 : Deformació en el temps d'un material viscoelàstic

Per obtenir una millor visualització de la classificació, la figura 3.2.3.2. presenta un esquema dels diferents tipus de fluids explicats anteriorment:

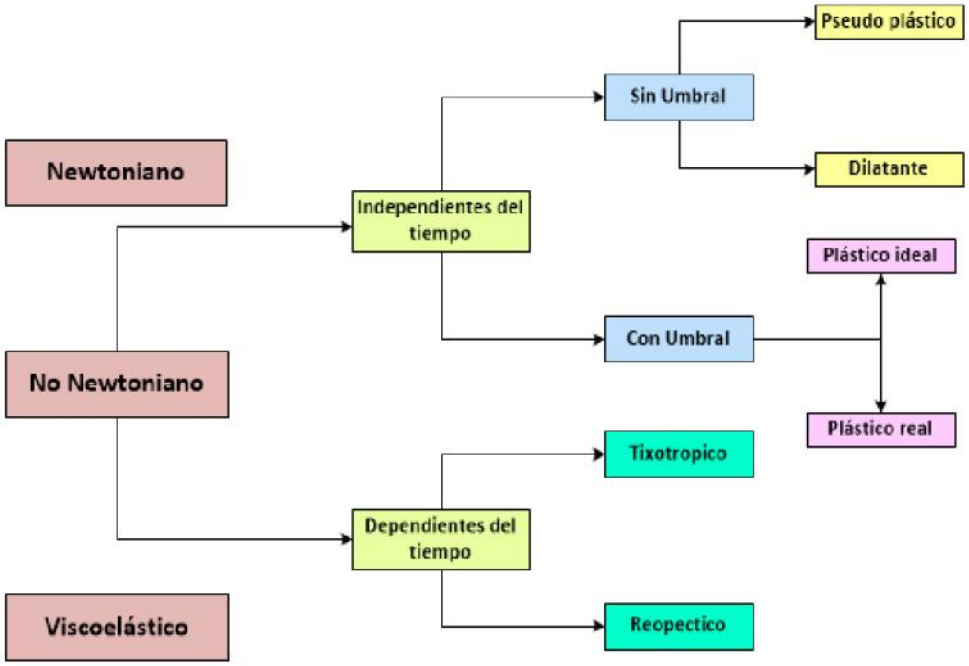


Figura 3.2.3.2. : Classificació dels fluids

3.3. Referencies bibliogràfiques: Reologia dels fluids

1. Scottblair, G. W., Elementary Rheology, (Academic Press London and New York, 1a Edición, Gran Bretaña, 1969).

2. web del profesor, ingenieria. Reologia:Conceptos basicos. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/mabel/materias/sistemdispersos/Reologia.pdf.

3. Alba Mora, Mercè. TFG : Influència de la viscositat en preparats alimentaris destinats a persones afectades per disfàfia. UPC Barcelona. 2014.

4. Symon, K. R. Mechanic . Massachusetts: Wesley Publishing Company, 1971.

5. Steffe, J. Rheological Methods in Food Process Engineering. Michigan: Freeman Press, 1996.

6. Rao, M. A. Rheology of liquid food. A review. 135-168. 1977.

7. Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos. Méndez Sánchez, A.F, Pérez Trejo, L i Paniagua Mercado, A.M. Escuela superior de física y matemáticas, México. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 1. 2010

8. Muller, H.G. Introducción a la reología de los aliemntos. 1a Ed. Saragossa: Acribia, s.f. 1977.

9. Sears, F. W., Zemansky, M. W., Física General. Addison Wesley, 5ª Edición, España. 1981.

10. Chhabra R.P. i Richardson J.F. Non-Newtonian Flow in the Process Industries -Fundamentals and Engineering Applications. Ed. Butterworth-Heinemann.1999

11. Scottblair, G. W. Elementary Rheology. AcademicPress London and New York, 1a Edición, Gran Bretaña.1969.

12. Carrasco Venegas, Luis, Castañeda Pérez, Luz i Altamirano Oncoy, Karina. Modelos de viscosidad de fluidos no newtonianos. Universidad Nacional del Callao. http://luiscarrascovenegas.com/documentos/1.Fenomenos_Transferencia/FLUIDOS_NO_NEWTONIANOS.pdf

13.Darby, R. Viscoelastic fluids Marcel Dekker, 1979. Inc. ISBN 0-8247-7128-1

14. Rojas, Orlando, Briceño, Maria Isabel i Avendaño, Jorge. Fundamentos de la reologia. Universidad de los andes, Venezuela. 2012.
h*ttp://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S520B.pdf*

15.Ferry, J.D. Viscoelastic properties of polymers John Wiley & Sons, 1980. ISBN 0-471-04894-1

CAPÍTOL 4: Agents de grau de consistència

La textura respon a un concepte, a vegades col·loquialment parlant, difícil i confós de descriure. Un dels errors típics, és confondre la textura amb el conjunt de propietats que es deriven de l'especial disposició que tenen entre si les partícules que integren els aliments, es a dir el grau de consistència.

D'altre banda es podria definir la textura d'un aliment com; el conjunt de propietats d'un aliment al qual es produeix una percepció visual de la superfície del producte, comportament d'aquest durant la seva manipulació prèvia a la ingestió i integració de les sensacions bucals experimentades durant la masticació i deglució, com l'aspror, suavitat, granulositat, totes aquestes sensacions i percepcions s'integren en el cervell per donar una sensació única.(1)

Els additius alimentaris s'utilitzen per realçar el sabor, color, estabilitat, la vida útil i les propietats nutricionals dels aliments. S'utilitza una nomenclatura per els additius, cadascun d'aquest s'identifica de la lletra E seguida per un nombre de tres xifres i ha d'estar exposada a l'etiqueta del producte.

Un grup de gran importància d'additius alimentaris, ja que aporten a l'aliment propietats tals com grau de consistència i estabilitat són els additius estabilitzants de les característiques físiques (espessidors, gelificants, emulsionants, etc.)(2)

El grau de consistència és un dels atributs primaris que, juntament amb l'aspecte, sabor i olor, conformen la qualitat sensorial dels aliments.

Els denominats agents de textura actuen estabilitzant les característiques físiques dels aliments als quals s'addicionen. Proporcionen consistència i estabilitat i permetent que l'aliment es presenti com acabat de preparar just en el moment del seu consum. Els agents de textura es diferencien entre: espessidors i gelificants; emulsionants; poliols i fosfats(3). Aquest projecte es centrarà en els agents espessidors i gelificants, ja que la propietat estudiada dels productes destinats a ser emprats en dietes per a persones amb disfàgies es la seva capacitat d'espessir i/o gelificar.

4.1 Espessidors i gelificants

Pertanyen a aquest grup els denominats hidrocol·loides o gomes, són productes que s'hidraten o s'inflen quan es dissolen en aigua freda o calenta, aquesta queda immobilitzada formant una xarxa molecular i augmentant la viscositat o inclusivament formant un gel. Les gomes són en general polisacàrids d'alt pes molecular, mentre que els hidrocoloides poden fer referència a polisacàrids i proteïnes.(4)

Els hidrocol·loides són cadenes més o menys llargues de diferents sucres i els seus derivats. Aquestes cadenes poden ser lineals o estar ramificades. Segons les característiques de les cadenes, la seva longitud, les seves ramificacions, la forma en què s'agrupen les ramificacions i si tenen càrregues elèctriques o no, poden ser solubles en fred (Alginat, Goma Guar, Goma Aràbiga, Goma Xantana i Konjac) o poden necessitar un tractament tèrmic previ per poder solubilitzar-se i exercir la seva funció (Agar, Carraguenines, Goma Garrofí i Pectines). (5)

Avui dia els hidrocol·loides estan destinats a complir diverses funcions com: agents espessidors i gelificants; modificadors de cristal·lització del gel, agents de suspensió i d'estabilització de les emulsions, d'escumes, etc. Aquestes últimes funcions solen reunir-se, freqüentment, sota la denominació genèrica de “estabilitzants”(6).

La majoria dels hidrocol·loides són d'origen vegetal, i són de fraccions de fibres purificades en major o menor grau mitjançant processos fisicoquímics. Algunes d'aquestes fibres són posteriorment modificades químicament per variar i millorar les seves aptituds tecnològiques. No obstant això, alguns hidrocol·loides s'obtenen per biotecnologia, cultivant en grans reactors algunes espècies de microorganismes que secreten mucílags o gomes(7). Tots ells són polímers d’elevat pes molecular (bé polisacàrids, bé proteïnes), d'extracció natural la majoria, encara que en ocasions es produeixen modificacions sobre l'estructura original amb l'objecte de desenvolupar o millorar determinades propietats funcionals, la majoria són de naturalesa polisacàrida.

Les aplicacions generals són; aportar viscositat a un producte líquid, gelificar i donar estructura a un producte i estabilitzar emulsions i escumes.

No cal oblidar que igual que passa amb la majoria dels polímers, les propietats funcionals de les gomes, com són la de espessidor i gelificant, depenen de diversos factors:

- Els intrínsecs propis de la molècula: com el pes molecular, els graus de ionització i de ramificació, etc.

- Els extrínsecs, que són els propis del sistema: tals com el pH, la força iònica, la temperatura, la concentració dels altres components.

La forma habitual d'utilització dels hidrocol·loides és en forma de pols seca que, en dissolució aquosa, forma la dissolució col·loïdal buscada. Presenten el problema que reaccionen al primer contacte amb l'aigua, la qual cosa dificulta considerablement la realització posterior d'una mescla homogènia, formant-se grumolls, pols, etc.(8)

4.2. Gelificació de polisacàrids

Es pot formar un gel en presència d'un monòmer que polimeritza, o mitjançant la presencia de biopolímers que evolucionen d'un estat sol a un estat de gel per un canvi químic o tèrmic.
Es poden formar estructures tridimensionals d'una manera ecològica a través de la formació de gels químics utilitzant biopolímers com alginat i Quitosan, on el gel, en el primer cas, es genera en presència de cations polivalents, i en el segon, en presencia de metalls de transició i alguns metalls dels grups III a VII(9).

D'altra banda, es troben els gels termo-reversibles que es poden formar després de canvis de temperatura sense necessitat de catalitzadors. En aquest cas, un biopolímer (generalment un polisacàrid), una vegada que està dissolt en aigua, canvia la seva estructura des del estat líquid (sol) a una substància sòlida (gel) al disminuir la temperatura per sota d'un valor crític en què es produeix un augment clar de viscositat, la qual es denomina "temperatura de gelificació ",El canvi de l'estructura s'explica mitjançant la formació de ponts de hidrogen entre les cadenes del polisacàrid i l'aigua(10). Hi ha dos tipus de gelificants tèrmics:

a) Els que gelifican en escalfar (metilcelulosas, proteïnes, etc.).
b) Els que gelifican en refredar (agaroides, carragenat, gelatina, gomes).

Un cas a part seria la gelificació del midó un cop afegit a la suspensió escalfada a 50-80ºC es provoca l'inflament del midó en absorbir l'aigua del medi.

Els polisacàrids són hidrats de carboni compostos per unitats de monosacàrids (monòmers) units mitjançant enllaços glicosídics. Poden estar formats per un sol tipus de sucre o per diversos diferents.(..) Els monòmers (monosacàrids) que es troben amb més freqüència en els polisacàrids són glucosa, galactosa, manosa i fins i tot, gulosa. La seqüència de monòmers pot ser totalment aperiòdica o periòdica, on els períodes contenen una o diverses agrupacions

diferents (cel·lulosa, amilosa), i poden ser més o menys llargs, o estar separats per intervals no diaris (alginats, carragenats, pectines).

El tipus de monòmers, la seva posició i el tipus d'enllaç determinaran la conformació de la cadena del polisacàrid, ja que l'impediment estèric(11) limita el nombre de conformacions diferents que poden presentar els polisacàrids.

Els polisacàrids no tenen caràcter reductor, i es consideren col·loides. Les molècules dels polisacàrids poden ser lineals perfectes, ramificades o ramificades lineals. El grau de ramificació afecta a les seves propietats físiques, com són la solubilitat en aigua, viscositat, i comportament de gelificació.

Quan els polisacàrids presenten el mateix pes molecular i concentració, la viscositat depèn del volum efectiu (volum d'una esfera el diàmetre és igual a la longitud màxima de la molècula estirada), amb la qual cosa una dissolució de molècula lineal, en presentar major volum efectiu, exhibeix major viscositat que les dissolucions de molècules ramificades. D'altra banda, els polisacàrids ramificats són més solubles que els lineals perfectes, ja que disminueixen les interaccions intermoleculars, facilitant així la solvatació i la rehidratació després de dessecar. A més es troben els ramificats lineals, que combinen les propietats dels anteriors (alta viscositat causa de la longitud de les cadenes, i gran solubilitat per presentar moltes ramificacions curtes).

Els gels són xarxes que contenen aigua i que presenten comportament de sòlid, les característiques de resistència al trencament, dependència amb la concentració, i rigidesa depenen de la estructura dels hidrocol·loides. En general, la formació d'un gel consisteix en les interaccions entre cadenes.

Hi ha diferents formes d'interacció de les seqüències reguladores de les cadenes existents entre si (com són la doble hèlix), cintes lineals estirades (com és la denominada "caixa d'ous" de l'alginat), inclús altres empaquetaments com les interaccions entre conformacions en cinta helicoïdals.

De la mateixa manera, hi ha altres polisacàrids que no gelifiquen (com les gomes), les seves aplicacions principals són com espessidors i estabilitzants. No obstant això, és ben conegut que la combinació d'aquests amb altres polisacàrids que sí gelifiquen, presenta un efecte de sinergia.

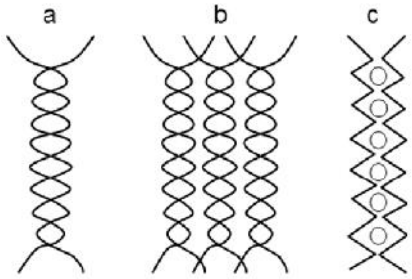


Figura 4.1.1: Interaccions Inter-catenàries entre seqüències de conformació regular a) doble hèlix, b) feix de doble hèlix, c) caixa d'ous

Es podrien dividir els polisacàrids en dos grans grups: gelificants i no gelificants. Tanmateix, els polisacàrids gelificants, es divideixen en gelificants tèrmics i químics.(12)

4.2.1. Els tèrmics

Són aquells que sota certs canvis de temperatura, un cop dissolts, passen de l'estat líquid (sol) a l'estat sòlid (gel). Aquests, es poden dividir en dos grups, segons gelifiquen a escalfar, com els derivats de les cel·luloses i midons, o en refredar, com els derivats l'agar-agar (agarosa, agar), carragenat, inulina, etc.

4.2.1.1. Gelifiquen al escalfar

a) Cel·luloses:

La cel·lulosa és el polímer més abundant i de ús més estès; està format per unitats β-(1,4) -D-glucopiranosa(13). És un material higroscòpic, insoluble en aigua a causa del seu alt pes molecular, però pot inflar-se en aquest mitjà, sent també insoluble en àcids diluïts així com en la majoria dels dissolvents orgànics. La cel·lulosa és la base d'una sèrie de derivats solubles en aigua i les propietats depenen del grup característic. Els més importants són metilcel·lulosa i els seus derivats, que són els gelificants tèrmics. El grau de substitució i el tipus de substituents afecten tant a la temperatura de gelificació com a la resistència del gel. La gelificació de la metilcel·lulosa i alguns dels seus derivats, està causada, principalment, per la interacció hidrofòbica entre les molècules que contenen una substitució metoxil. Quan estan en dissolució a baixes temperatures, les molècules estan hidratades i hi ha una baixa interacció polímer-polímer. Quan s'incrementa la temperatura, les molècules perden l'aigua d'hidratació i al arribar a un grau de deshidratació suficient, comença una associació polímer-polímer i el sistema evoluciona

cap a una xarxa infinita (gel), que origina un augment brusc de la viscositat. Aquests gels són totalment reversibles. La temperatura de gelificació de la metilcel·lulosa varia linealment amb la concentració de les dissolucions i pot modificar per l'ocupació de additius.

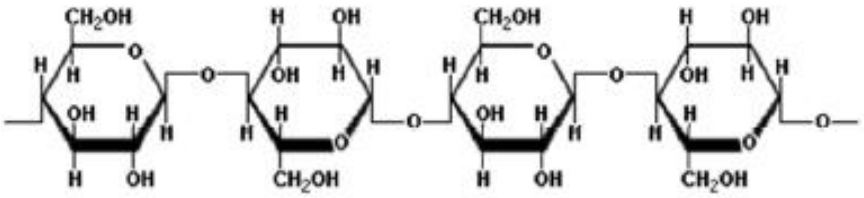


Figura 4.2.1.1.1 : Estructura de la cel·lulosa

b) Midó:

El midó és la major reserva de carbohidrats en tubercles de plantes i endosperma de llavors, i es troba formant gràmuls. Hi ha diferents tipus de midons que difereixen en la seva morfologia granular, pes molecular i composició i conseqüentment, en les seves propietats fisicoquímiques.

Les fonts de midó més usuals són el blat de moro, blat, patata, tapioca i arròs. Està format per molècules d'amilosa (20-30%) i amilopectina (70-80%). Tots dos són polímers formats per unitats α-D-glucopiranosa, però el primer és lineal i el segon és ramificat i no posseeix una estructura definida.

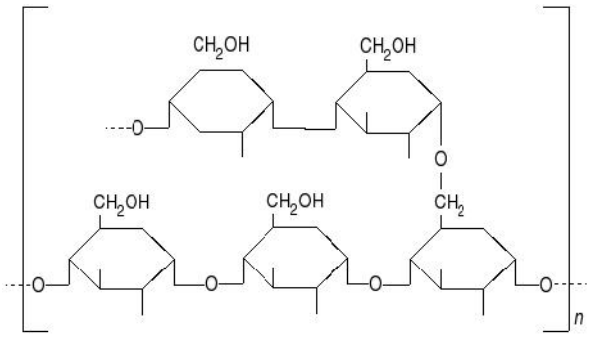


Figura 4.2.1.1.2 : Estructura del midó

La amilosa és la que confereix al midó el seu caràcter gelificant. Donat que les molècules posseeixen un elevat nombre de grups hidroxil, s'origina una gran afinitat per l'aigua

amb la formació de ponts d'hidrogen; a causa del caràcter lineal de l'amilosa, les molècules s'alineen i es formen enllaços per pont d'hidrogen entre les cadenes, produint agregats moleculars que tenen aigua atrapada, formant un gel.

Per contra, l'amilopectina presenta una estructura molt ramificada que li fa ser una de les majors molècules dels polímers naturals i no gelifica(14). Com que els grànuls de midó són insolubles en aigua a temperatures inferiors a 50ºC, aquest pot romandre en suspensió fins a 50 - 55ºC depenent del tipus de midó i del dissolvent. A partir d'aquesta temperatura, els grànuls absorbeixen aigua i s'inflen, augmentant en gran proporció el seu volum i col·lapsant amb la formació d'un cos rígid. També és possible provocar una gelificació a temperatura ambient mitjançant l'addició de dissolucions alcalines o algunes sals i s'ha comprovat que molts midons gelifiquen més ràpidament a valors alts o baixos de pH.

c) *Midó modificat*:

El midó modificat de blat de moro, és un midó de blat de moro no transgènic que ha estat alterat tecnològicament o modificat a posteriori per oferir millors solucions tecnològiques com a additiu, en aquest cas com a espessidor, entre d'altres, i molt usat pel seu baix cost i la seva capacitat d'augmentar el grau d'hidratació i estabilitat de certs preparats alimentaris.

Així, en el cas del midó modificat de blat de moro, mitjançant diverses reaccions controlades com reaccions fisicoquímiques o enzimàtiques, es trenquen els enllaços O-glicosídics del midó natiu per obtenir polisacàrids més curts o preparats més estables que puguin ser usats com a additius. Entre ells hi ha gran varietat de compostos com, E-1200 (polidextrosa), E-1404 (Midó oxidat) o E-145 (Fosfat de monoalmidón), entre d'altres, tots ells caracteritzats per la seva innocuïtat i la seva seguretat alimentària 100% demostrada.

d) *Maltodextrina:*

La maltodextrina és un polímer que té bona solubilitat i baix poder edulcorant. S'obté per hidròlisi parcial del midó, normalment de blat de moro, encara que també pot ser de patata o blat. La hidròlisi és una reacció química en la qual, per l'acció d'àcids o enzims, es trenquen els enllaços dels polisacàrids, donant lloc a cadenes més petites que en aquest cas són les maltodextrines.

4.2.1.2. Gelifiquen al refredar

Quan les molècules de les diferents cadenes s'uneixen entre si, bloquegen l'accés de l'aigua i el polisacàrid es fa insoluble. En aquest cas, es produeix una reagrupació cristal·lina i s'observa un procés de exclusió de l'aigua (sinèresis). Per tant, es forma una xarxa tridimensional amb molècules d'aigua atrapades, donant lloc a un gel. La formació del gel és reversible, i les seves propietats de gelificació depenen del tipus de polisacàrid, així com de diferents paràmetres, com són la concentració, el tipus d'alga utilitzada, i l'època de l'any de recol·lecció, entre d'altres.

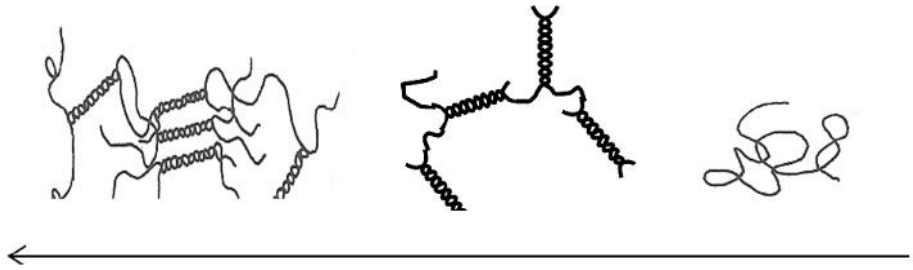


Figura 4.2.1.2.1 : Conformació del gel amb refredament

En aquesta figura es representa el mecanisme de gelificació amb el refredament, observant-se que a alta temperatura les cadenes del polisacàrid es troben disperses i, en refredar, les cadenes es van unint entre si mitjançant ponts de hidrogen formant dobles hèlixs que, al seu torn, es van entrellaçant en seguir disminuint la temperatura donant lloc a una estructura tridimensional(15).

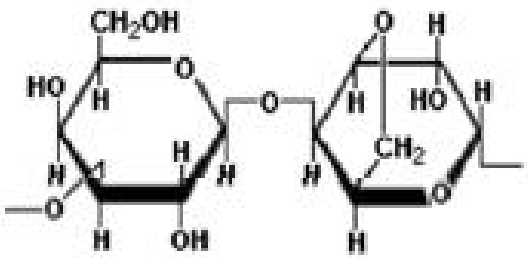


Figura 4.2.1.2.2 : Galactopiranosa; Estructura bàsica de l'agar i el carragenat

a) Agaroides (agar i agarosa) :

L'interès dels agaroides (agar i el seu derivat més purificat, agarosa) es deu al fet que els seus gels presenten una elevada resistència de gel a baixa concentració.

L'agar és un polisacàrid lineal procedent de les algues vermelles ("rodofícies"), format per residus alternats de β-D-galactopiranosa i 3,6-anhidre-α-L-galactopiranosa units per enllaços (1 → 3) i (1 → 4) respectivament, que conté menys del 4,5% de grups sulfat, sent les unitats repetides disacàrids.

A la Figura 4.2.1.2.2 s'exposa l'estructura de l'agar, on en el carboni 4 de la β-D-galactopiranosa s'alternen un grup OH(un 60% de les vegades) i un grup sulfat (el 40%). Es poden separar dues fraccions en l'agar: la agarosa, desproveïda de grups sulfat, i que té gairebé la totalitat del poder gelificant del agar, i la agaropectina, fracció que conté la major part dels grups sulfat de l'agar i que amb prou feines té poder gelificant.

En dissolució, com més gran sigui la concentració i el pes molecular de l'agar, major serà la resistència del gel reversible que es forma en refredar. Així mateix, la temperatura de gelificació de les dissolucions de agarosa (i per tant d'agar) augmenta amb el contingut de grups metoxil.

b) Carragenat:

El carragenat s'obté a partir de les algues vermelles (Rodofícies) mitjançant extracció alcalina. És un polisacàrid lineal sulfatat, en el qual s'alternen grups β-D-galactopiranosa i α-D-galactopiranosa(16). La seva utilització clàssica es troba a la indústria alimentària i està admès amb el nombre E-407. Existeixen diverses fraccions de carragenat, però les més importants des del punt de vista industrial són les fraccions κ (kappa), ι (iota) i λ (lambda).

Les dues primeres actuen com a agents gelificants mentre que l'última es comporta com un espessidor.

La quantitat de sulfats augmenta des del 24,9% per a una κ-carragenat pura (mínim contingut) a un 52,2% per la λ-carragenat (màxim contingut). El seu comportament depèn de l'efecte dels diferents cations que s'uneixen als grups sulfat. Les propietats gelificants augmenten des de la fracció λ, passant per la ι, fins a la κ (màxim poder gelificant), mentre que la viscositat disminueix en aquest ordre. La major eficiència del gel correspon al κ-carragenat en presència d'ions K+ a pH neutre. La viscositat de les dissolucions de carragenat és més gran que la corresponent d'agar o agarosa, sent menor la seva histèresi de gelificació; la temperatura de gelificació depèn fortament de la concentració del gel de carragenat.

Figura 4.2.1.2.3: Estructura de les carragenines més utilitzades a la indústria alimentària

Les dissolucions de k-carragenat formen gels reversibles tèrmicament en presència d'ions amoni, potassi, rubidi i cesi, mentre que, per al contrari, en presència de sodi i liti, no els formen. D'aquí es dedueix que la formació del gel depèn, en gran mesura, del radi dels ions contraris hidratats presents. La construcció del gel resideix en la formació parcial de dobles hèlixs entre diferents cadenes. D'aquesta manera, la fermesa del gel serà més gran com més regular sigui la seqüència, però els grups sulfat dels monòmers condueixen a l'establiment d'un colze a l'hèlix i, per tant, disminueixen la força del gel.

c) Gomes

Es descriu les "gomes" com molècules hidròfobes o hidròfiles amb alt pes molecular, procedents de plantes o microorganismes, que en un dissolvent apropiat produeixen dissolucions molt viscoses a baixes concentracions de pols, però no gelifiquen(16).

La goma de garrofí és un galactomanà, que procedeix de la mòlta dels grans de la llavor de garrofer (Ceratonia siliqua). s'utilitza en diferents indústries, com l'alimentària, en on s'empra com estabilitzant i regulador de la viscositat, admès amb el número E-410. És lleugerament soluble en aigua freda, pel que ha de escalfar fins a 85ºC per dissoldre, formant dissolucions pseudoplàsticas i insolubles en la majoria dels líquids orgànics. És un polisacàrid no iònic. La seva estructura és fonamentalment una cadena de D-manosa, amb ramificacions cada 4 o 5 grups manosa d'unitats de D-galactosa. La proporció manosa/galactosa (M/G) oscil·la entre

1 i 5. La dissolució de goma de garrofí no forma gels per si sola, però gelifica en afegir-additius com el bòrax, que provoca l'entrecreuament de les cadenes. Així mateix, presenta sinergia amb polisacàrids gelificants, com l'agar i el carragenat, als quals proporciona un carácter elàstic i major força de gel, a més de retardar la gelificació. La goma de garrofí també presenta sinergia amb a goma xantana, amb una considerable retenció de la humitat en on resulta determinant també la relació M / G (manosa / galactosa).(17)

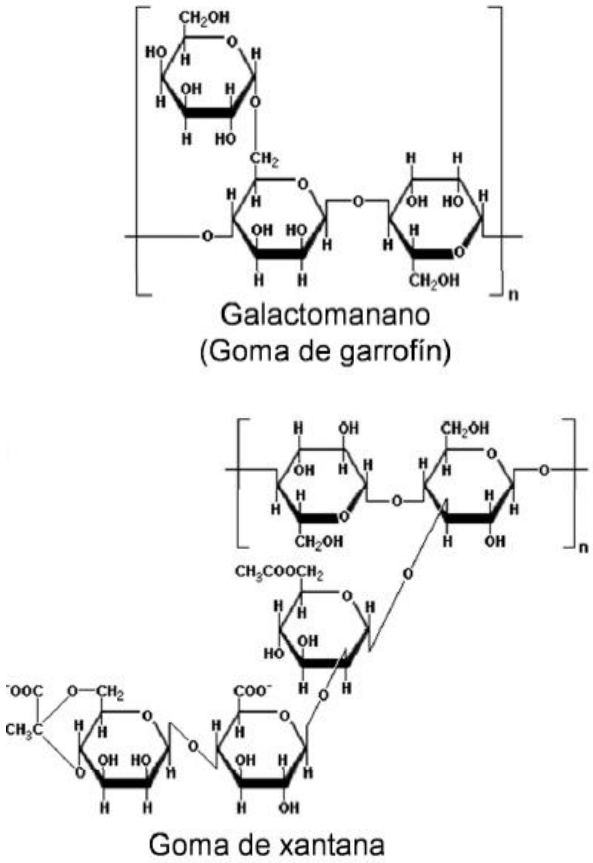


Figura 4.2.1.2.4: Estructura de les gomes garrofí i xantana

La goma de xantana és un polímer microbià preparat comercialment a partir de les Xanthomonas Campestres. És un polisacàrid molt utilitzat en la indústria alimentària per controlar la viscositat, com estabilitzant, emulsionant i agent escumant, a causa fonamentalment de la sinergia que presenta amb la goma de garrofí. La seva habilitat

per retenir l'aigua pot usar-se per controlar la sinèresis i en processos de congelat-descongelat. Està admès amb el número E-415. La goma xantana és un polielectròlit aniònic compost d'una espina dorsal de β-D-glucopiranosa. Per cada dos glucopiranoses, en posició 3 hi ha un trisacàrid compost per dos manopiranosas i un àcid gulurónic.(18) Pot formar una conformació intramolecular molt rígida de doble hèlix, que és relativament estable a els àcids, àlcalis i enzims. La conversió entre la conformació ordenada de doble hèlix i la cadena estesa més flexible té lloc durant el escalfament entre 40 i 80ºC a temps prolongats. Quan es dissol goma de xantana a temperatura ambient, es produeix heterogeneïtat, quan dissolucions s'escalfen a 40ºC durant un llarg període de temps, s'afavoreix la formació de gels rígids després del refredament. La força de gel de dissolucions barreja de gomes garrofí/xantana depèn de la proporció d'ambdós i el pH, sent major per a una relació de 60/40 i un valor de pH de 6, i el mòdul elàstic de viscositat és més gran en augmentar la proporció M/G de goma de garrofí.

Goma guar és un carbohidrat polimeritzat comestible està compost per galactosa i manosa, és útil com agent espassant amb aigua i com a reactiu d'adsorció i lligador d'hidrogen amb superfícies minerals i cel·lulòsiques. La goma guar es troba a les llavors de la planta lleguminosa 'Cyamopsis tretragonalobus i psolarides'. La seva estructura consisteix en una cadena lateral d'unitats α-D-galactopiranosid enllaçades amb una unitat α-D-Galactopiranosoid(19).

La goma guar es un polímer hidratable en aigua freda, té un ràpid espessiment i final. L'aigua es l'únic solvent comú per la goma guar. Les solucions de la goma guar comercial, són tèrboles, la terbolesa es causada principalment per la presencia de porcions insolubles de l'endospreme. Els derivats de la goma guar poden mostrar gans diferencies en solubilitat i claredad de la solució. La goma guar és l'espessant aquos més eficient que es coneix, aquestes solucions i els seus derivats es comporten com, no newtonians, clasificades com pseudoplàstiques. Es tornen fulids de forma reversible, quan s'aplica calor, pero es degrada irreversiblament quan s'aplica alta temperatura i temps prolongat. Els sistemes aquosos amb contingut de goma guar tenen altres viscositats en molt baixes concentracions. Normalment se sol utilitzar una concentració menor de 1%. Són productes d'alta viscositat, al 3% de concentració formen solucions espesses i semblen gels. La goma guar reacciona amb ions dissociats de borat i en solució alcalina i a un pH adecuat reacciona i forma un gel. Un nombre

considerable de reaccions diferents a les del bòrax s'usen rutinariament per convertir en gels les solucions de guar i de derivats de guar.

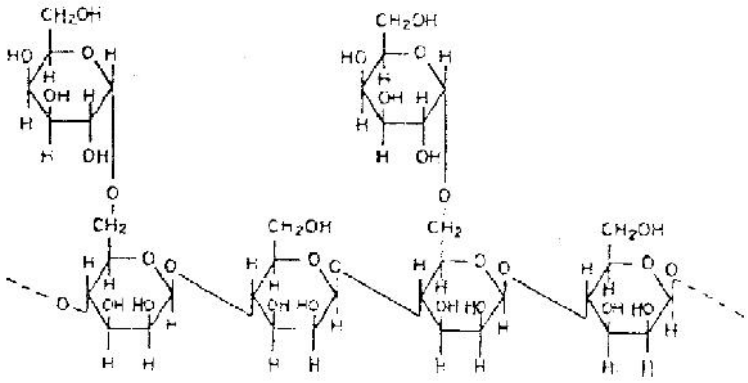


Figura 4.2.1.2.5: Estructura de la goma guar

Goma aràbiga és la més antiga de totes les gomes naturals, també és coneguda com goma d'acàcia o goma de Turquia, s'obté de diferents espècies d'arbres d'acàcia de la família de les lleguminoses. La goma aràbiga existeix a la naturalesa com una salt neutre o lleugerament àcida d'un polisacàrid complex contenint calci, magnesi i potassi. Està formada d'una cadena de β-Galactopianosa, unides amb cadenes laterals unides de galactopianosa acabades amb residus d'àcid glucurònic. La hidròlisi completa de la molècula produei 4 sucres constituents bàsics: D-Galactosa, L-Arabinosa, L-Ramnosa i D-Àcid Glucurònic(20). La forma de la molècula es d'una espiral curta però rígida. Forma gels d'alt contingut de sòlids, també es pot utilitzar en concentracions baixes amb altres gomes, com espessidors i lligadors. Extrema solubilitat en agua, a baixes concentracions comparat con altres gomes es poc viscosa, es poden aconseguir altes viscositats, però a concentracions de 40%-50%, encara que la viscositat depèn del tipus de goma i la varietat utilitzada. Aquesta habilitat de formar solucions altament concentrades és responsable de les excel·lents propietats estabilitzants i emulsionants d'aquesta. És un agent emulsionant molt efectiu degut a la seva funció de col·loide protector, forma emulsions estables en una gran varietat d'olis i en un ampli rang de pH. La goma aràbiga no s'utilitza generalment quan es requereix propietats d'altes viscositats

4.2.2. Gelificants químics

La gelificació es produeix a causa de la presència de certes substàncies que, per atracció electrostàtica, fa que s'uneixin les cadenes de polisacàrid donant lloc a una estructura tridimensional (gel). Els polisacàrids més coneguts per la seva efectivitat com gelificant químic són;

a) *Alginat*:

Presenta un ampli interval de polimerització (entre 100 i 3000 monòmers), que dóna lloc a pesos moleculars entre 20-60 10^4 Dalton. L'àcid algínic es forma a partir de l'àcid β-D-manurònic (M), l'àcid α-L-gulurònic (G), monòmers que s'uneixen per formar llargues molècules lineals amb enllaços glicosídics. Les propietats del alginat vénen donades per la proporció d'àcid D-manurònic i àcid L-gulurònic i la seva seqüència en la cadena(21). Els diferents enllaços fa que el polímer tingui una estructura de zig-zag. ràpida, forta i irreversible formació de les zones d'unió entre les cadenes d'alginat a formar-se el gel.

a) *Quitosan*:

El Quitosan és un polisacàrid compost per (n)-acetil-glucosamina que s'extreu de les petxines dels crustacis i de l'exosquelet de insectes. La seva proporció relativa fixa el grau de acetilació, el que controla propietats com ara solubilitat o propietats àcid-base.(22) És insoluble en solucions aquoses neutres o alcalines, en què només soluble en solucions àcides i les seves solucions presenten una viscositat elevada. La gelificació és molt ràpida i la velocitat depèn de la temperatura, les concentracions de Quitosan i de l'aldehid corresponent i del pH de la dissolució.

4.3. Referencies bibliogràfiques : Agents de grau de consistència

1.Andrew J. Rosental. "Textura de los alimentos. Medida y percepción" Ed. Acribia, S.A. Zaragoza 2001.

2. Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food Hydrocolloids,2001. 15(1), 75-81

3.Pérez-Villarreal, B.; del Pino, A.; Informe de vigilancia tecnológica. Agentes de textura. AZTI & AINIA 1999.

4. L&G S.A. hidrocoloides y gomas .Montevideo-Uruguay. http://www.lg.com.uy/hidrocoloides-gomas/54-hidrocoloides-gomas.html.

5. Alba Mora, Mercè. TFG : Influència de la viscositat en preparats alimentaris destinats a persones afectades per disfàfia. UPC Barcelona,2014.

6. Bárcenas, M.E, O-keller, J.D.I i Rosell, C.M. Influence of different hydrocollids on major wheat dough components. 2009. Journal of Food Engineering ; 94(3-4):241-247

7. Rosell, C.M, Rojas, J.A i Benedito de Barber, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos.2001 Food Hydrocolloids ; 15(1):75-81

8. Belitz, H.D i Grosch, W. Química de los alimentos. 2ª Edición, Ed. Acribia Zaragoza, 1997.

9.Rivers,R D. Method of injection modeling powder metal parts.US patent N 5641920. 1978.

10.Braudo EE, Muratalieva IR, Plashchina IG,Toltoguzov VB, Proc. 7 Int. Seaweed Symp. Ed.

K. Nisizawa, Halsted Press, N.Y., EEUU, 1972. 455.

11. Glicksman, M. Food Hydrocolloids. New York: Boca Raton: CRC Press. Vol. 2. p.199. 1983.

12. Nieto, Mª Isabel, Santacruz, Isabel i Moreno, Rodrigo. Consolidación de materiales cerámicos por gelificación de polisacáridos. Universidad de málaga. Málaga. Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2014, 34(1): 2-27

13. Stephen A M,Philips G O, Williams P A. Food polysaccharides and their applications. 2a Edition. Taylor &Francis NY, EEUU. 1995.

14.Cottrell I.W., *Kovacs P*. R.L. Davidson (Eds.), *Handbook* of *Water-Soluble Gums* and *Resins*. Ed. McGraw-Hill, New York 1980 Chapter 2.

15. Armisen R, "Ficocoloides. Polisacáridos de algas marinas", R. Armisen Arbos, ed., Madrid, España, 2000.

16. *Imeson A (Ed.), "Thickening and gelling agents for food", 2nd ed. Blackie Academic & Professional, London, U.K., 1997.*

17. *Whistler RL, BeMiller JN (Eds.), "Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives", 3th ed. Academic Press, Inc., California, EEUU, 1993.*

18. Dziezak, J. D. A focus on gums. Food Technology *Vol. 45, No. 3, p. 117-120, 122-124, 126, 128, 130-132.* 1991

19. Alimentos y tècnica S.A. de C.V. Goma guar y su uso en alimentos. Industria alimentaria Mexico. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GomaGuar_1839.pdf

20. Garcia, Oswaldo. Goma arabiga: una maravilla natural que nos beneficia a todos. Industria alimentaria. Mexico. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GomaArabiga_1838.pdf

21. Atkins EDT, Mackie W, Smolko EE, Nature 1970. 225 (5233): 626-628

22. Guibal E. Progress Polymer Science 2005. 30 (1):71-109

CAPÍTOL 5: La glucosa

S'ha escollit la glucosa com a sucre principal per realitzar experiments, ja que és el monosacàrid més abundant a la natura i és el més important per el nostre cos, ja que és necessari per la respiració cel·lular i per tant per un correcte funcionament de tots els músculs i òrgans del cos.

La glucosa (compost orgànic que pertany al grup dels sucres) és un hidrat de carboni, monosacàrid és una hexosa, és a dir, conté 6 àtoms de carboni, i és una aldosa, és a dir, el grup carbonil està en l'extrem de la molècula (és un grup aldehid). És un isòmer de la fructosa, amb diferent posició relativa dels grups -OH i C= O.

La aldohexosa glucosa posseeix dos enantiòmers, si bé la D-glucosa és predominant en la natura. En terminologia de la indústria alimentària sol denominar-se dextrosa (terme procedent de «glucosa dextrorotatoria») a aquest compost(1).

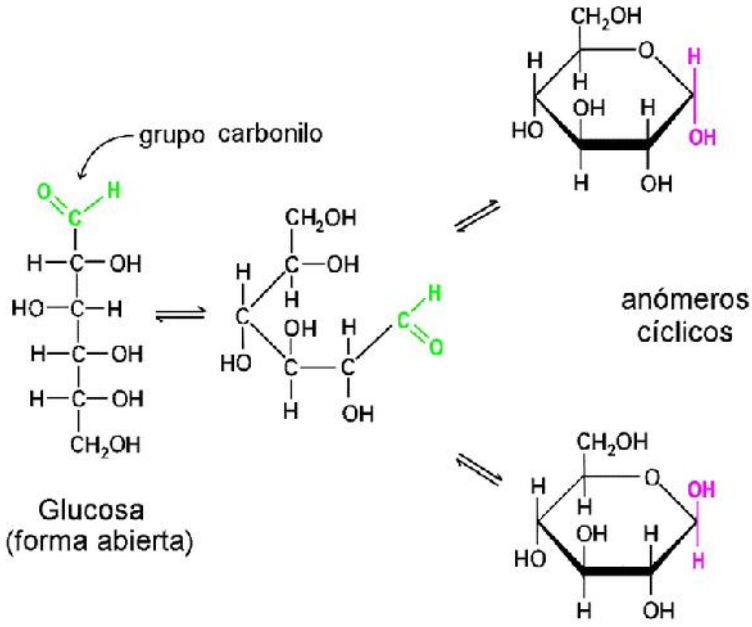


Figura 5.1 : Estructura lineal de la glucosa i estructura cíclica de α-glucosa i β-glucosa

La glucosa, lliure o combinada, és el compost orgànic més abundant de la naturalesa. És la font primària de síntesi d'energia de les cèl·lules, mitjançant la seva oxidació catabòlica, i és el component principal de polímers d'importància estructural com la cel·lulosa i de polímers d'emmagatzematge energètic com el midó i el glucogen.

A partir de la seva estructura lineal, la D-glucosa pateix una ciclació cap a la seva forma hemiacetàlica per donar les seves formes furànica i piranosa (D-glucofuranosa i D-glucopiranosa)

que al seu torn presenten anòmers alfa i beta. Aquests anòmers no presenten diferències de composició estructural, però si diferents característiques físiques i químiques. La glucosa també es pot trobar en forma lineal. L'extrem dret d'aquesta molècula mostra la forma d'un aldehid.

La glucosa és un dels tres monosacàrids dietètics, juntament amb fructosa i galactosa, que s'absorbeixen directament al torrent sanguini durant la digestió. Les cèl·lules la utilitzen com a font primària d'energia i és un intermediari metabòlic. La glucosa és un dels principals productes de la fotosíntesi i combustible per a la respiració cel·lular.

Totes les fruites naturals tenen certa quantitat de glucosa (sovint amb fructosa), que pot extreure i concentrar-se per preparar un sucre alternatiu. No obstant això, a escala industrial tant el xarop de glucosa (dissolució de glucosa) com la dextrosa (glucosa en pols) s'obtenen a partir de la hidròlisi enzimàtica de midó de cereals (generalment blat o blat de moro).

5.1. Biosíntesis

La glucosa és elaborada per les plantes amb l'ajuda de l'energia del sol, en un procés anomenat fotosíntesi. Aquesta síntesi es porta a terme a les petites fàbriques d'energia anomenades cloroplasts, en les fulles de les plantes. Els cloroplasts capturen l'energia de la llum i fabriquen molècules de glucosa a partir del diòxid de carboni de l'aire i l'aigua del sòl.

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Els éssers heteròtrofs, com els animals, són incapaços de realitzar aquest procés i prenen la glucosa d'altres éssers vius o la sintetitzen a partir d'altres compostos orgànics. Es pot obtenir glucosa a partir d'altres sucres, com fructosa o galactosa. Una altra possibilitat és la síntesi de glucosa a partir de molècules no glúciques, procés conegut com gluconeogènesi. Hi ha diverses molècules precursores, com el lactat, el oxalacetat i el glicerol.

També hi ha certs bacteris anaerobis que utilitzen la glucosa per generar diòxid de carboni i metà segons aquesta reacció(2):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3\,CO_2 + 3\,CH_4$$

La glucosa és el carbohidrat més abundant, se l'anomena sucre de raïm i en la sang es troba en concentracions d'un gram per litre. Al polimeritzar (unir-se a altres molècules idèntiques format cadenes o polímers) dóna lloc a polisacàrids amb funció energètica (midó i glucogen) o amb funció estructural, com la cel·lulosa de les plantes.

5.2. Obtenció d'energia

Els hidrats de carboni de la nostra dieta, només s'absorbeixen en forma de monosacàrids, i en el cas de la glucosa podem distingir entre(3):

5.2.1. Absorció passiva: En el procés de la digestió hi ha un moment en què s'hidrolitzen els oligosacàrids i això dóna lloc a una elevada concentració de glucosa, que en ser superior a la de la cèl·lula, passa a través de la membrana sense necessitat d'energia. No obstant això, a diferència de les pentoses, requereix un transportador específic de la mateixa, i es manté mentre hi hagi aquesta diferència de gradient.

5.2.2. Absorció activa: El transport de glucosa per la membrana requereix energia metabòlica, ions de sodi i una proteïna transportadora. Són aquests ions els que provoquen una diferència de gradient que allibera energia aprofitada per la glucosa per travessar la membrana. Després la glucosa és transportada als capil·lars sanguinis de forma passiva.

Posteriorment, la glucosa és metabolitzada en les cèl·lules intestinals. De tota la que entra, prop del 50% es transforma en lactat, abans de passar al torrent sanguini, mitjançant un procés anomenat glucòlisi i serveix per mantenir el gradient adequat per a l'absorció per transferència passiva. El procés es completarà en el fetge, quan mitjançant el procés anomenat gluconeogènesi, el lactat es torna a convertir en glucosa amb l'aportació d'energia en forma d'ATP (trifosfat d'adenosina).

En la glucòlisi es converteix la glucosa en àcid pirúvic, la producció de piruvat que és el punt de partida de tots els altres processos en la respiració cel·lular. En les cèl·lules on és present l'oxigen (respiració aeròbica), aquests processos han estat modelats en el cicle TCA o Krebs. Una part important en la utilització de l'energia d'oxidació de la glucosa, és la conversió d'ADP en ATP, amb la molècula ATP rica en energia, utilitzant posteriorment d'energia a la cèl·lula, aquest aporta energia a les estructures corporals per produir hormones i altres bioquímics i per mantenir el cos en funcionament.(4)

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O$$

Com es pot deduir, la glucòlisi i la gluconeogènesi són processos contraris i no es poden produir alhora ja que una inhibeix a l'altra a través d'una sèrie d'efectors cel·lulars.

La glucòlisi és la degradació de la glucosa; comprèn la degradació dels carbohidrats en els organismes vius des de glucosa o glucogen fins àcid làctic en absència d'oxigen per al cas del múscul, i en aerobiosi fins pirúvic en la majoria dels teixits.

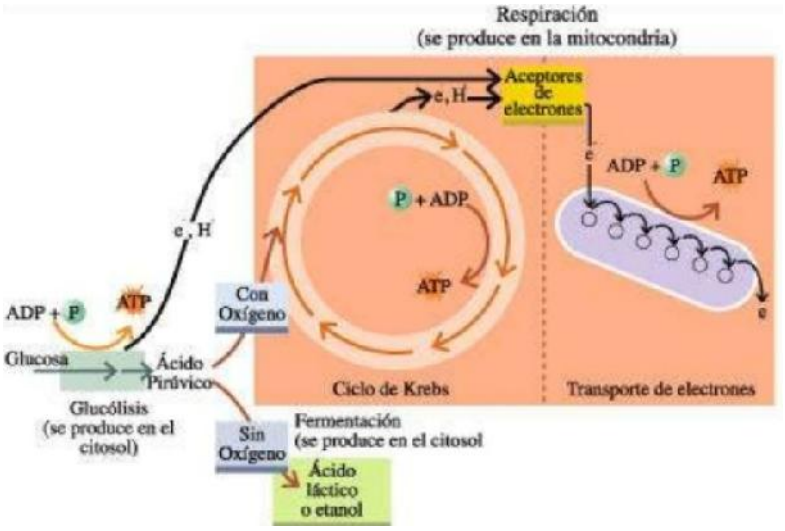


Figura 5.2 : Respiració cel·lular; obtenció d'energia a partir de la glucosa

5.3. Glucosa a la sang

El nivell de concentració normal de glucosa a la sang (0,1 per cent o un gram per litre) és regulat, principalment, per dos hormones: insulina i glucagó, secretades en els "illots de Langerhans", grups de cèl·lules pancreàtiques.

El pàncrees és una glàndula mixta: exocrina i endocrina. La part exocrina elabora el suc pancreàtic, que s'aboca a l'intestí prim; la part endocrina comprèn les cèl·lules alfa, secretores del glucagó, i les cèl·lules beta, que secreten insulina. Tant la insulina com el glucagó són proteïnes.

Quan es puja el nivell de glucosa a la sang (després d'un àpat abundant, per exemple) les cèl·lules beta són estimulades i descarreguen el seu contingut d'insulina directament a la sang. La principal acció de la insulina és accelerar el passatge de glucosa a l'interior de les cèl·lules, on és immediatament utilitzada en el procés de glucòlisi o glicòlisi per subministrar energia; l'excés és emmagatzemat com glucogen o greix. Per tant disminueix la concentració de glucosa a la sang.

Quan els nivells de glucosa sanguínia són massa baixos, les cèl·lules alfa són estimulades a secretar glucagó, que passa a la circulació general. El seu principal "blanc" en l'organisme és el fetge, on el glucagó estimula la glicogenòlisi, és a dir, la conversió de glucogen a glucosa. Això últim eleva significativament el nivell de sucre de la sang. (5)

La glucosa viatja per la sang i és absorbida per les cèl·lules que realitzen la respiració cel·lular, obtenint energia, la glucosa és considerada el monosacàrid més important, ja que és essencial per un correcte funcionament dels òrgans, els músculs i el cervell.

5.4. Referencies bibliogràfiques : Glucosa

1.Linstromberg, Walter W. Curso breve de química orgánica. Editorial reverté, S.A. España, 1979. p. 372-374

2. Olmo, M i Nave, R. Conceptos bàsicos de bioquímica. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/organic/sugar.html.

3. Biologia y salud: Glucosa . http://www.biopsicologia.net/Nivel-3-participacion-plastica-y-funcional/6.1.-Glucosa.html.

4.Peña,A; Arroyo, A; Gómez,A; Tapia,R. Bioquímica. Limusa noriega editores.España,2004. p.257-275

5. Glavic, N. y Ferrada, G. 1992. Biología Cuarto Año de Educación Media. Serie "Biología" de Ediciones Pedagógicas Chilenas, S.A.

CAPÍTOL 6: Metodologia experimental

En aquest apartat s'exposa la metodologia de la realització dels experiments, els productes utilitzats i el material emprat.

6.1 Productes utilitzats

Es van analitzar tres espessidors comercials i un gelificant. Entre els espessidors comercials es van analitzar dos farmacèutics, Resource® i Densiter®, i un no farmacèutic, SenseoPro® ViscoInstant facilitat per Easy market plaza S.L. (Bruniquer, 52. Granollers, Barcelona, Espanya).

En tots els casos la forma comercial es presenta en estat sòlid, en forma de pols de color blanc, dins de pots amb dosificador o bé en sobres.
El gelificant que es va analitzar era d'origen animal (porcí), Gelatina neutra Hacendado®, presentada en paquets de 12 làmines (20 g) de color groc transparent.

Taula 6.1.1 : Característiques de productes utilitzats

Producte	**Tipus**	**Origen**	**Composició**
Resource®	Espessidor	Vegetal	Midó modificat de blat de moro
Densiter®	Espessidor	Vegetal	Midó de blat de moro
SeneoPro®	Espessidor	Vegetal	Maltodextrina Goma Xantana Goma Guar.
Gelatina neutra	Gelificant	Animal	85%-90% proteïna de col·lagen 1%-2% salts minerals Resta aigua

6.2 Matrius

Es va determinar el comportament dels productes en una matriu, d'aigua destil·lada variant les concentracions de glucosa. D'aquesta manera es pot comprovar la influència dels sucres sobre el comportament de la viscositat.

L'aigua destil·lada és l'aigua de la que pràcticament s'han extret totes les impureses a través de la destil·lació, la destil·lació implica bullir l'aigua i condensar-ne el vapor dins d'un recipient net,

deixant enrere la majoria o la totalitat dels sòlids que la contaminen. La conductivitat elèctrica de l'aigua destil·lada és gairebé nul·la per la manca de ions de clorur, calci, magnesi i fluorurs.

D'altre banda s'ha utilitzat glucosa natural hidratada, D(+)-Glucosa 1-hidrat ($C_6H_{12}O_6\,H_2O$) , amb un pes molecular de 198.17 g/mol, per estudiar el comportament d'aquests productes en funció de la concentració i la temperatura.

6.3 Aparells utilitzats i el seu funcionament

Una part molt important en aquest treball és saber utilitzar els diferents viscosímetres, ja que a diferents concentracions, depenent de les viscositats dels productes s'ha d'utilitzar un viscosímetre o un altre. Els viscosímetres utilitzats van ser el viscosímetre capil·lar cannon Fenske per a viscositats petites, que es comporten com a líquid fi segons l'estudi dels fluids, i el viscosímetre rotacional Brookfield, el qual pot mesurar viscositats que abasten des de fluids amb comportament de líquid fi fins a púding.

6.3.1 Viscosímetre capil·lar Cannon Fenske

El viscosímetre Cannon Fenske s'utilitza per a fluids líquids de baixa viscositat. El funcionament d'aquest es molt senzill, el mètode que s'utilitza per mesurar la viscositat es basa en la velocitat de flux que té el fluid en travessar un capil·lar cilíndric. El fluid flueix de la part superior i cau pel seu propi pes. El viscosímetre mesura el temps que aquest tarda en passar pels dos aforaments.

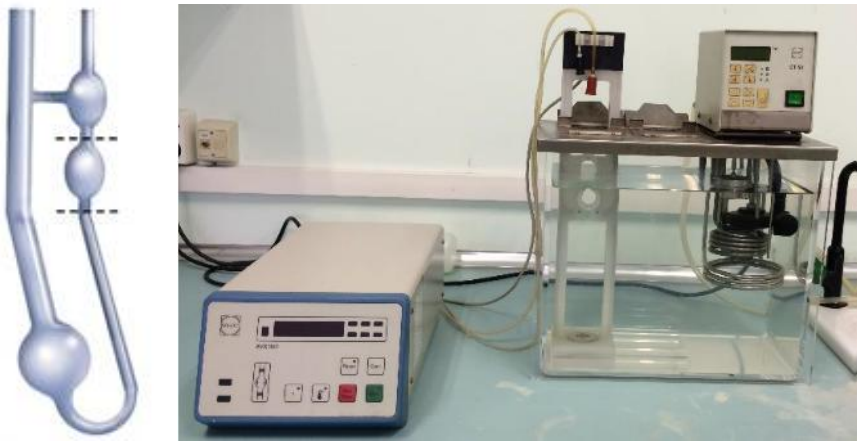


Figura 6.3.1.1 : Viscosímetre Cannon Fenske automàtic i bany tèrmic

6.3.1.1. Procés de mesura

Efectuar la mesura amb el viscosímetre net i sec, s'omple el viscosímetre fins aproximadament a la meitat de la bola inferior, volum estàndard. Submergir el viscosímetre al bany i col·locar-lo en el suport de fixació. Un cop el bany ha obtingut la temperatura desitjada ja es pot efectuar la mesura.

Per efectuar la mesura se succiona el líquid a través d'una goma flexible, connectada a la branca capil·lar, fins que el líquid arribi a la marca d'aforament, situada entre els dos bulbs. A continuació es deixa caure el líquid lliurament i es mesura el temps que necessita aquest en passar des del primer aforament fins al segon.

S'efectua una altre mesura sense netejar ni desmuntar del termòstat, realitzar 3 mesures i que entre aquestes no superi una diferència del ±5%.

6.3.1.2.Càlcul de la viscositat

S'expressa la viscositat en centiPoise (cP), es multiplica el temps obtingut en segons per la constant del instrument utilitzat i la densitat del fluid. Seguint la següent equació:

$$\mu = K \cdot t \cdot \rho \qquad [4]$$

On:

t: és el temps (s) necessari perquè el nivell del líquid descendeixi de la marca superior a la inferior (buidat el recipient superior).

ρ: és la densitat del líquid (g/ml).

K: és la constant de l'instrument (cSt/s).

6.3.1.3. Mesura de la densitat

La densitat del fluid es mesura mitjançant un exercici senzill de l'aplicació del principi d'Arquímedes. Un aeròmetre (densímetre) és un sòlid de forma cilíndrica de 25 cm d'altura, se submergeix parcialment en el fluid del qual es vol mesurar la densitat. L'aeròmetre flota en el líquid, sota l'acció de dues forces, el pes i l'empenta del fluid. La densitat ve marcada per la superfície del fluid sobre l'aeròmetre.

Figura 6.3.1.3.1 : Aeròmetre; mesurador de densitats

La constant de l'instrument ve donada per les mesures de calibratge d'aquest, es realitzen diverses proves amb fluids de viscositat i densitat conegudes, mesurant així el temps de flux i seguidament la constant de l'instrument. Aquesta constant ronda els 0,03306 cSt/s, depenent de cada instrument.

6.3.2 Viscosímetre rotacional Brookfield

El funcionament del viscosímetre Brookfield es basa en el principi de la viscosimetria rotacional; mesura la viscositat captant el parell de torsió necessari per fer girar a velocitat constant una claveguera immers en la mostra de fluid a estudiar.

El parell de torsió és proporcional a la resistència viscosa sobre l'eix submergit, i en conseqüència, a la viscositat del fluid.

Els viscosímetres Brookfield són de fàcil instal·lació i gran versatilitat i per al seu maneig no calen grans coneixements operatius.

Cada viscosímetre està compost pels següents elements:

A-Cos del viscosímetre, constituït per un motor elèctric i un dial de lectura.

B-Interruptor del motor

C-Panell de lectura

D-Maneta d'anclatge

E-'Spindle' intercanviables. Aquests 'spindles' es numeren de l'1 al 7, essent l'1 el més gruixut. Tenen, sobre el seu eix, un senyal que indica el nivell d'immersió en el líquid.

F-Suport

G-Agulla de lectura

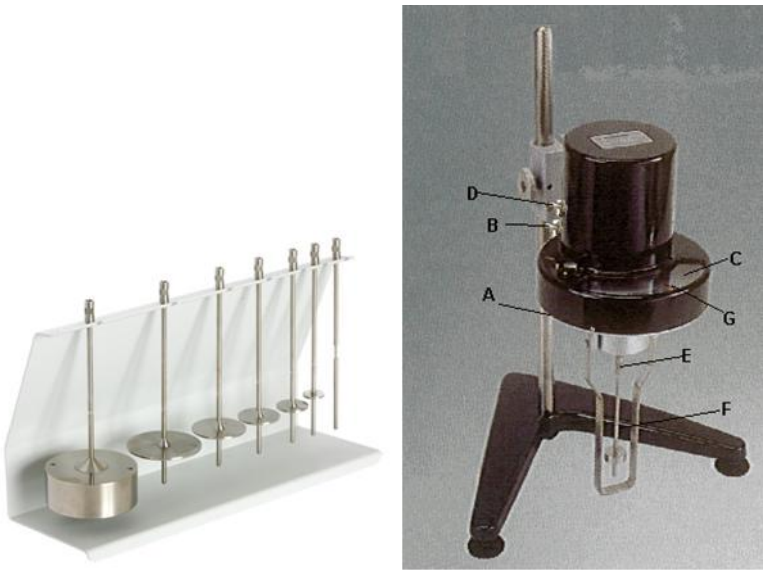


Figura 6.3.2.1 : Viscosímetre rotacional Brookfield manual

L'ajust i calibratge de l'aparell es realitza mitjançant les rodes de la part inferior observant que la bola de nivell esdevingui al centre.

Es necessari també, un bany termostàtic i un termòmetre per a controlar la temperatura del fluid. Els vasos de precipitats d'1 litre, ja que l'experiment s'ha de realitzar a un volum de 650 ml per una bona mesura de la viscositat.

6.3.2.1. Elecció de la velocitat i de la Spindle

Es triarà la relació viscositat / Spindle, en funció del valor de la viscositat a mesurar, de la precisió desitjada i del gradient de velocitat assajat.

Es realitza la mesura de la viscositat en una velocitat de 50 rpm, ja que es la velocitat que més s'aproxima en a la velocitat de deglutir d'una persona, si és possible.

Cal fer l'elecció de l'spindle de tal manera que la lectura al dial estigui compresa entre el 20 i el 95% de l'escala. Per a una millor precisió, s'aconsella utilitzar l'interval entre 46 i 95%.

Si supera el 95% es canvia l'spindle a un numero superior, en canvi si es inferior al 20%

6.3.2.2. Procés de mesura

Es munta el viscosímetre amb el dispositiu de protecció sobre el seu suport. S'omple un got amb el producte a assajar, tenint cura de no produir bombolles d'aire. Es col·loca al bany d'aigua a la temperatura de l'assaig. Esperar que s'equilibrin les temperatures.

Cal submergir 'spindle' en el líquid a mesurar fins a la marca que figura sobre l'eix. Baixar el viscosímetre sobre el seu suport i fixar 'l'spindle' a l'eix. Comprovar verticalitat i temperatura. Posar el motor en marxa. Ajustar a la velocitat desitjada. Desbloquejar l'agulla i deixar que giri fins que s'estabilitzi sobre el dial. Generalment s'espera 30 segons. Bloquejar l'agulla i anotar la lectura. Després, tornar a posar en marxa el motor i prendre una altra lectura.

Es continua prenent lectures fins a 3 valors es pren el valor mitjà de les lectures.

6.3.2.3. Càlcul de la viscositat

S'ha mesurat la viscositat en centiPoise (cP),ja que és la unitat de mesura utilitzada en els estudis de disfàgia, es multiplica la mitjana de les lectures per una constant que depèn de la velocitat del motor (rpm) i 'l'Spindle'.

$$\mu = K \cdot L \qquad [5]$$

On:

L: és la lectura mitjana obtinguda per l'aparell.

K: és el factor obtingut en funció de 'l'Spindle' i la velocitat (rpm) utilitzada.

RV Series Viscometer													
1		2		3		4		5		6		7	
.5	200	.5	800	.5	2K	.5	4K	.5	8K	.5	20K	.5	80K
1	100	1	400	1	1K	1	2K	1	4K	1	10K	1	40K
2	50	2	200	2	500	2	1K	2	2K	2	5K	2	20K
2.5	40	2.5	160	2.5	400	2.5	800	2.5	1.6K	2.5	4K	2.5	16K
4	25	4	100	4	250	4	500	4	1K	4	2.5K	4	10K
5	20	5	80	5	200	5	400	5	800	5	2K	5	8K
10	10	10	40	10	100	10	200	10	400	10	1K	10	4K
20	5	20	20	20	50	20	100	20	200	20	500	20	2K
50	2	50	8	50	20	50	40	50	80	50	200	50	800
100	1	100	4	100	10	100	20	100	40	100	100	100	400

☐ = Spindle ☐ = Spindle Speed ☐ = Factor K = 1000

Figura 6.3.2.3.1: Factors K per a cada 'Spindle' de freqüència de rotació-Spindle

6.4 Metodologia de la determinació de les viscositats

6.4.1 Mostres

Es van preparar mostres en un interval de concentracions entre 0.5-6%, (0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% i 6%) de cada producte, al mateix temps també es va modificar la concentració de glucosa, que per a cada concentració de producte. Així es va treballar en un interval de concentracions comprés entre 0-36% de glucosa, concretament (0%, 0.5%, 2.5%, 9%, 27%, 36%).

Cal esmentar que la concentració del 2%, en el cas dels espessidors, va esser descartada en un treball final de grau anterior (2), ja que s'obtingueren valors poc fiables, ja que era un fluid massa viscós per a ser mesurar amb el viscosímetre Cannon Fenske i molt poc viscós per a ser mesurar amb el viscosímetre rotacional Brookfield.

D'altra banda, la concentració màxima d'espessidor (6%) es va fixar tot considerant les indicacions dels espessidors farmacèutics. Segons els comercialitzadors aquesta és la màxima per a una consistència tipus púding.

Per a les concentracions de 0,5 i 1% el volum de mostra preparat va ser de 100 mL, ja que la determinació de la viscositat es va fer amb el viscosímetre Cannon Fenske, en canvi per les concentracions superiors es van preparar mostres de 650 mL, volum necessari per poder determinar la viscositat amb el viscosímetre Brookfield detallat en l'apartat anterior.

Cal remarcar que en el cas de la gelatina neutre i l'espessidor SenseoPro® a concentracions baixes (0.5% i 1%) presentaven una viscositat consideradament alta. Com a conseqüència es va haver de mesurar amb el viscosímetre Brookfield, per tant totes aquestes mostres es van preparar en un volum de 650 ml.

En els espessidors, el problema principal és la formació de grumolls, ja que tenen una alta capacitat d'absorció d'aigua. Els grumolls constitueixen un problema afegit en la preparació de l'aliment per als pacients amb disfàgia, ja que pot causar problemes en la deglució. El procediment és senzill, s'aboca lentament en el vòrtex de cada matriu per evitar la formació d'aquests, mentre s'agita a temperatura ambient.

En aquest treball, primerament es procedia a dissoldre la glucosa en aigua destil·lada, en la concentració adient a cada cas, en el volum corresponent.

En el cas de la gelatina neutra, inicialment s'hidrataven les làmines amb aigua a temperatura ambient, aproximadament uns 10 minuts. Posteriorment es dissolien en aigua temperada, aproximadament 40ºC, ja que el punt de fusió de la gelatina esta entre els 25ºC-35ºC. Una

vegada dissolta la gelatina, es deixaven reposar les diferents dissolucions dins un refrigerador a 7ºC durant 6 hores, abans de la primera mesura de viscositat.

L'objectiu principal d'aquest projecte es basa en determinar la viscositat a diferents temperatures el mateix dia de la preparació de les dissolucions. Aquest l'interval de temperatures esta comprès entre 25 i 50°C i les diferents sèries experimentals difereixen entre si en 5°C. A la figura 6.4.1.1 es mostra el diagrama de flux del procediment.

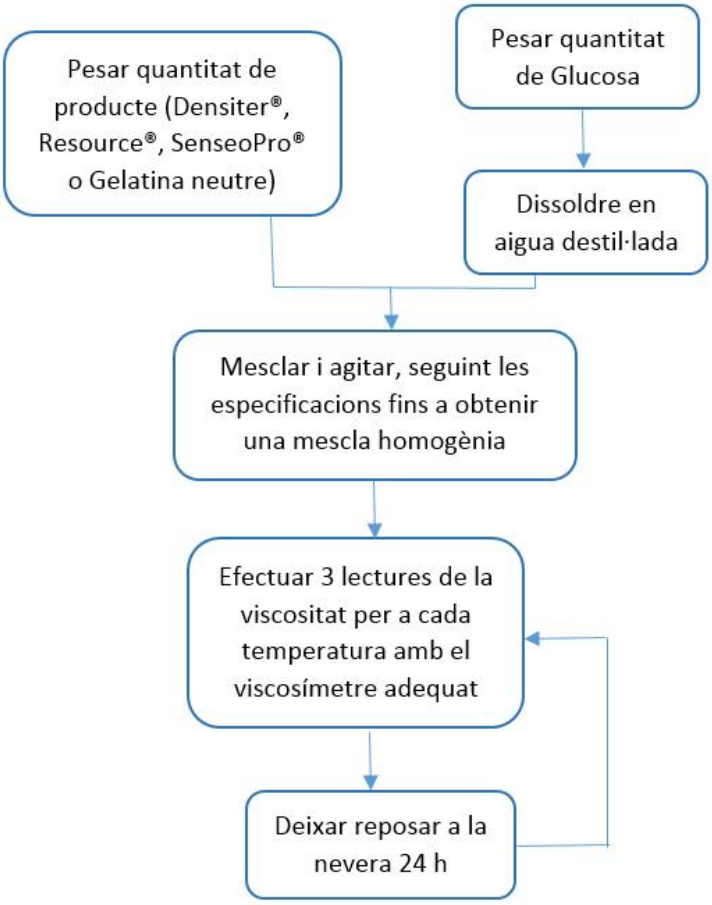


Figura 6.4.1.1 : Diagrama de flux del procediment

L'interval de temperatures d'aquest estudi va incloure des de la temperatura ambient, a la que es preparaven les mostres, fins a una temperatura superior a la temperatura corporal.

Només en el cas de la gelatina, l'interval de temperatures es va iniciar a 15ºC. Es va triar aquesta temperatura per poder observar el procés de transició que experimenta aquest compost des de l'estat sòlid(gel) a líquid. A continuació, les dissolucions es mantenien en refrigeració a 7°C i es repetien els assajos passades 24 hores, per una observació completa del comportament.

CAPÍTOL 7: Resultats i discussió

Per a determinar la viscositat dels productes analitzats es va tenir en compte la classificació de les consistències segons els criteris utilitzats en el MECV-V (mètode d'exploració clínica volum viscositat). Aquest mètode classifica els aliment líquids en quatre consistències amb uns intervals de viscositat determinats.

Taula 7.1 : Classificació de les consistències i les seves viscositats

Consistència	Viscositat (cP)
Líquid fi	0 - 50
Nèctar	51 - 350
Mel	351 - 1750
Púding	>1750

7.1 Efecte de la concentració

Un paràmetre important de tractar, és l'efecte de la concentració, s'observà com varia la viscositat a mesura que augmentava la concentració a totes les temperatures, utilitzant aigua destil·lada com a dissolvent .

7.1.1. Espessidor Densiter®

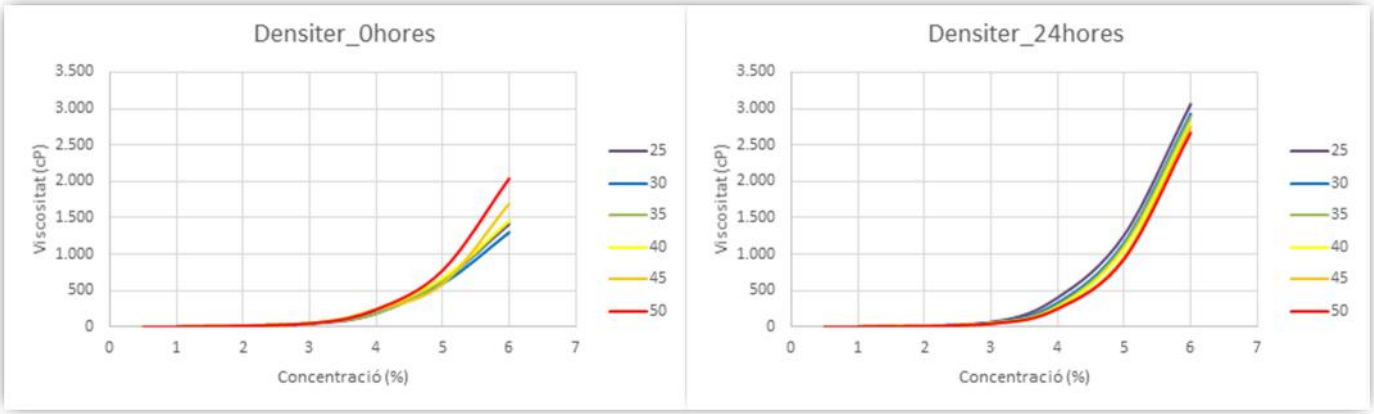


Figura 7.1.1.1: Comportament de la viscositat en funció de la concentració a diferents temperatures, per Densiter®

S'observà una relació viscositat-concentració de manera exponencial molt senyalada. A baixes concentracions, la variació de la viscositat al augmentar la temperatura resulta gairebé

imperceptible. Ara bé, un cop superada la concentració del 4% s'observà un increment exponencial de la viscositat en funció de la temperatura.

D'altra banda, a partir de concentracions superiors al 3%, es va observar que, com més alta era la temperatura, major era el valor experimental de la viscositat. Aquest fenomen s'havia observat anteriorment (2) i és un comportament que, si més no, no era l'esperat. D'entrada calia esperar que a major temperatura, fixada la concentració, disminuís el valor experimental de la viscositat.

En tots els casos es va observar com els diferents graus de consistència acceptats en el mètode MECV-V depenien de la concentració d'espessidor utilitzat. Així en la figura 7.1.1.1 es pot apreciar una variació entre valors de pràcticament 0 (líquid fi) fins a valors que superen els 1750 cP (consistència púding).

Quan es repetien les experiències al cap de 24 hores (havent deixat reposar les mostres en un refrigerador a 7ºC) el comportament observat s'ajustà al que inicialment estava previst, en augmentar la temperatura, fixada la concentració, el valor de la viscositat disminuïa. A més a més, els valors de la viscositat, especialment a partir d'una concentració del 4% de Densiter®, eren superiors als enregistrats 24 hores abans, de tal manera que s'arribà a valors entre 2500 i 3000 cP per a una concentració del 6%.

Tenint en compte la gran variació entre els valors de la viscositat en concentracions baixes d'espessidor respecte a les concentracions elevades es va procedir a fer la representació del logaritme neperià de la viscositat en front de la concentració.

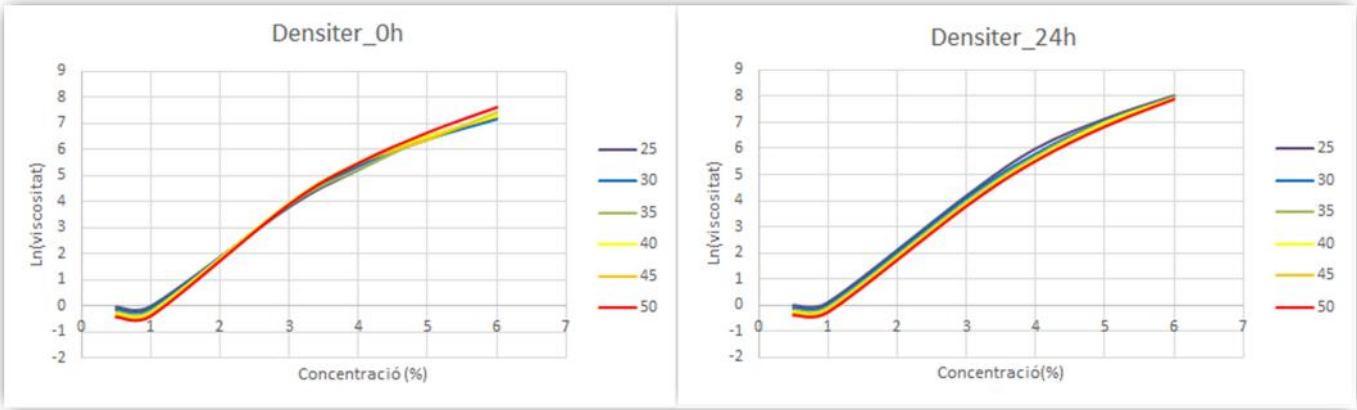


Figura 7.1.1.2: logaritme neperià de la viscositat corresponent al Densiter® a diferents concentracions i temperatures

Quan es respresentà el logaritme neperià de la viscositat es va apreciar un coportament líneal. En la següent taula es mostren els diferents valors corresponents a les regressions a les 0 hores i a les 24 hores.

Taula 7.1.1.1. Equacions de les regressions de les mostres recentment preparades, 0 hores.

Temperatura	0 hores		Ln(viscositat)	
25	$y = 0,8589e^{1,4947x}$	$R^2 = 0,9854$	1,4375x-0,8883	R^2=0,9828
30	$y = 0,7417e^{1,5541x}$	$R^2 = 0,9874$	1,445x-0,9381	R^2=0,9769
35	$y = 0,6319e^{1,6048x}$	$R^2 = 0,9867$	1,4772x-1,0559	R^2=0,9798
40	$y = 0,5476e^{1,6464x}$	$R^2 = 0,9852$	1,504x-1,1059	R^2=0,9735
45	$y = 0,4831e^{1,6803x}$	$R^2 = 0,9863$	1,5269-1,2082	R^2=0,9767
50	$y = 0,4528e^{1,7011x}$	$R^2 = 0,9866$	1,5816x-1,3321	R^2=0,9805

Taula 7.1.1.2 Equacions de les regressions de les mostres a les 24 hores

Temperatura	24 hores		Ln(viscositat)	
25	$y = 0,4025e^{1,5847x}$	$R^2 = 0,9815$	y = 1,5847x - 0,91	$R^2 = 0,9815$
30	$y = 0,3607e^{1,5873x}$	$R^2 = 0,9841$	y = 1,5873x - 1,0197	$R^2 = 0,9841$
35	$y = 0,3225e^{1,5999x}$	$R^2 = 0,9858$	y = 1,5999x - 1,1316	$R^2 = 0,9858$
40	$y = 0,2964e^{1,6056x}$	$R^2 = 0,9866$	y = 1,6056x - 1,2162	$R^2 = 0,9866$
45	$y = 0,2759e^{1,6075x}$	$R^2 = 0,9879$	y = 1,6075x - 1,2876	$R^2 = 0,9879$
50	$y = 0,2575e^{1,6153x}$	$R^2 = 0,9876$	y = 1,6153x - 1,3569	$R^2 = 0,9876$

7.1.2. Espessidor Resource®

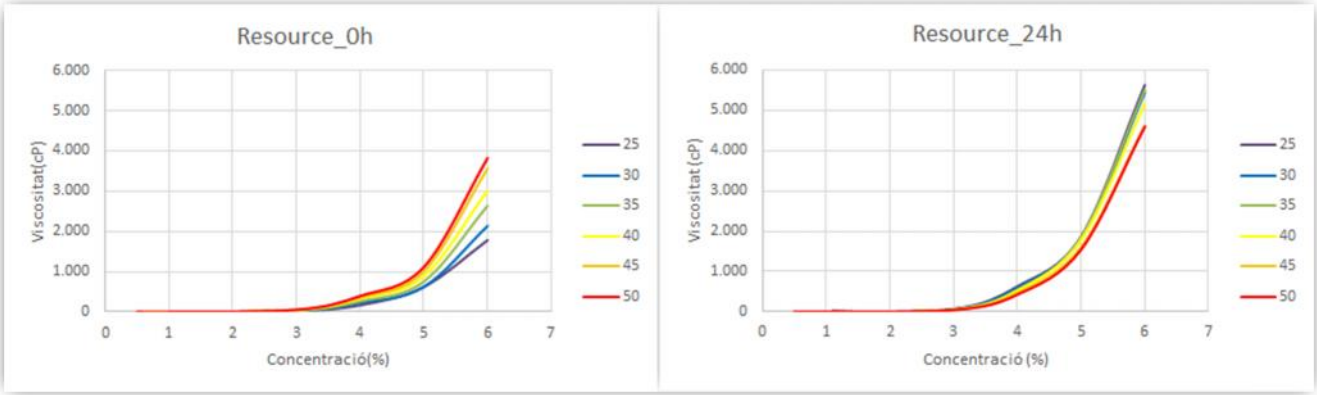


Figura 7.1.2.1. Comportament de la viscositat en funció de la concentració a diferents temperatures, per Resource®

En el cas del Resource® s'observà el mateix comportament que en el Densiter®, aquest al mesurar la viscositat amb la mostra recentment preparada, es produïa un augment en la variació de viscositat entre les temperatures a concentracions superiors al 4%, això pot esser degut a que el Resource® està compost per midó modificat de blat de moro, però en l'essència estan confeccionats del mateix component espessidor. Els valors de viscositat varen ser més alts, en comparació al Densiter® .

Degut a la gran variació entre els valors de la viscositat en els diferents valors de concentracions, es va decidir estudiar el logaritme neperià de la viscositat i obtenir les regressions lineals d'aquests.

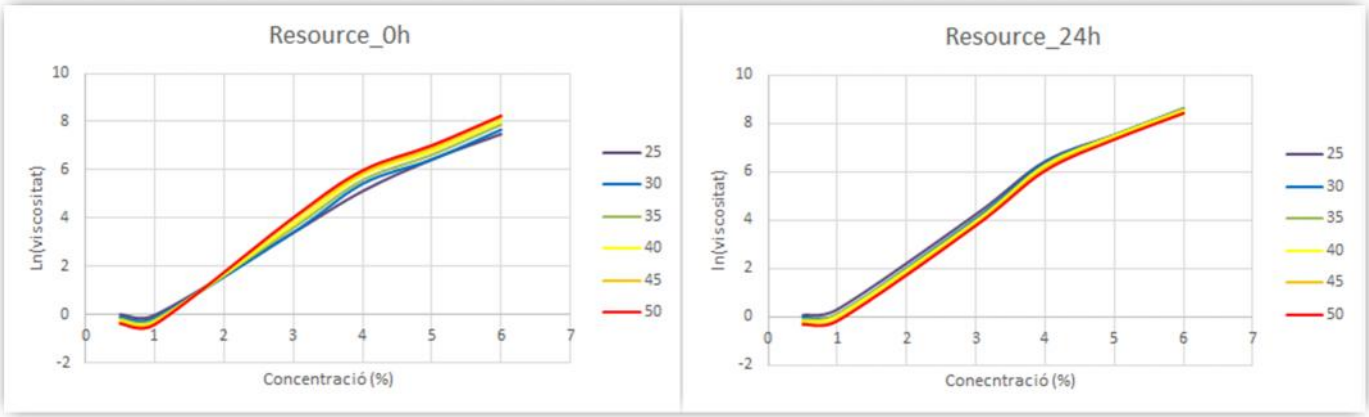


Figura 7.1.2.2: logaritme neperià de la viscositat corresponent al Densiter® a diferents concentracions i temperatures

Taula 7.1.2.1. Equacions de les regressions de les mostres recentment preparades, 0 hores.

temperatura	0 hores		Ln(viscositat)	
25	$y = 0,367e^{1,4591x}$	$R^2 = 0,9906$	y = 1,4591x - 1,0025	$R^2 = 0,9906$
30	$y = 0,3251e^{1,511x}$	$R^2 = 0,9877$	y = 1,511x - 1,1237	$R^2 = 0,9877$
35	$y = 0,2961e^{1,5695x}$	$R^2 = 0,9872$	y = 1,5695x - 1,217	$R^2 = 0,9872$
40	$y = 0,275e^{1,6176x}$	$R^2 = 0,9843$	y = 1,6176x - 1,291	$R^2 = 0,9843$
45	$y = 0,2571e^{1,6614x}$	$R^2 = 0,9836$	y = 1,6614x - 1,3582	$R^2 = 0,9836$
50	$y = 0,2428e^{1,6914x}$	$R^2 = 0,9817$	y = 1,6914x - 1,4156	$R^2 = 0,9817$

Taula 7.1.2.2. Equacions de les regressions de les mostres a les 24 hores

temperatura	24 hores		Ln(viscositat)	
25	$y = 0{,}4118e^{1{,}6687x}$	$R^2 = 0{,}9862$	$y = 1{,}6687x - 0{,}8872$	$R^2 = 0{,}9862$
30	$y = 0{,}346e^{1{,}6927x}$	$R^2 = 0{,}9851$	$y = 1{,}6927x - 1{,}0612$	$R^2 = 0{,}9851$
35	$y = 0{,}3204e^{1{,}7045x}$	$R^2 = 0{,}9875$	$y = 1{,}7045x - 1{,}1382$	$R^2 = 0{,}9875$
40	$y = 0{,}301e^{1{,}7075x}$	$R^2 = 0{,}987$	$y = 1{,}7075x - 1{,}2005$	$R^2 = 0{,}987$
45	$y = 0{,}2688e^{1{,}7073x}$	$R^2 = 0{,}9861$	$y = 1{,}7073x - 1{,}3138$	$R^2 = 0{,}9861$
50	$y = 0{,}2501e^{1{,}7137x}$	$R^2 = 0{,}9876$	$y = 1{,}7137x - 1{,}386$	$R^2 = 0{,}9876$

7.1.3.Espessidor SenseoPro®

El producte SenseoPro® tingué un comportament lineal, la viscositat incrementà a mesura que augmentà la concentració. Com en els altres espessidors, a partir del 4% es començà a diferenciar de forma molt significativa la viscositat a diferents temperatures.

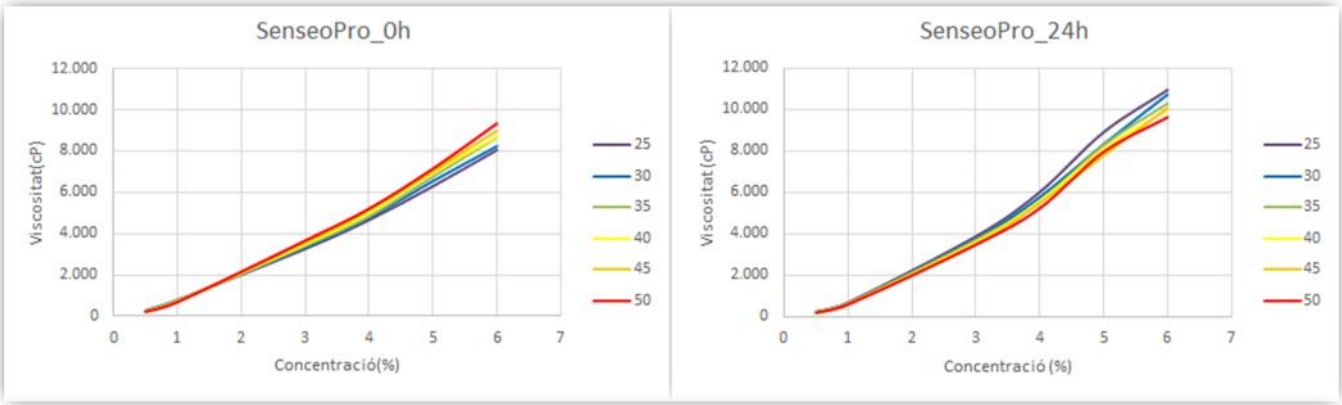


Figura 7.1.3.1. Comportament de la viscositat en funció de la concentració a diferents temperatures, per SenseoPro®

En la següent taula es recull les regressions lineals del comportament de l'espessidor en funció de la concentració, degut al seu comportament lineal no es va realitzar el logaritme neperià en aquest espessidor.

Taula7.1.3.2. Regressions lineals de la viscositat a diferents temperatures per l'espessidor SenseoPro®

Temperatura	0h		24h	
25	y = 1395,5x - 644,5	R^2 = 0,9935	y = 1966,8x - 1281,8	R^2 = 0,9844
30	y = 1441,1x - 695,28	R^2 = 0,9939	y = 1897,4x - 1258,5	R^2 = 0,9837
35	y = 1511,1x - 797,65	R^2 = 0,9906	y = 1841,9x - 1202,9	R^2 = 0,9847
40	y = 1533,3x - 802	R^2 = 0,9934	y = 1798,2x - 1162,9	R^2 = 0,9866
45	y = 1581,4x - 862,07	R^2 = 0,9931	y = 1785,2x - 1195,7	R^2 = 0,9843
50	y = 1633,9x - 930,84	R^2 = 0,991	y = 1739,3x - 1140,4	R^2 = 0,984

A la vista d'aquest comportament lineal i dels valors absoluts de la viscositat que s'arribaren a assolir, es va procedir a estudiar en detall l'interval de concentració entre 0 i 3%, marcant el grau de consistència.

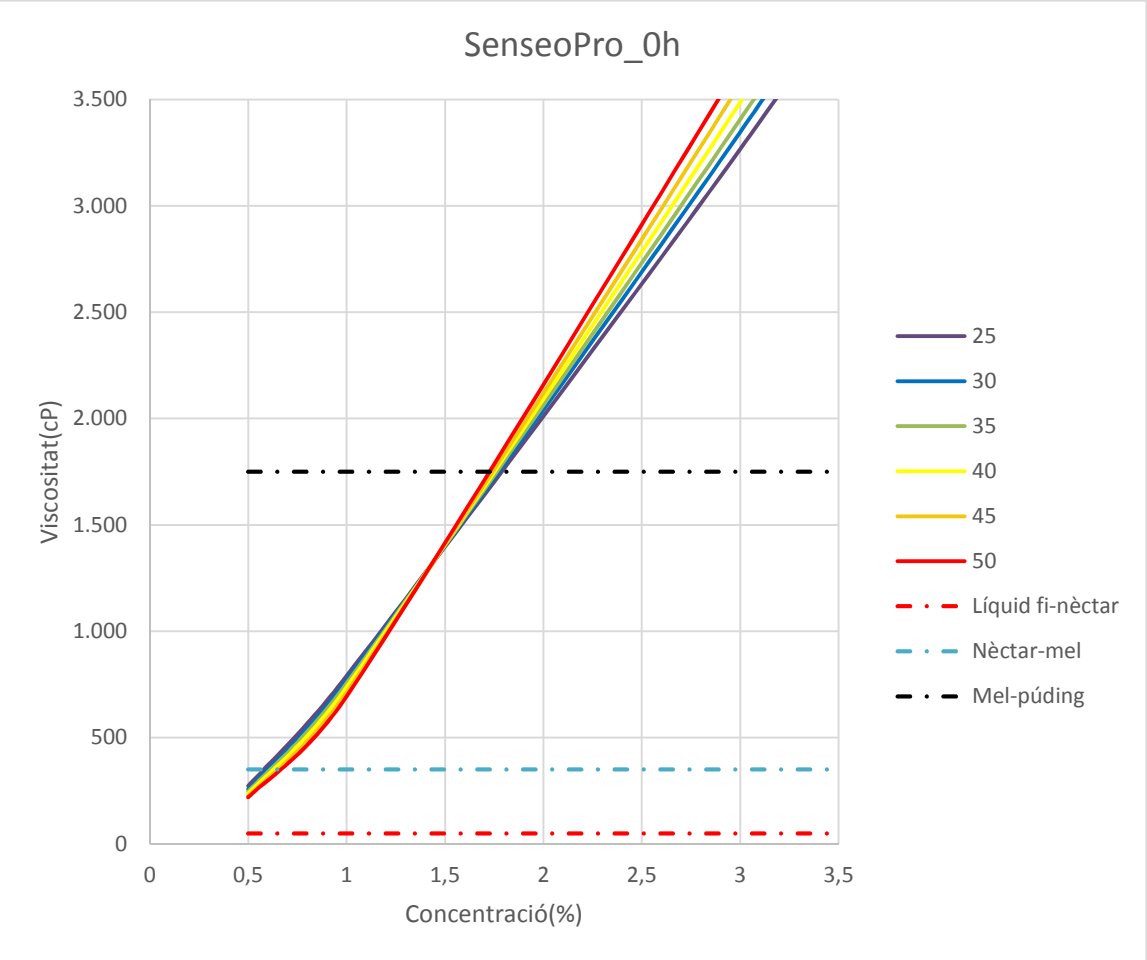


Figura 7.1.3.2. Detall concentracions de SenseoPro® inferiors al 3%

Com es pot observar amb una concentració d'espessidor del 0.5% ja s'obté un grau de consistència nèctar, a diferència del que passava amb els espessidors anteriors (Densiter® i Resource®). Com a conseqüència, es comprovà com la diferència en la composició química dels diferents espessidors implicà un comportament diferent. És més, amb una concentració del 3% aquest espessidor presentà un grau de consistència púding mentre que els anteriors a base de midó de blat de moro, tot just començaven a arribar al grau de consistència nèctar.

Una altra característica important que cal destacar és que a partir d'una concentració del 3% els valors experimentals de la viscositat depenien directament de la temperatura. Aquest comportament també el presentaren els espessidors a base de midó de blat de moro.

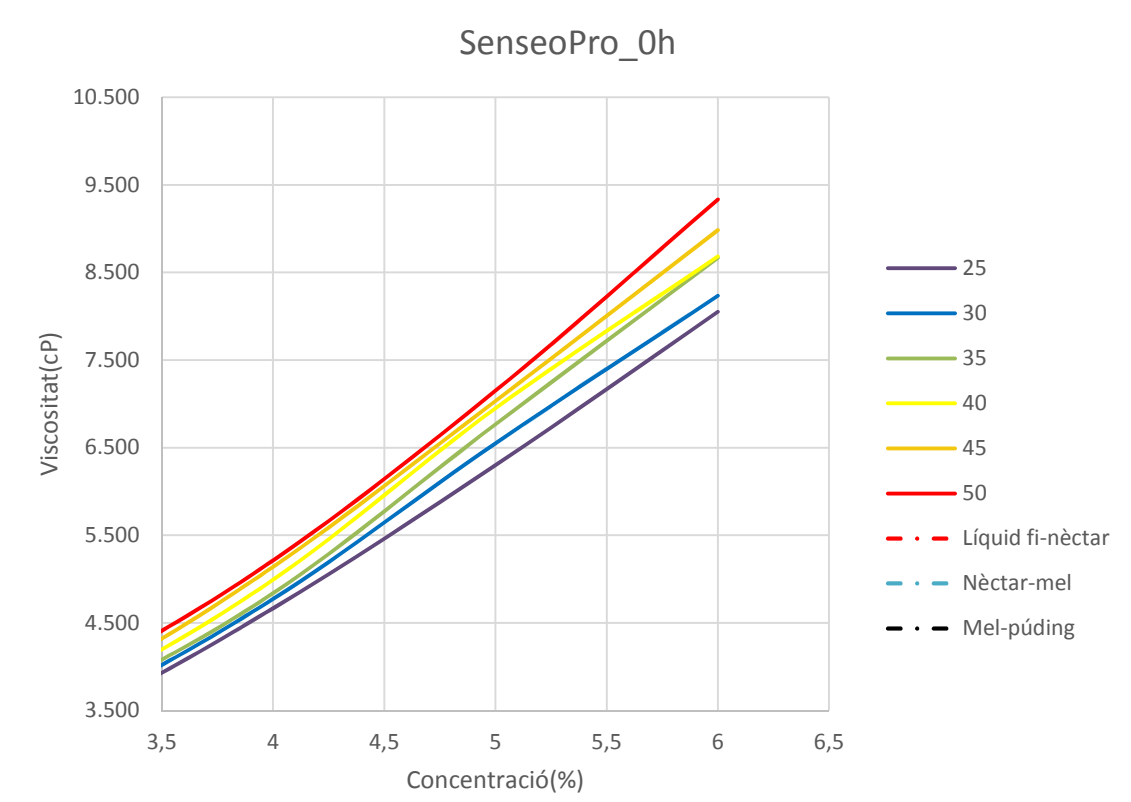


Figura 7.1.3.3. Detall concentracions de SenseoPro® superiors al 3%

Al centrar detalladament en les concentracions més altes, es trobà que a una concentració del 6% l'increment de la viscositat a mesura que augmenta la temperatura era d'aproximadament 1200 cP, aquest fet a gran escala no s'aprecia i pot passar per alt, però és important, ja que aquest comportament també es va observar en els altres espessidors, tot i que en menor mesura.

Comparant aquest fet amb els altres espessidors, els valors de la viscositat de SenseoPro® arribà a ser aproximadament el doble per a concentracions del 6%. Aquest poder espassant tant fort, cal justificar-les justificà en la seva composició: combinació de goma Xantana, goma guar i maltodextrina.

Gràcies al seu comportament lineal, aquest espessidor permet un major control sobre el grau de consistència.

D'altre banda, passades les 24 hores de repòs, la viscositat és major en totes les concentracions, i com passa en els espessidors anteriors, disminueix el valor d'aquest paràmetre en augmentar la temperatura. Per tant es pot afirmar que a les 0 hores viscositat i temperatura són directament proporcionals, en canvi a les 24 hores són inversament proporcionals.

A la vista de que és important detallar les gràfiques i especificar els graus de consistència, es va procedir a aprofundir l'estudi dels espessidors anteriors i realitzar-ne una comparació, degut a la semblança del seu comportament.

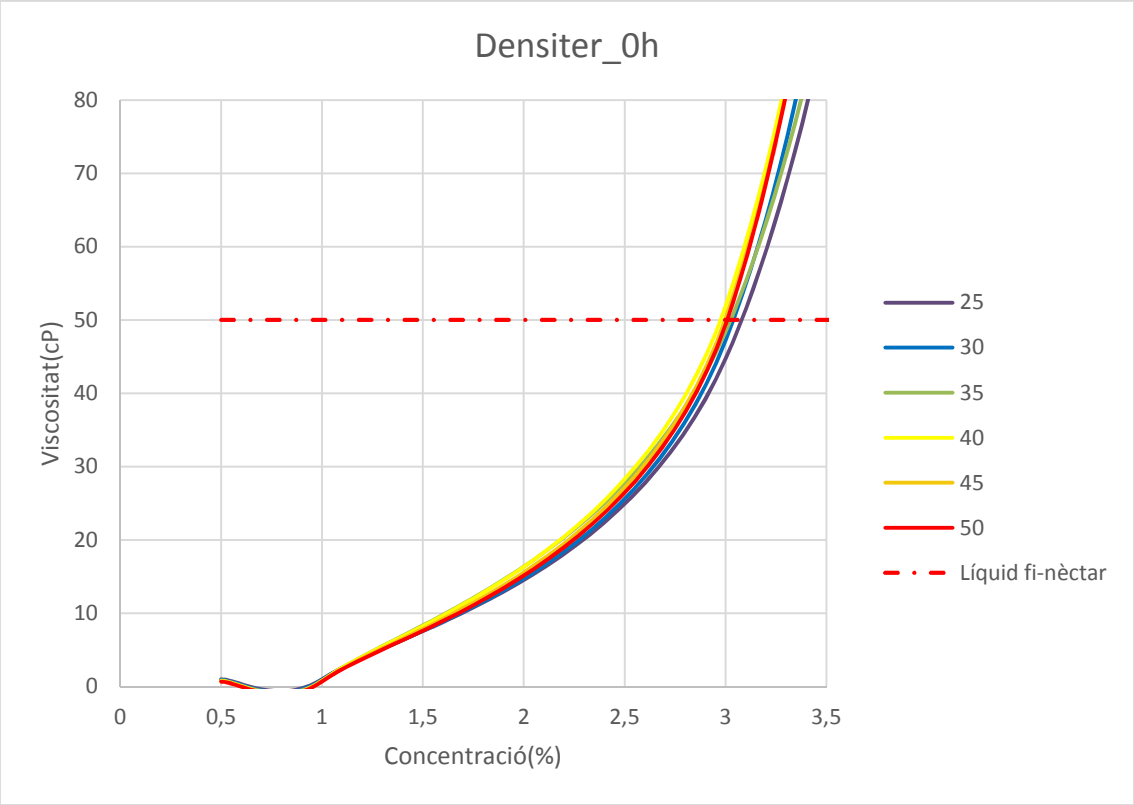


Figura 7.1.3.4. Detall concentracions de Densiter® inferiors al 3%

En el cas de l'espessidor Densiter® fins a la concentració del 3% es va obtenir un grau de consistència de líquid fi, per contra de l'espessidor SenseoPro® que a una concentració de 0.5% ja tingué un grau de consistència de nèctar.

S'observà un augment de la viscositat cada vegada més accentuada, relacionada amb l'augment de la concentració. A més a més, observant la figura 7.1.3.4, es pot apreciar el canvi de comportament dels valors experimental de la viscositat respecte la temperatura. Això és: a partir d'un grau de consistència nèctar, els valors de la viscositat presentaven una correlació directa amb la temperatura i no pas inversa.

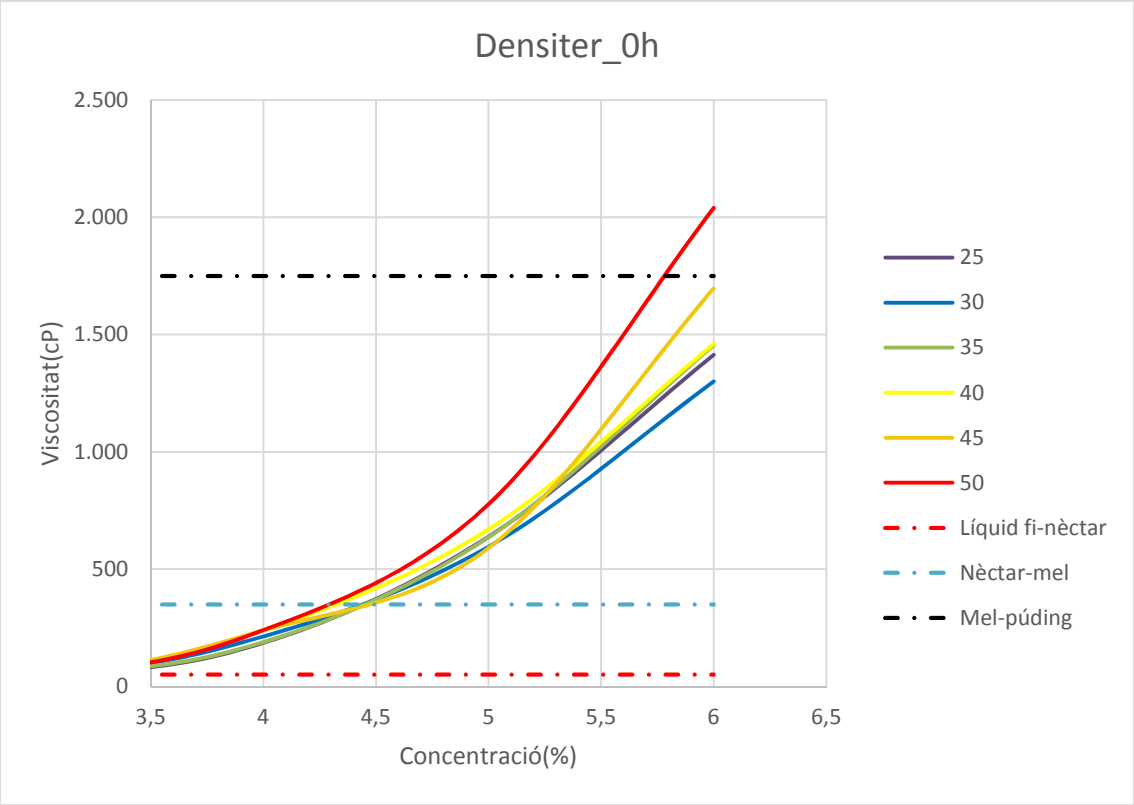


Figura 7.1.3.5. Detall concentracions de Densiter® superiors al 3%

D'alta banda a concentracions altes, superiors al 3%, s'observaren tots els graus de consistència, en una concentració de 4% consistència nèctar, en l'interval de 4.5 -5.5% grau de consistència mel i per una concentració de 6% es pot arribar a una consistència púding segons la temperatura.

Aquest canvi pot esdevenir un problema, ja que en un canvi relativament petit en la concentració la consistència de l'aliment varia significativament, també és precís indicar que és necessari una gran quantitat d'espessidor per tenir la certesa d'obtenir una consistència de tipus púding.

Fixant la concentració del 6%, on la variació de la viscositat en funció de la temperatura va ser més alta, l'interval de la viscositat varia d'uns 700cP i es confirmà que a major temperatura, major viscositat.

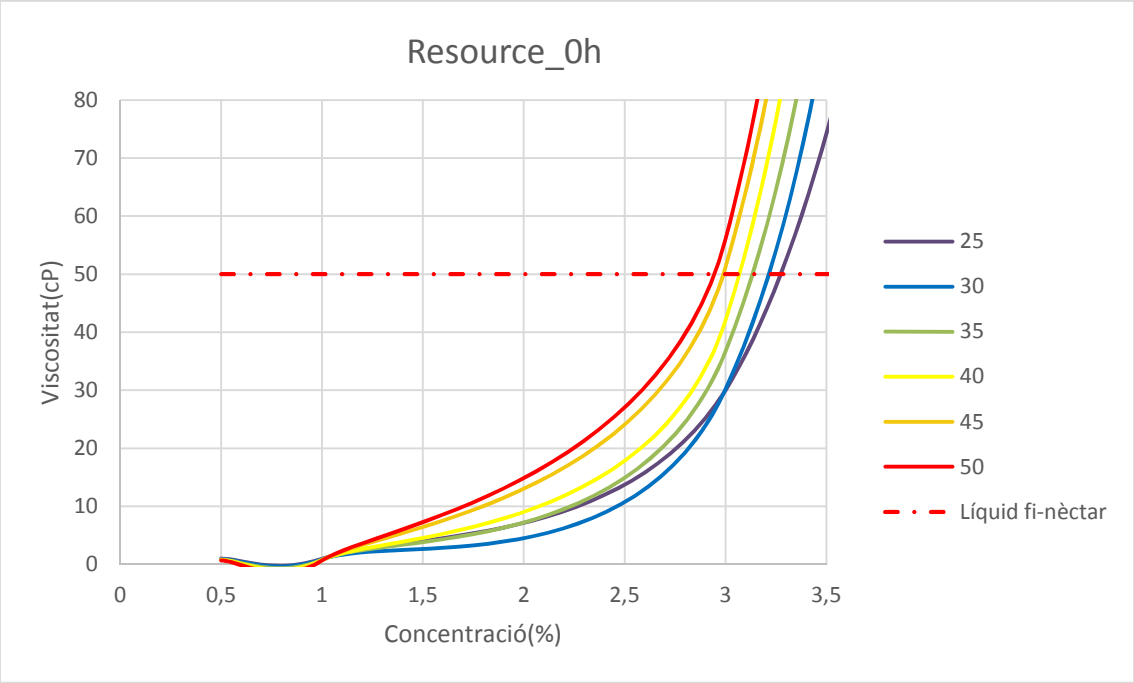


Figura 7.1.3.6. Detall concentracions de Resource® inferiors al 3%

Realitzant exactament la mateixa figura, però en aquest cas per el Resource® a concentracions baixes inferiors al 3% els valors experimentals de la viscositat restaren en un grau de consistència líquid fi, per tant s'observà una relació equivalència entre Densiter® i Resource®.

Focalitzant en l'increment progressiu de la temperatura, fixada una concentració, s'observà una divergència de la viscositat major que els anteriors espessidors. Aquest comportament s'accentuà com més alta esdevingués la concentració, com es pot apreciar en la figura següent.

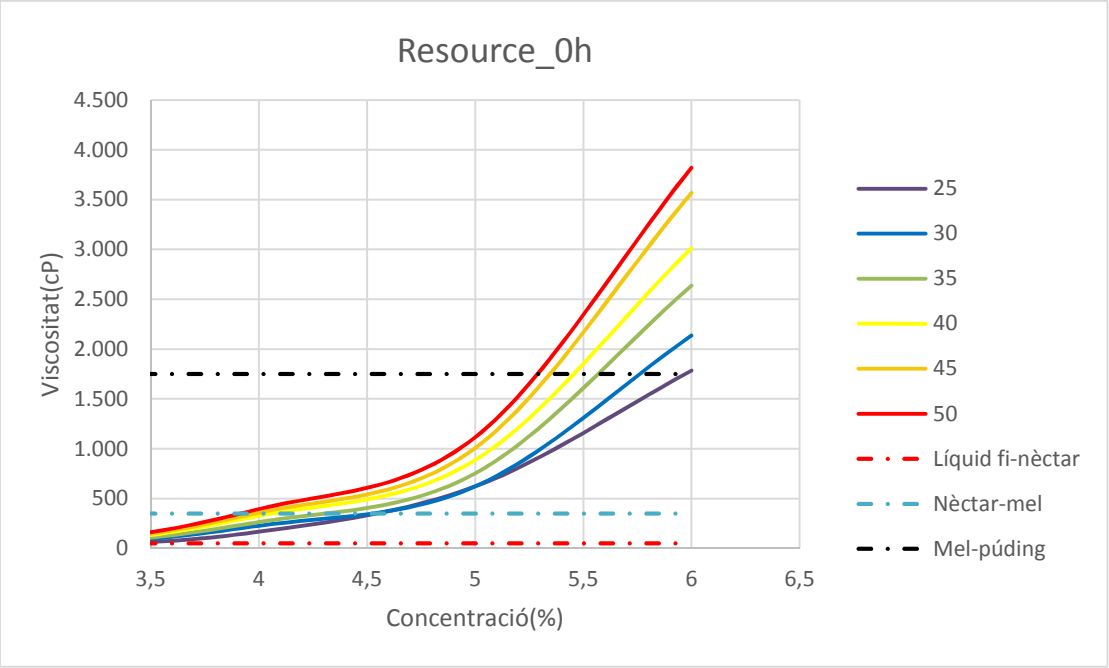


Figura 7.1.3.7. Detall concentracions de Resource® superiors al 3%

Aquest espessidor té la capacitat d'obtenir un grau de consistència major en menor concentració que el Densiter®, aquest fet pot convertir-se en un problema, ja que a l'hora d'obtenir consistències intermèdies (nèctar-mel) es necessari un treball curós, degut a la seva inestabilitat i el gran canvi de viscositat (al incrementar d'1% en la concentració es passà d'una consistència a una altre) .

Observant la variació de viscositat en la concentració del 6%, com es va estudiar i enfocar en els demés espessidors, es confirmà que on es detectà una variació més gran en la viscositat al incrementar la temperatura va ser el Resource® amb 2000cP.

A la vista de que Resource® i Densiter® són espessidors semblants es va estudiar el comportament d'aquests a una temperatura de 50ºC, ja que en aquesta temperatura s'experimentaven tots els graus de consistència i es comparà a les 0 hores i a les 24 hores, per a indicar les diferències de forma clara.

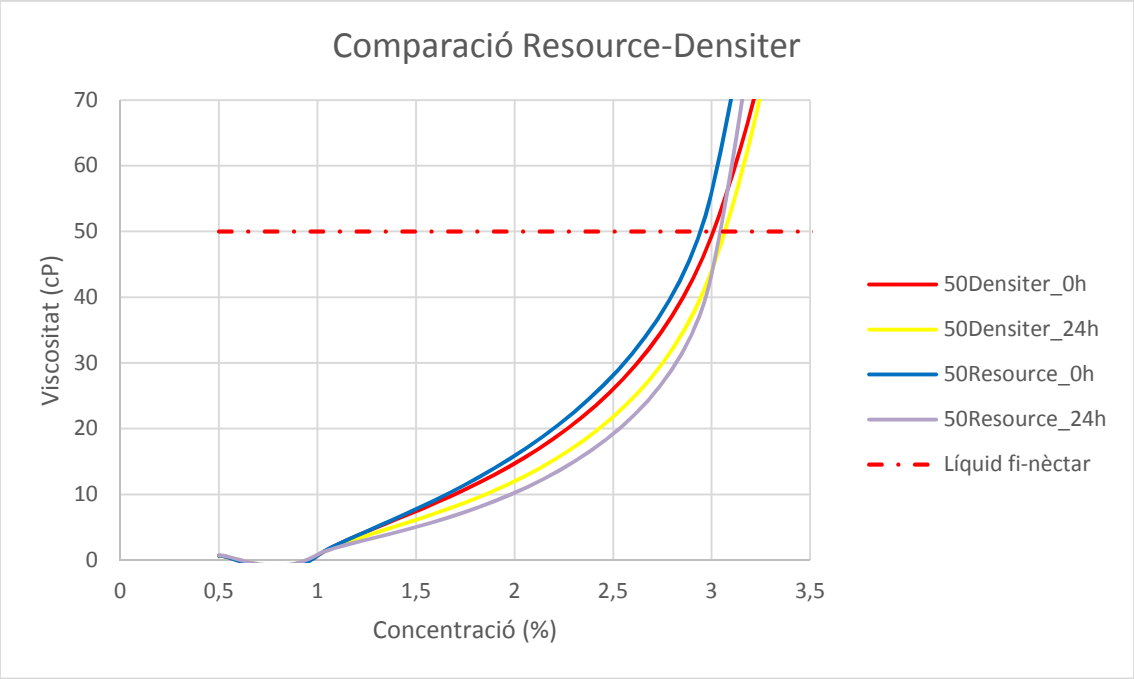


Figura 7.1.3.8.: Detall comparació espessidors Densiter® i Resource®, concentracions inferiors al 3% a temperatura màxima (50ºC) a les 0 i 24 hores

S'observà un comportament estrany al 3%, ja que a les 24 hores la viscositat a 50ºC és menor en ambdós espessidors, això és degut a que la viscositats tenen comportaments contraris i a les 24 hores decreix el valor d'aquesta a mesura que s'incrementa la temperatura i es produeix un creuament en les viscositats, produint que a les 24 hores i a la temperatura de 50ºC esdevingui més baixa que a les 0 hores.

A les concentracions estudiades de 0.5 i 1% no es notà cap diferència entre els dos espessidors, ja que els valors absoluts de les viscositats varen ser molt baixes.

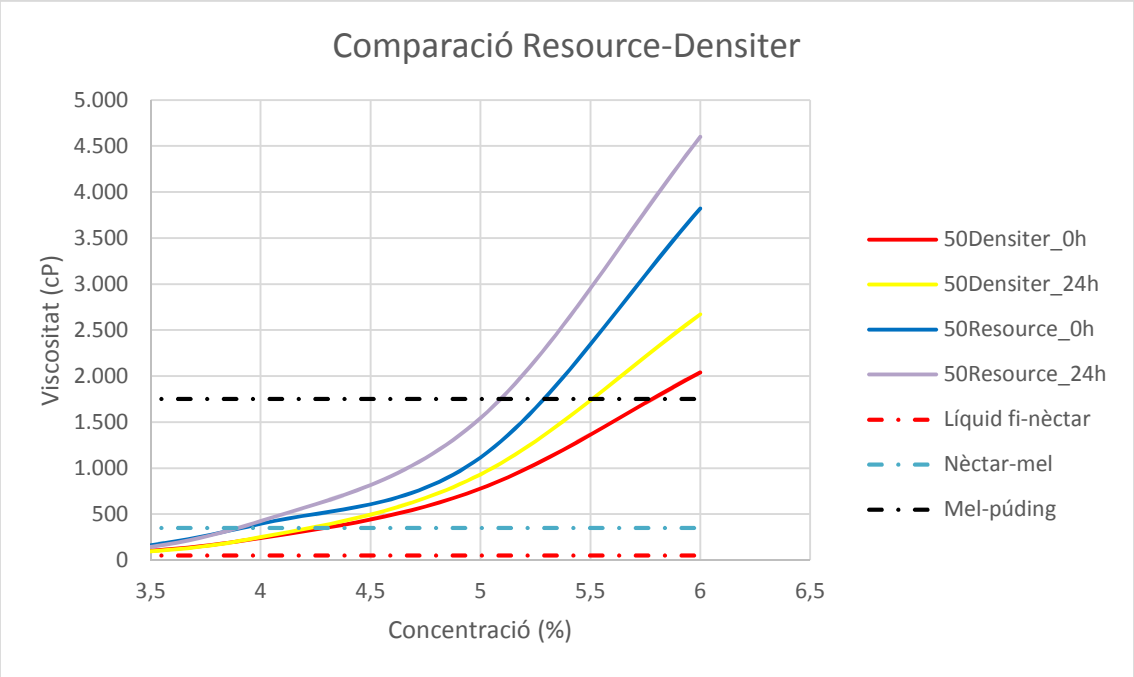


Figura 7.1.3.9. Detall comparació espessidors Densiter® i Resource®, concentracions superiors al 3% a temperatura màxima (50ºC) a les 0 i 24 hores

On s'observaren les divergències entre els dos espessidors va ser en les altes concentracions. Per un 4% de concentració el Resource® tenia consistència mel, en canvi el Densiter® consistència nèctar. Encara que de les concentracions del 5 i 6% que els dos espessidors es troben amb el mateix grau de consistència en aquesta temperatura, la viscositat de Resource® sempre va ser superior.

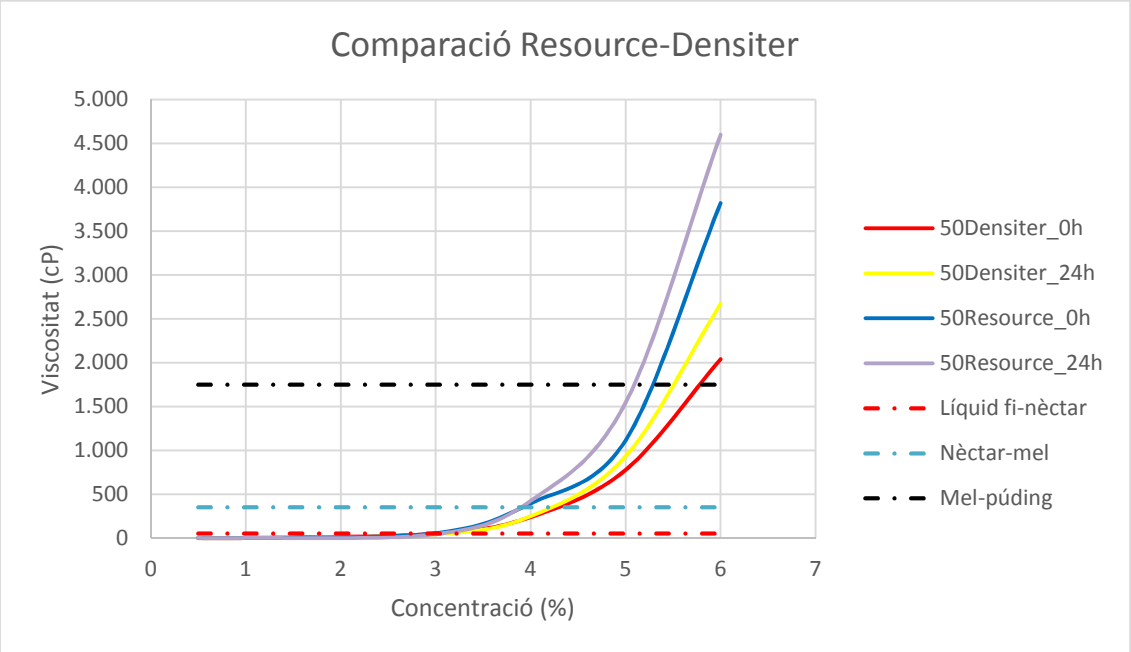


Figura 7.1.3.10. Comparació espessidors Densiter® i Resource®a temperatura màxima (50ºC) a les 0 i 24 hores

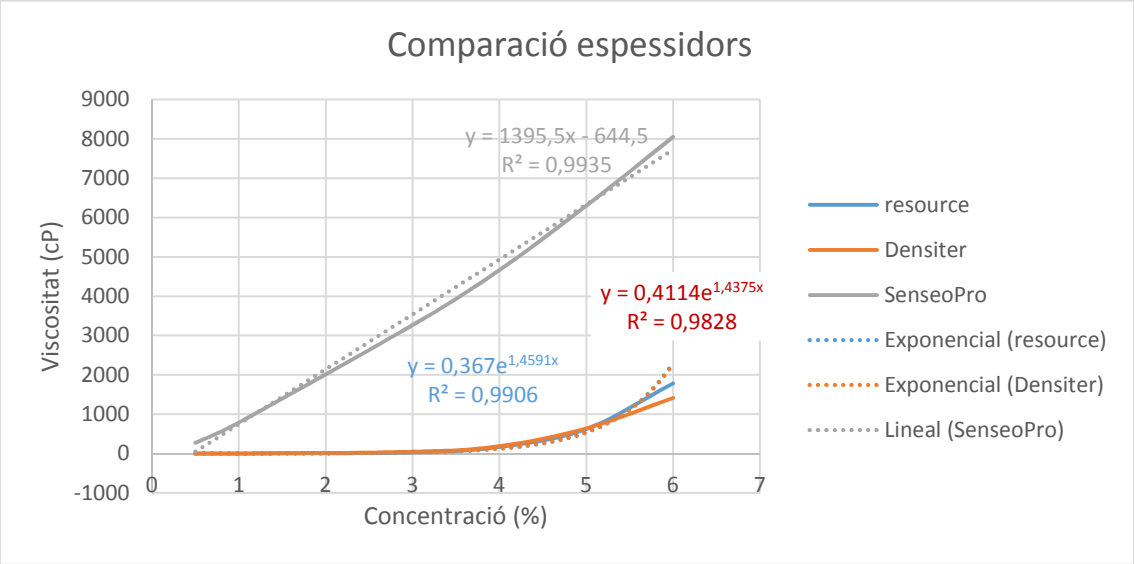


Figura 7.1.3.11. Comparació dels espessidors, tendències, equacions, coeficient de determinació per a cada concentració a una temperatura ambient de 25ºC.

Es pot observar que les regressions per mínims quadrats s'ajusten en els tres casos als valors experimentals. En els tres casos els valors del coeficient de correlació son propers a 1, varien des de 0.9828 a 0.9935. Aquest elevats valors en el coeficient de correlació permeten afirmar que els valors experimentals s'ajusten a dos models diferents: lineal en el cas de SenseoPro® i exponencial en el cas de Resoure® i Densiter®.

Taula 7.1.3.1. Comparacions de les regressions i els coeficients de correlació

Espassant	**Equació**	**R^2**
Resource®	$Y=0.367e^{1.4591x}$	$R^2=0.9906$
Densiter®	$Y=0.4114e^{1.4375x}$	$R^2=0.9828$
SenseoPro®	Y=1395.5x-6445	$R^2=0.9935$

7.1.4.Gelatina

La gelatina presentà dificultat al mesurar la seva viscositat ja que a temperatura inferior a 25ºC era un gel sòlid. Ara bé, un cop superat l'interval de temperatura de transició de canvi de fase(25ºC-30ºC), es transformà en líquid, per tant s'obtenia un gran canvi en la viscositat.

Degut al canvi extrem en la viscositat que experimentà la gelatina i el desigual comportament en el valor absolut de la viscositat a baixes temperatures només es va estudiar l'interval entre 30-50ºC.

A la figura 7.1.4.1 es representa com evoluciona la viscositat en funció de la concentració a la temperatura mínima de 30ºC fins a una màxima de 50ºC. S'observa el canvi produït un cop passat l'estat de transició de gel a líquid.

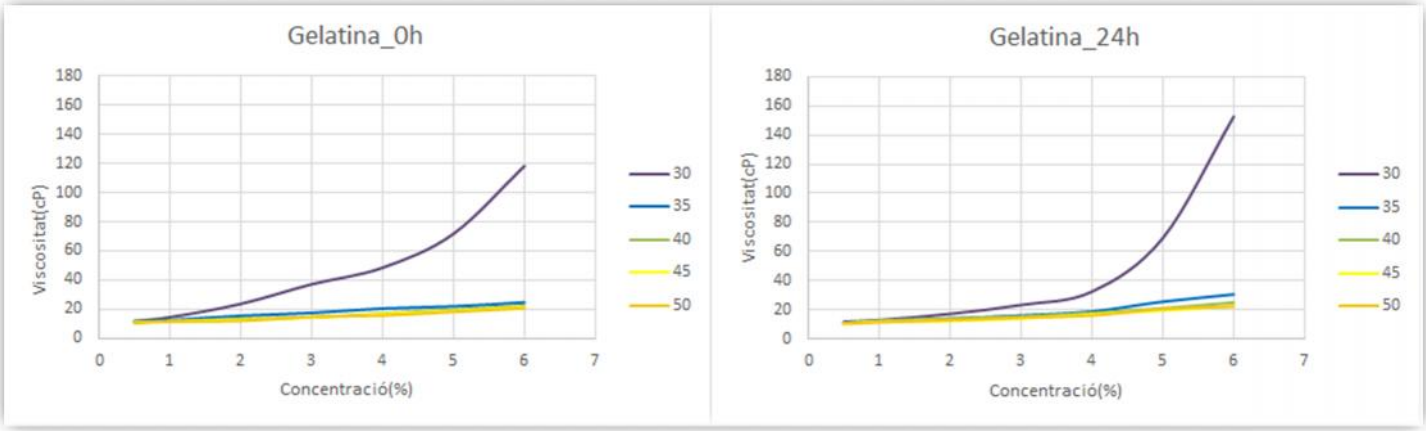


Figura 7.1.4.1. Comportament de la viscositat en funció de la concentració a diferents temperatures, per Gelatina neutre

A la temperatura de 30ºC, la relació entre la viscositat i la concentració de la gelatina és de tipus exponencial. Aquest comportament recorda el dels espessidors anteriors. Un cop superada aquesta temperatura el comportament de la viscositat va ser lineal i amb un grau de consistència de líquid fi. Aquest comportament es mantingué passades les 24 hores de repòs.

Taula 7.1.4.1. Regressions de la viscositat a diferents temperatures, per Gelatina neutre

Temperatura	0 hores		24 hores	
30	$y = 9{,}9505e^{0{,}4079x}$	$R^2 = 0{,}9952$	$y = 7{,}6225e^{0{,}4445x}$	$R^2 = 0{,}9396$
35	$y = 2{,}3815x + 10{,}424$	$R^2 = 0{,}9955$	$y = 3{,}4511x + 7{,}6977$	$R^2 = 0{,}9372$
40	$y = 2{,}022x + 9{,}5754$	$R^2 = 0{,}9729$	$y = 2{,}398x + 9{,}2894$	$R^2 = 0{,}9675$
45	$y = 1{,}9162x + 9{,}4003$	$R^2 = 0{,}9816$	$y = 2{,}1159x + 8{,}9654$	$R^2 = 0{,}9623$
50	$y = 1{,}8111x + 9{,}1872$	$R^2 = 0{,}9778$	24 hores	$R^2 = 0{,}9396$

Certament, a partir de 35ºC es va confirmar que la gelatina té consistència de líquid fi a totes les concentracions. De fet, a 30ºC s'observà un gran increment en el valor absolut de la viscositat. A concentracions menors al 4% es trobà líquid fi i per valors superiors a aquest presentà consistència nèctar. A temperatures inferiors a 30ºC en tots els casos es va observar una consistència púding a valors de concentració iguals o superiors al 2%.

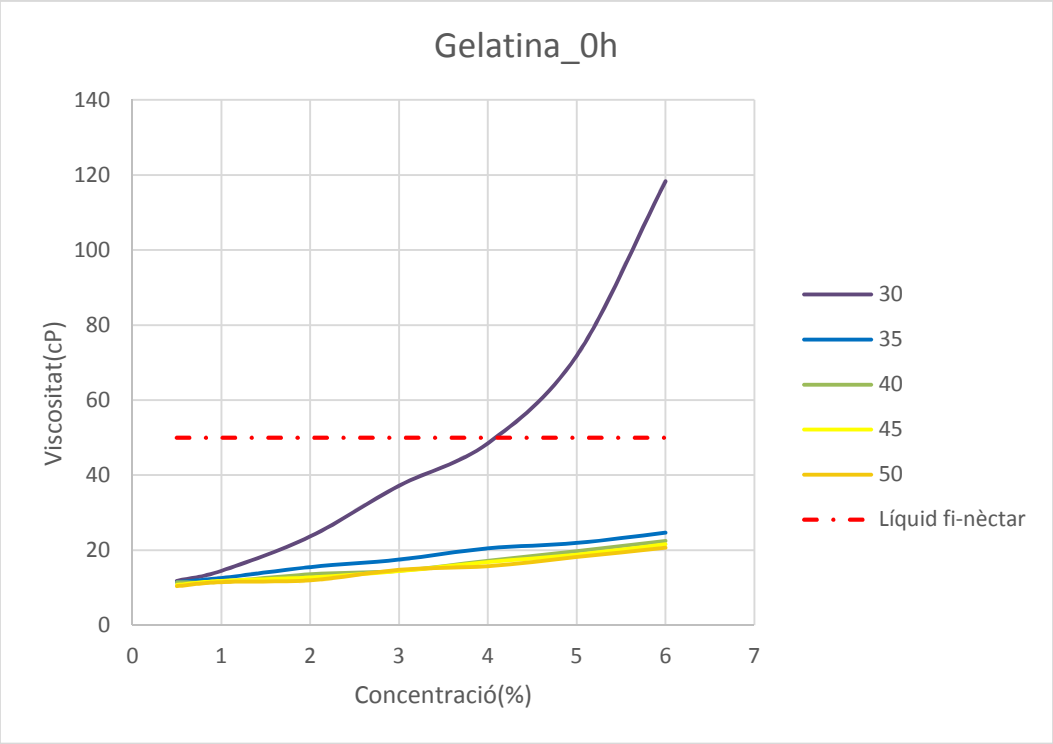


Figura 7.1.4.2. Comportament de la gelatina a temperatures entre 30-50ºC

7.2 Efecte de la temperatura

En aquest apartat es va relacionar els diferents graus de disfàgia amb la temperatura. Així, es van poder apreciar els canvis de viscositat en els intervals de temperatura següents:

- Espessidors (25ºC-50ºC)
- Gelatina (15ºC-50ºC).

7.2.1Concentració de l'espessidor

A concentracions baixes d'espessidor, les mostres van tenir la mateixa tendència, tant a les 0 hores com a les 24 hores. Es comportaven com a fluids newtonians, es a dir, en augmentar la temperatura disminuïa la viscositat. Als dos gràfics superiors de la figura 7.2.1.1, que es

corresponen amb el Densiter® i en el Resource®, es a dir en espessidors constituïts per blat de moro, no s'observen divergències entre les concentracions 0.5% i 1%, grau de consistència de líquid fi.

En canvi en el cas del gràfic inferior, que es correspon al SenseoPro®, constituït per una mescla de goma Xantana, goma guar i maltodextrina, hi va haver una diferència notable, ja que es tracta d'una consistència de tipus nèctar a 0.5% i una consistència tipus mel a 1%, això és degut a l'alta capacitat que té per absorbir aigua.

S'observà que a les 24 hores el valor absolut de la viscositat era major en el cas de Densiter® i Resource®. En canvi SenseoPro® a aquestes concentracions la viscositat a les 24 hores era menor.

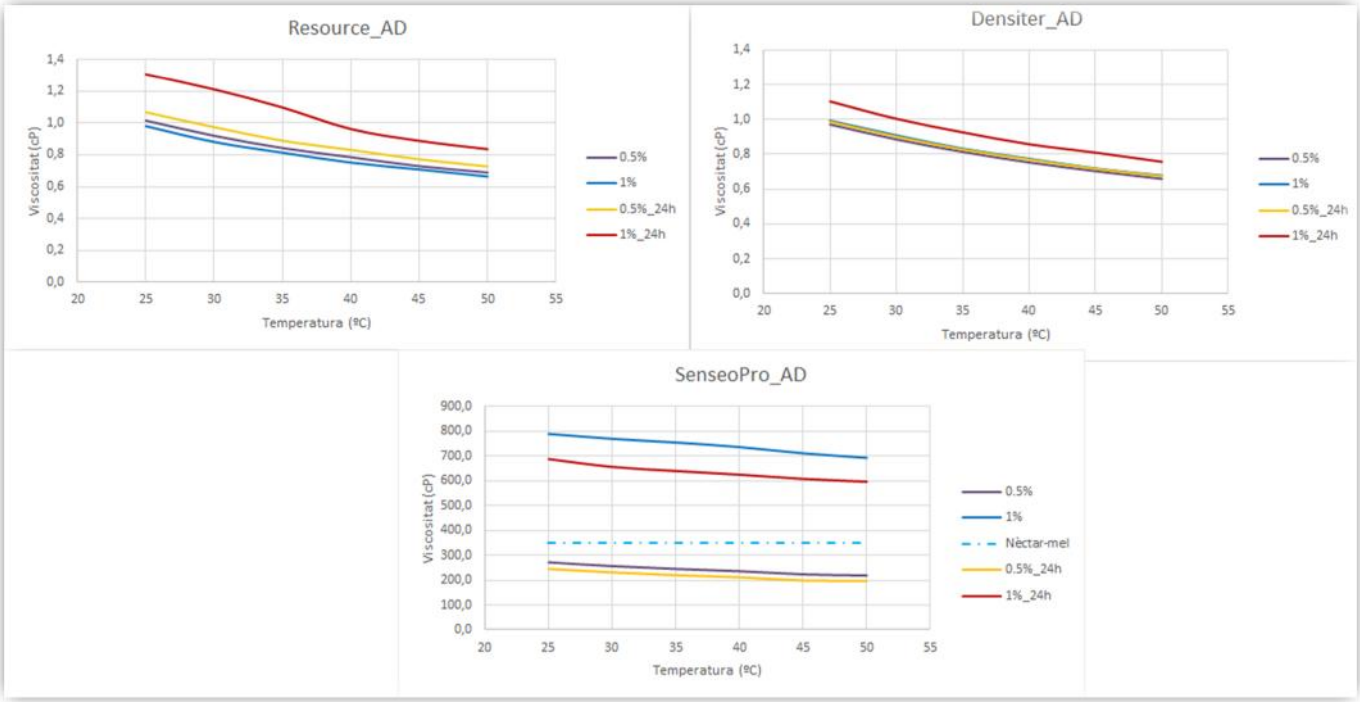


Figura 7.2.1.1 : Comparació concentracions 0.5%-1% dels espessidors

D'altra banda en concentracions superior al 3% (vegeu figura 7.2.1.2) es detectà un canvi en el comportament. Així, les mostres recentment preparades, augmentaven la viscositat al augmentar la temperatura. Aquest comportament es justifica, en aquest moments, com un reflex d'un efecte de cinètica d'hidratació lenta, ja que un cop passades unes hores en repòs aquest comportament no s'observà.

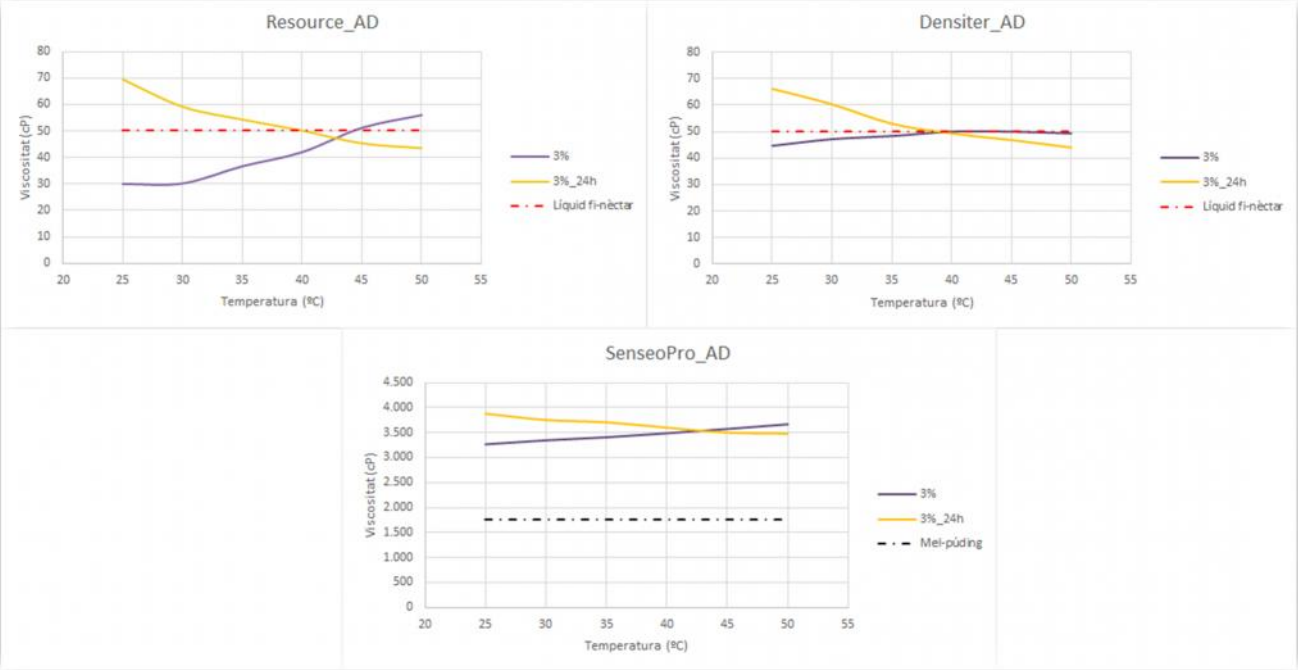


Figura 7.2.1.2 Comparació concentració del 3%

Al tenir un comportament contrari a les 0 i a les 24 hores, provocà un creuament de viscositats. S'observà que el punt de creuament varià segons l'espessidor. En el cas de Resource® es troba a 43ºC i a consistència de líquid fi, en canvi pel Densiter® aquest punt es troba a la frontera entre líquid fi-nèctar i temperatura de 39ºC. D'altre banda SenseoPro® també experimenta aquest fet i el creuament es produeix a 43ºC i consistència púding.

Cal remarcar que passades 24 hores el comportament de Resource® i Densiter®, en aquesta concentració, no presentà divergències molt significatives entre si. En canvi en les mostres recentment preparades, en el primer s'observà un major increment en els valors de la viscositat i passà de líquid fi a nèctar. Ben al contrari, el segon dels espessidors presentà un comportament més estable, gairebé sense variació.

Finalment, es trobà consistència púding per SenseoPro® a totes les temperatures. La variació en valor absolut de la viscositat entre 0 i 24 hores fou superior als altres espessidors, la qual cosa es pot justificar per l'elevat grau de consistència.

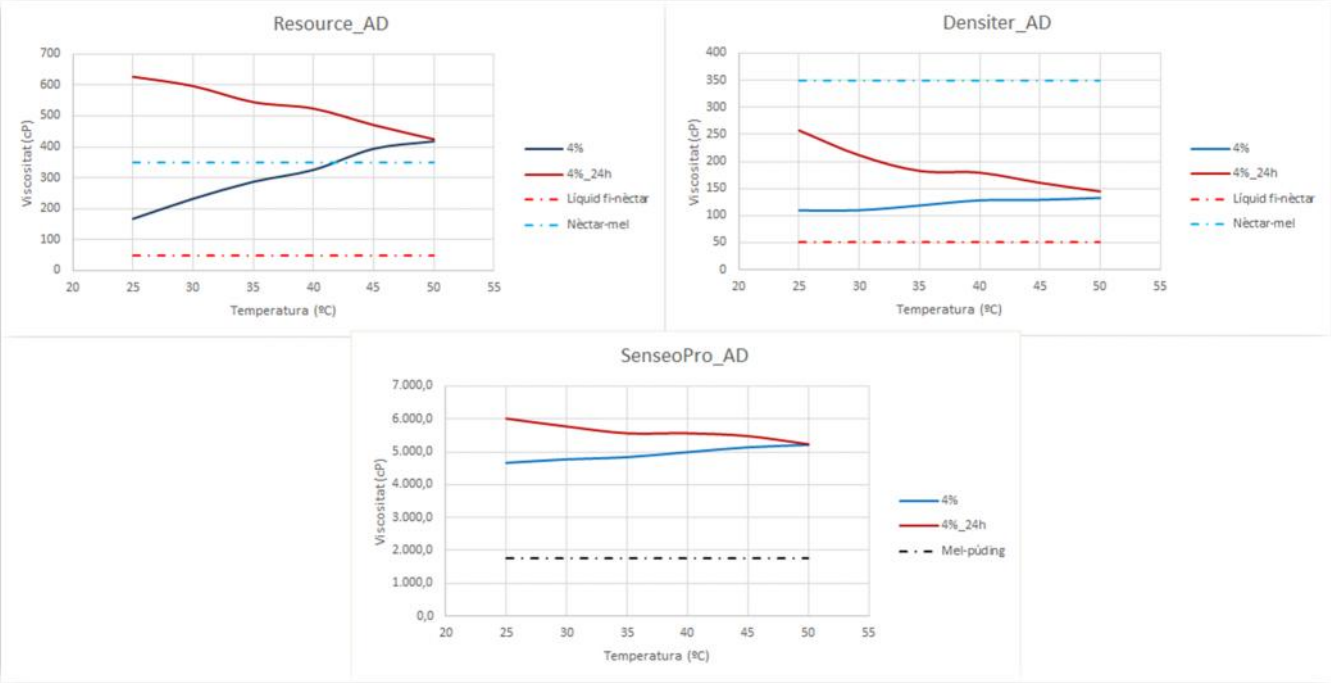


Figura 7.2.1.3 Comparació concentració del 4%

Tal com s'aprecia a la figura 7.2.1.3 els valors absoluts de la viscositat presenten la màxima diferència a temperatura 25ºC, en el cas de concentracions del 4%. A mesura que augmenta la temperatura els valors de la viscositat van convergint de manera que a una temperatura de 50ºC, a efectes pràctics, no s'observa diferència entre el valor de la viscositat de 0 hores i 24 hores, en cap dels espessidors estudiats.

Convé remarcar que, en el cas de Resource® a partir del 4% s'observà que l'increment de temperatura produeix un gran canvi de viscositat i aquest s'accentuà a mesura que augmentava la concentració, es passà de 180 a 420 cP a les dissolucions recentment preparades, és a dir, només per l'efecte de la temperatura es passà d'un grau de consistència nèctar a un grau de consistència mel.

A diferència del comportament observat en el Resource® , el Densiter® va experimentar, amb una concentració del 4%, un increment de 100 a 150cP per a dissolucions recentment preparades. Això vol dir que en aquest cas no es va produir un canvi en el grau de consistència.

Altra vegada, els valors absoluts de la viscositat que presentà SenseoPro®, van ser molt diferents, van trobar-se sempre en el grau de consistència púding. A més a més, els valors observats al 4% van ser superiors als observats al 3%, tal com era d'esperar ja que la viscositat presenta una relació directa amb la concentració del solut.

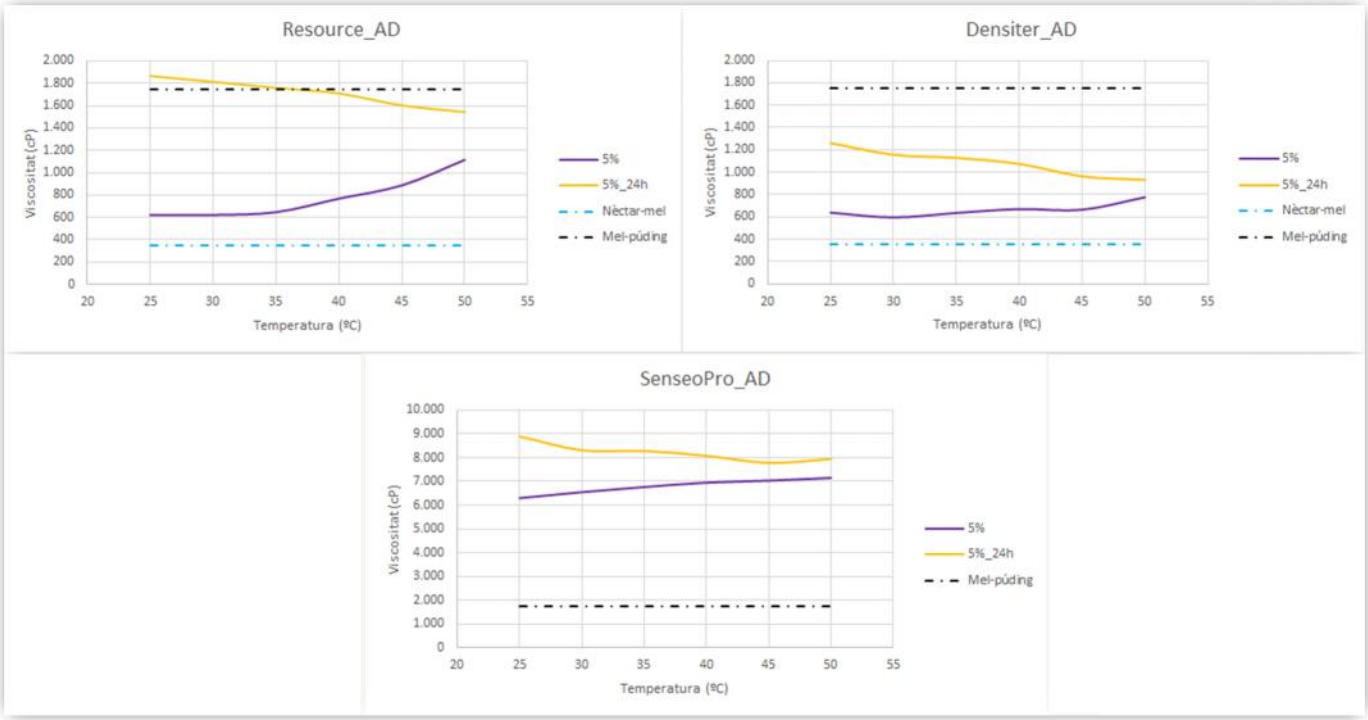


Figura 7.2.1.4 Comparació concentració del 5%

Quan la concentració dels diferents espessidors va ser del 5%, s'accentuà la diferència de la viscosiat en les 0 i 24 hores. En cap cas es va produir el creuament dels valors obtinguts a les 0 hores i a les 24 hores. És més, tal com s'aprecia a la figura 7.2.1.4, les dues sèries numèriques de la viscositat presentaven uns valors prou diferents arribats a la temperatura de 50ºC. Amb aquesta concetració, Densiter® experimentà una consistència mel i SenseoPro® púding, amb valors de viscositat superiors als 6000 cP.

D'altra banda, Resource® en la mostra recentment preparada, es trobà en concistència mel, però passades 24 hores aconseguí una consistència superior, la qual passa de púding a mel.

La consistència púding es trobà en tots els espessidors a la concentració més alta estudiada(6%), exceptuant el Densiter® que en les mostres acabades de preparar passà de consistència mel a púding.

Es remarcable la simetria experimentada a totes les concentracions a partir del 3% entre les dues mesures d'una mateixa mostra (0-24hores).

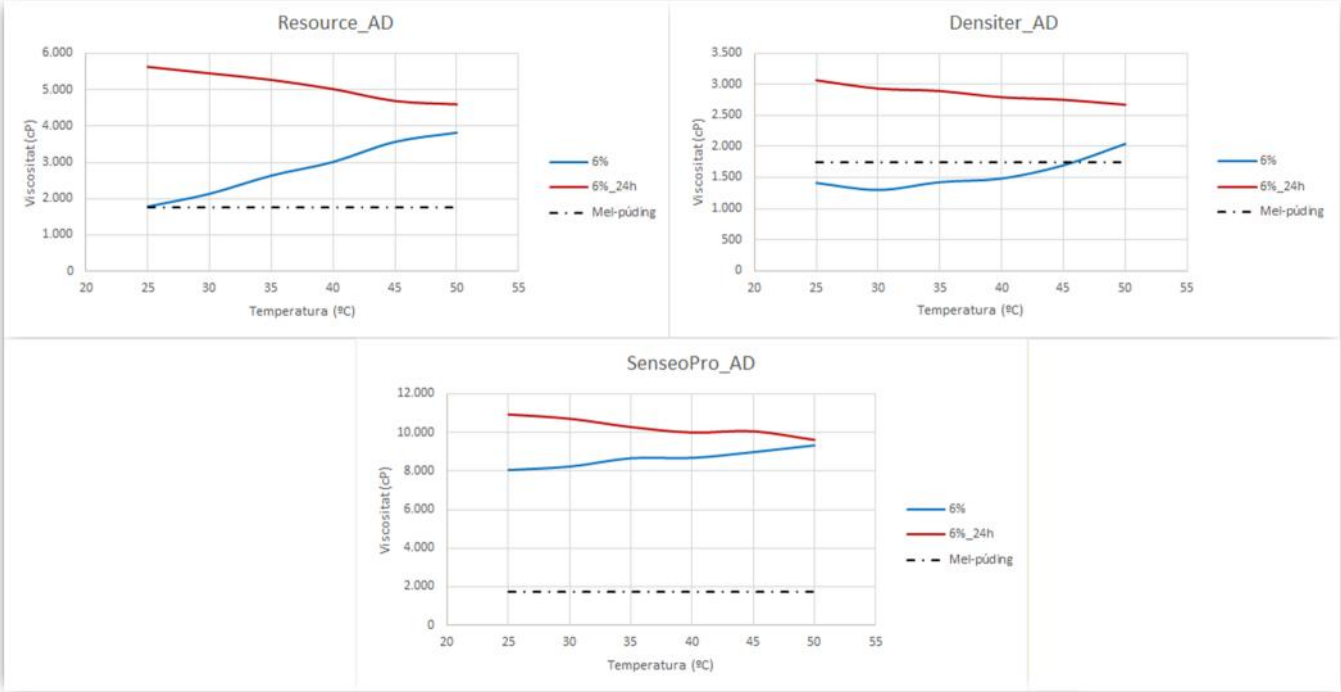


Figura 7.2.1.5 Comparació concentració del 6%

La següent taula exposa les diferències en la consistència dels aliments segons el producte comercial i el temps, d'aquesta manera es veuen les diferències entre aquests de manera més clara. Els espessidors presenten gairebé el mateix grau de consistència exceptuant SenseoPro®.

Taula 7.2.1.1: Comparació graus de consistències versus concentració dels espessidors

	Densiter®		Resource®		SenseoPro®	
consistència	0h	24h	0h	24h	0h	24h
Líquid fi	0,5%-3%	0,5%-3%	0,5%-3%	0,5%-3%	-	-
Nèctar	4%	4%	4%	3%	0,5%	0,5%
Mel	5%-6%	5%	5%	5%	1%	1%
Púding	6%	6%	6%	6%	3%-6%	3%-6%

7.2.2. Gelatina

S'observà un canvi brusc de la viscositat en funció de la temperatura. Això és degut a que la gelatina presenta un estat de transició d'estat púding a líquid fi que depèn del valor de la concentració. Aquesta transició és difícil de controlar, ja que variacions en la temperatura de l'ordre de 1ºC comporten resultats no reproduïbles. Resulta, doncs, una tasca difícil mesurar la

viscositat de la gelatina en aquest estat de transició en el qual s'aprecia a ull nu presencia de grumolls.

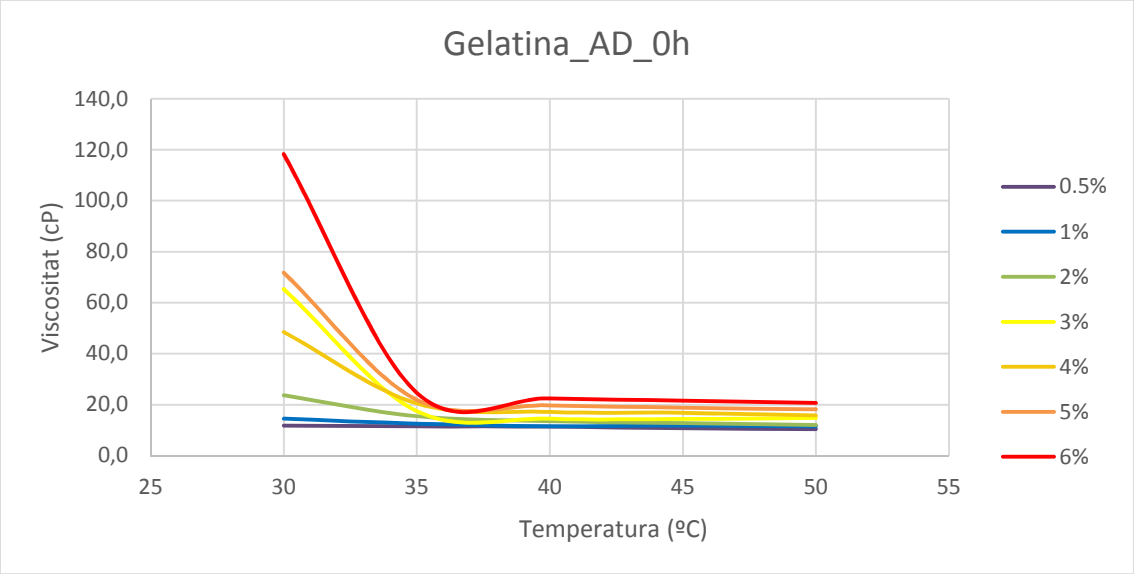


Figura 7.2.2.1. Comparació de concentracions de gelatina a diferents temperatures, mostres recentment preparades

Tal com es pot apreciar a la figura 7.2.2.1, a la temperatura de 30ºC la gelatina experimenta la part final del procés de transició cap a líquid fi. A mesura que la concentració és mes alta, més brusc és el canvi de viscositat. Aquest fet és un problema per als malalts amb dificultat en la deglució, ja que el cos es troba a 37ºC per tant es possible que l'aliment que al entrar a la boca té consistència sòlida un cop transcorregut el intercanvi de calor amb cos aquesta esdevingui líquida.

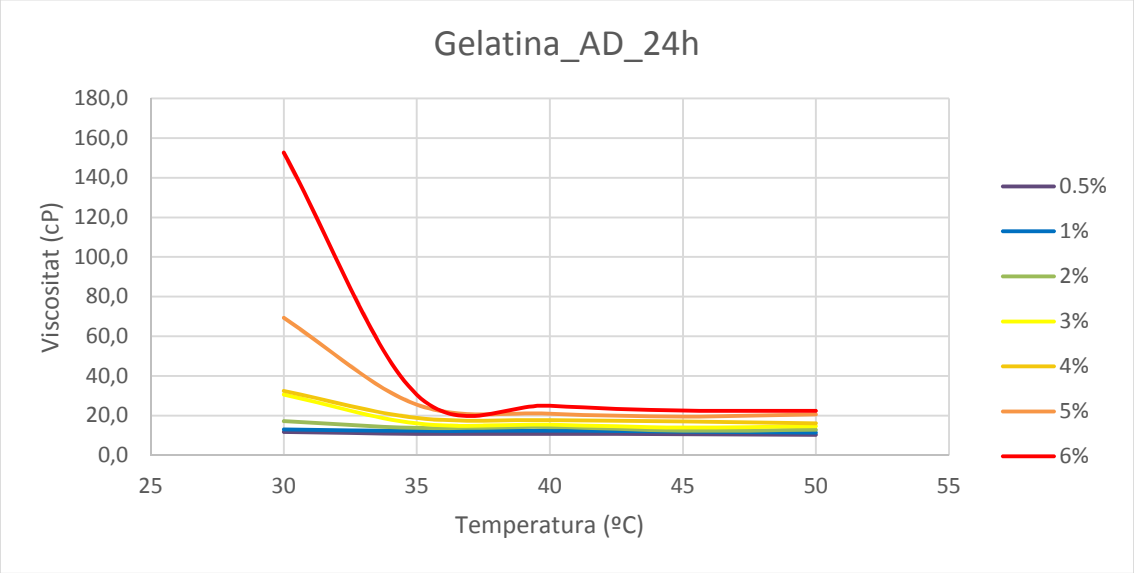


Figura 7.2.2.2. Comparació de les concentracions de gelatina a diferents temperatures, a les 24 hores

Com s'observa a la figura 7.2.2.2 la mesura de la viscositat a les 24 hores no varia en excés en aquest cas, s'obté una viscositat similar. De fet, no hi ha diferències significatives. És més, a partir de 35ºC s'obté el mateix valor de viscositat.

7.3 Efecte de la concentració de glucosa

Es van realitzar una sèrie d'experiments en els que es va substituir l'aigua destil·lada per dissolucions de glucosa de concentració creixent (0.5%, 2.5%, 9%, 27%, 36%). L'objectiu d'aquestes experiències va ser establir la influència d'aquest hidrat de carboni en els valors de la viscositat.

Una vegada realitzats els experiments amb la concentració de glucosa descrits, es va descartar la concentració de 36% de glucosa, ja que va portar problemes a l'hora de mesurar la viscositat.

A les següents figures s'ha representat la influència de la concentració de sucre en la concentració més alta d'espessidor ja que, a efectes pràctics, va ser la que més influència tingué.

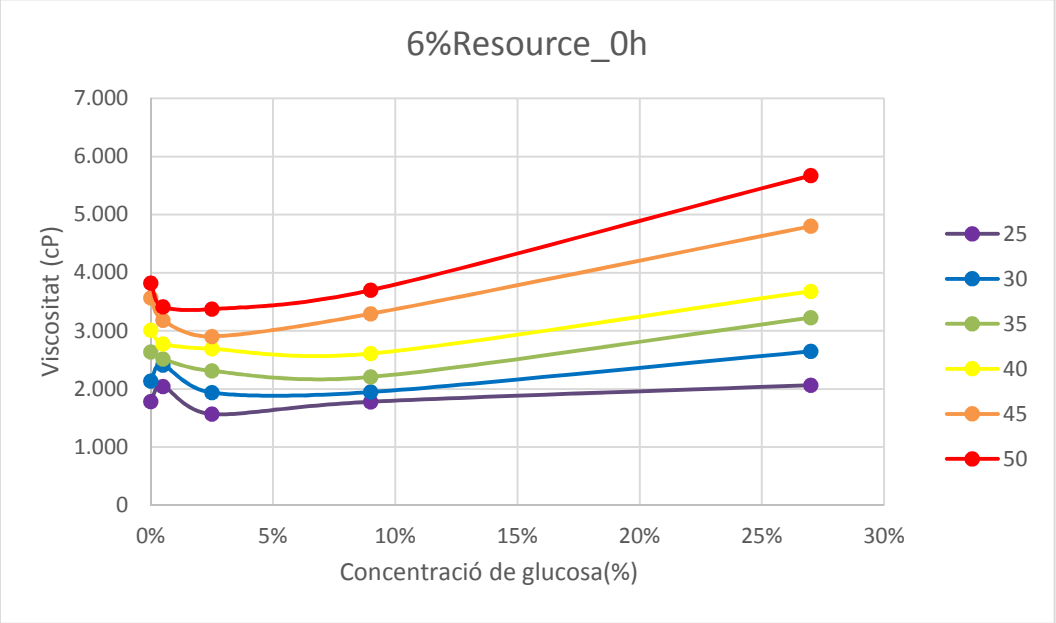


Figura 7.3.1 Comparació de les viscositats de Resource® a diferents concentracions de glucosa i temperatura, mostres recentment preparades

En el cas del Resource®, es va observar com a mesura que augmentava la concentració de glucosa augmentava el valor absolut de la viscositat. Tal com era d'esperar el valor de la viscositat presentava una relació directa amb la concentració de glucosa (el medi cada cop era més espès).

De manera anàloga al que s'havia observat en presència d'aigua destil·lada el valor de la viscositat augmentà amb la temperatura. De fet, es va percebre una tendència d'increment en els valors de la viscositat, essent més realçada a temperatures superiors a 40ºC.

De manera anàloga, el comportament del Densiter® va estar influenciat per la concentració de glucosa i per la temperatura. Tal com es pot apreciar a la figura 7.3.2 a mesura que augmentà la concentració del sucre el valor absolut de la viscositat també augmentà, es a dir es va observar una relació directa entre ambdós paràmetres. Aquesta relació directa tornà a ser la inversa de la que s'esperaria d'un comportament newtonià, el qual es caracteritza per una disminució de la viscositat a mesura que augmenta la temperatura.

D'altra banda, pel que fa als valors absoluts de la viscositat, els valors màxims es van experimentar amb una concentració del 27% de glucosa, tot i que la dispersió que es va observar a diferents temperatures va ser major en el cas del Resource®. De fet, si es comparen les dues darreres figures es pot observar una variació entre 2067 i 5673 cP en el Resource® i entre 4120 i 6633 cP en el Densiter®.

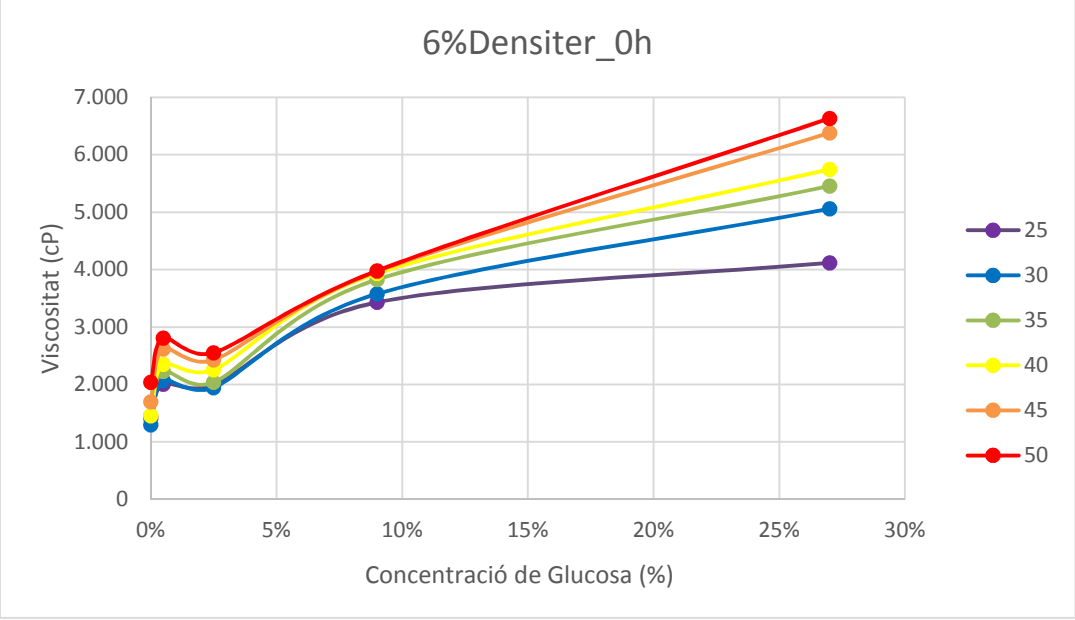


Figura 7.3.2 Comparació de les viscositats de Densiter® a diferents concentracions de glucosa i temperatura, mostres recentment preparades

A més a més de la variació dels valors absoluts de la viscositat quan la concentració de glucosa va ser del 27%, la comparació de les dues figures anteriors permet observar un comportament prou diferent en la forma de la gràfica i en els valors de la viscositat a una concentració de

glucosa nul·la. Així, la variació de la viscositat en funció de la temperatura va oscil·lar entre 1300 i 2040 cP en el cas de Densiter® i entre 1783 i 3820 cP en el cas de Resource®. Altra vegada, l'interval va ser superior en el cas de Resource®.

De la forma de les dues figures es desprèn que a baixes concentracions de glucosa hi ha una interacció entre aquest sucre i l'espessidor que cal estudiar en més detall. Ara bé, a partir del 2.5% de glucosa, la viscositat augmenta en funció de la concentració d'aquest hidrat de carboni, tendint a una relació lineal a mesura que augmentava la temperatura.

Pel que fa a l'espessidor SenseoPro® s'observà, de manera anàloga al que s'havia observat en els espessidors anteriors, que el valor de la viscositat augmentà en funció de la concentració de glucosa. A diferencia del que es va observar en el Resource® i en el el Densiter® la major variació en el valor absolut de la viscositat es va produir en les experiències realitzades sense glucosa. Així, en aquestes condicions, els valors de la viscositat van oscil·lar entre 8050 i 9333 cP. En canvi quan la concentració de glucosa va ser del 27% la viscositat oscil·lar entre 9833 i 10.200 cP (vegeu la figura 7.3.3.).

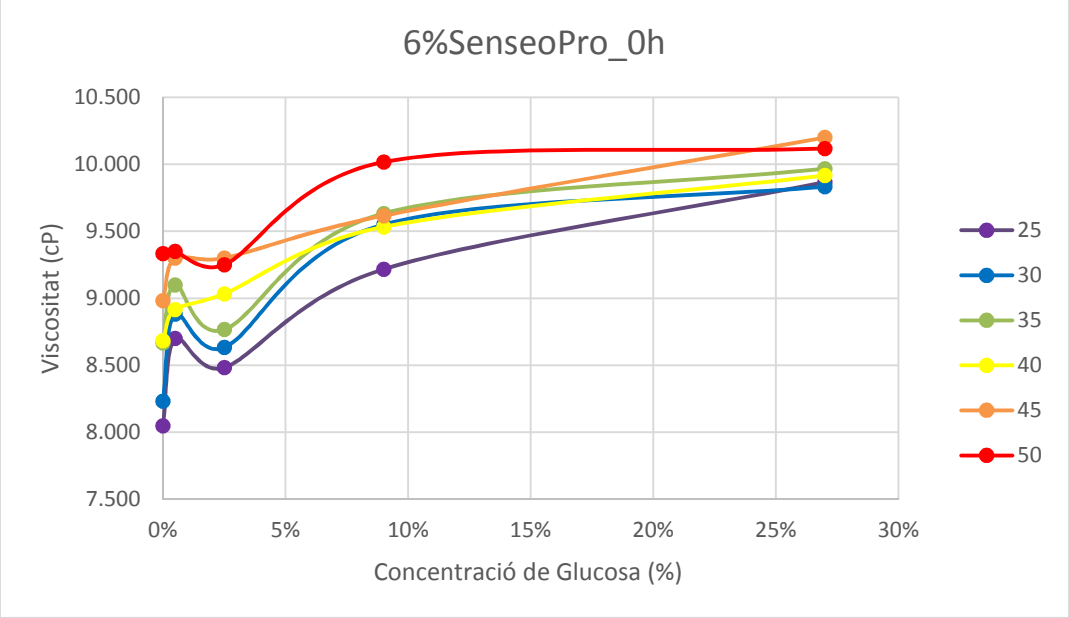


Figura 7.3.3 Comparació de les viscositats de SenseoPro® a diferents concentracions de glucosa i temperatura, mostres recentment preparades.

Tal com s'havia observat en el en el Resource® i en el el Densiter®, a concentracions baixes de sucre, s'experimentà una interacció entre l'hidrat de carboni i l'espessidor, la qual caldria estudiar més detalladament.

El fet que aquest espessidor tingué consistència púding molt superior al valor on es produeix el canvi de consistència mel-púding (1750 cP), fa que la variació de la viscositat i la influència de la glucosa no esdevingui una preocupació pel malalt de disfàgia.

A la vista que els espessidors varen tenir una similitud en la interacció amb la glucosa, es va procedir a estudiar el comportament i tendència per a cada concentració i realitzar una comparació entre els tres espessidors de manera més minuciosa.

Quan es compararen els tres espessidors, s'observà un comportament anàleg a baixes concentracions de glucosa.

Així, en la figura 7.3.4 es pot observar el comportament de les mostres recentment preparades a una concentració del 5%. Tant el Densiter® com el Resource® van presentar una gran variació en els valors de la viscositat, en funció de la temperatura, quan la concentració de glucosa fou màxima (27%). Ben al contrari, del comportament que experimentà SenseoPro®.

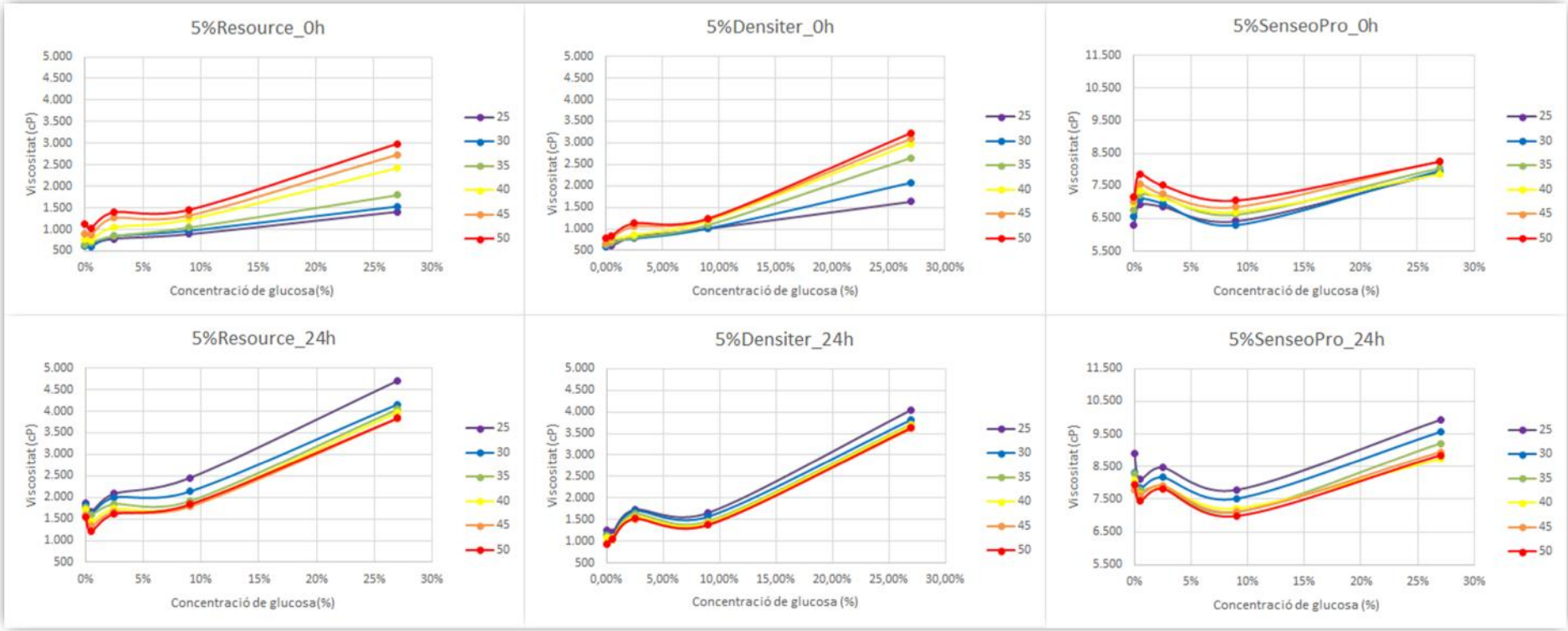


Figura 7.3.4 : Comparació dels espessidors a diferents concentracions de glucosa a les 0 i 24 hores, per un 5% de concentració d'espessidor.

D'altra banda, quan les mostres es van deixar reposar 24 h a l'interior d'un refrigerador (7ºC) i es van repetir les experiències, s'observà una variació significativament inferior en els valors de la viscositat, tant en el cas del Resource® com en Densiter®.

Així, pel cas del Resource®, s'observà una màxima variació de 1530 cP – 2990 cP a les 0 hores i 3840 cP – 4707 cP un cop les mostres es van deixar en repòs. De manera anàloga el Densiter® presentà una variació superior en les mostres recentment preparades (1630 cP -3226 cP) que en les passades 24 hores (3633 cP – 4046 cP). Ben al contrari, SenseoPro® va presentar un comportament diferent. De fet, es va produir una major variació en els valors de la viscositat passades 24 hores.

Si hom continua observant la figura 7.3.4 pot observar com els tres espessidors van modificar el seu comportament a les 24 h, de manera que el seu comportament fou newtonià (menor viscositat a major temperatura) i els valors obtinguts es van disposar en gràfiques pràcticament paral·leles.

A la figura 7.3.5 es mostra el comportament dels tres espessidors quan la seva concentració es fixà en un 4%.

Deixant de banda els valors absoluts de les viscositats (només SenseoPro® continuà en el grau de consistència púding) el comportament global va ser anàleg al que es descriu en la figura 7.3.4. En aquesta ocasió, però, el grau de consistència dels dos espessidors a base de blat de moro restà inferior. Així, tant Resource® com Densiter® van presentar els graus de consistència nèctar i mel, en les mostres acabades de preparar. Ara bé, quan les mostres es van deixar en repòs durant 24 h a l'interior d'un refrigerador i es van repetir les experiències, només es va observar aquest canvi de grau de consistència, en funció de la temperatura, en el cas del Densiter®.

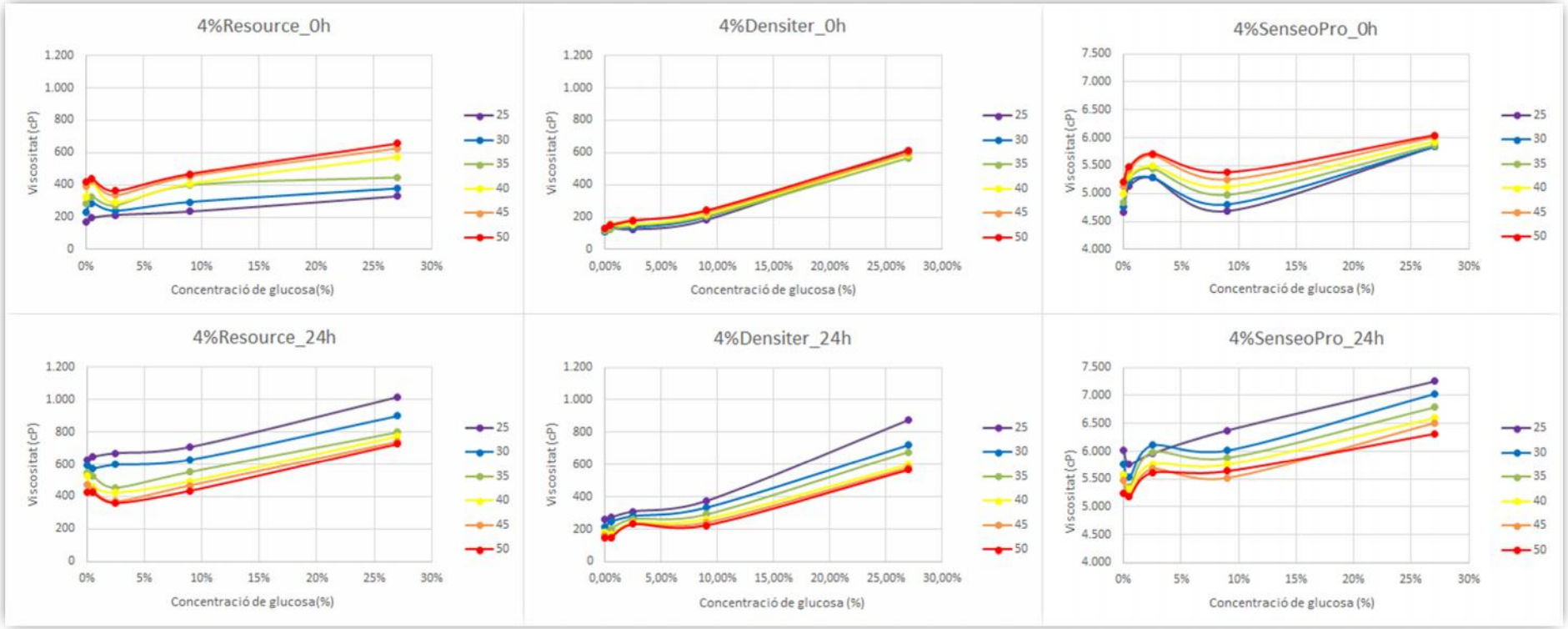


Figura 7.3.5 : Comparació dels espessidors a diferents concentracions de glucosa a les 0 i 24 hores, per un 4% de concentració d´espessidor.

Aquest canvi de grau de consistència, especialment amb Desnsiter®, sí que és important ja que pot afectar, i molt, a persones amb un grau de disfàgia moderat.

Si es comparen les mostres de Densiter® mesurades a les 0 i 24 hores, es pot afirmar que, en aquestes condicions, els resultats experimentals van presentar una major dispersió a les 24 h, tot i que el comportament ja va ser newtonià.

Les concentracions del 3% d'espessidor es troben en la figura 7.3.6, tant Resource® com Densiter® presentaren una transició entre els graus de consistència líquid fi i nèctar, a diferència del SenseoPro® que continuà en el grau de consistència púding.

El comportament de Resource® i Densiter® fou anàleg al que havien experimentat amb una concentració del 4%, de manera que els valor de la viscositat de les mostres acabades de preparar van ser més disperses en el cas del Resource®.

Cal dir, doncs, que el comportament observat per al Densiter® fou molt semblant al que s'havia observat quan la seva concentració havia estat del 4%, de manera que es confirmà la influència de la concentració de l'espessidor amb la interacció amb la glucosa, de manera que a major concentració de Densiter® major dispersió dels valors experimentals de la viscositat. A més a més, s'observà un diferent comportament entre el Resource® i el Densiter®, passades 24h. En aquesta ocasió, es mantingué una major dispersió en els valors de la viscositat de les mostres de Resource® (cal recordar que és mido modificat) així com una gran influència de la temperatura. Ben al contrari, en el cas de Densiter® tot i presentar un comportament newtonià (com el Resource®), la influencia de la temperatura pràcticament fou nul·la per a l'interval de concentració de glucosa comprés entre el 9 i el 27%.

Pel que fa a SenseoPro® es continuà observant la interacció entre la glucosa i l'espessidor a baixes concentracions de glucosa (0,5 i 3%) que s'havia detectat en la resta d'experiències anteriors.

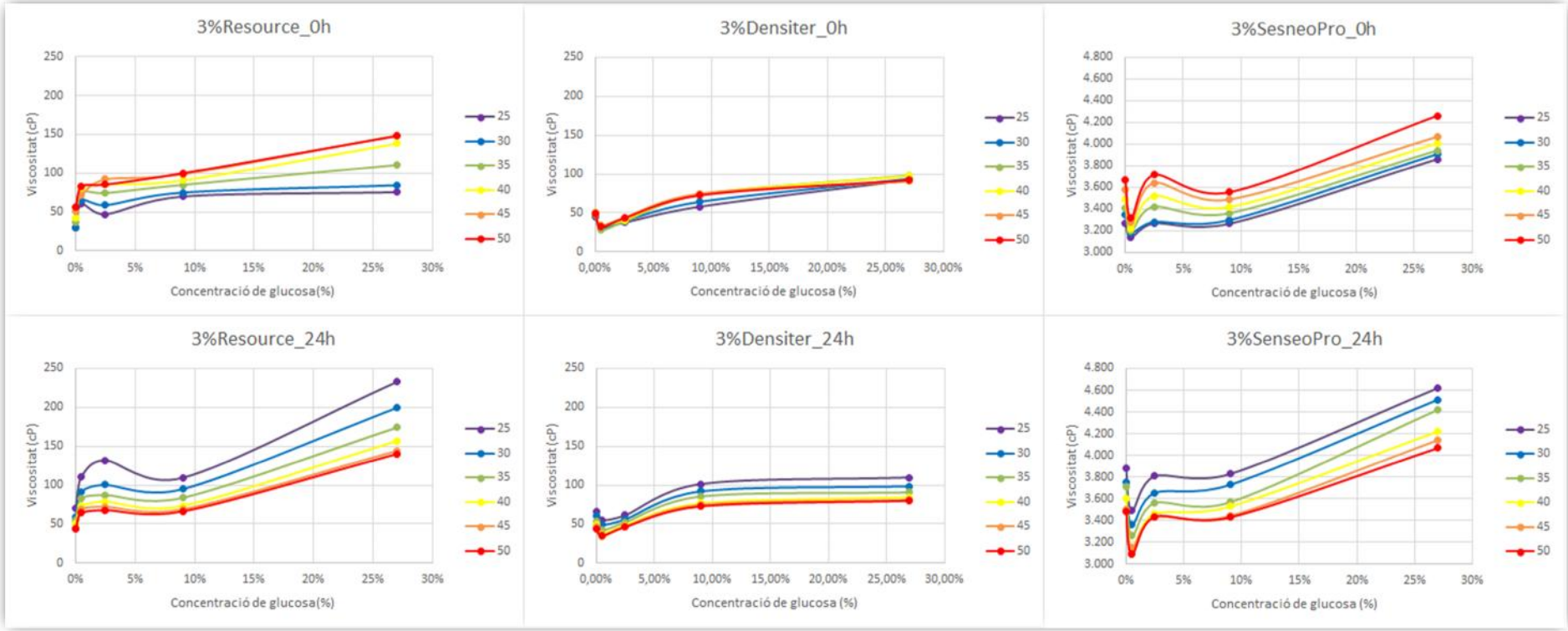


Figura 7.3.6 : Comparació dels espessidors a diferents concentracions de glucosa a les 0 i 24 hores, per un 3% de concentració d'espessidor.

A la figura 7.3.7, es recullen les experiències que es van realitzar amb una concentració de l'1% amb cadascú dels espessidors. En aquesta ocasió, els espessidors a base de midó de blat de moro (Resource® i Densiter®) van presentar un grau de consistència de líquid fi, en el ben entès que la interacció de la glucosa influí però no suficientment com per travessar la frontera amb el grau de consistència nèctar.

A diferència de les concentracions assajades anteriorment, el comportament de Resource® i Densiter® va ser newtonià en les mostres recentment preparades. Tot i que, aparentment, la dispersió de valors es major en el cas del Densiter®, pel que fa a les mostres recentment preparades, cal fer palès que, en valor absolut, la viscositat de les diferents mostres pràcticament és constant. De fet, cal fixar-se en el valor de l'escala de l'eix d'ordenades per tal de poder apreciar aquesta afirmació. És més, a efectes pràctics, no hi ha diferència amb els valors de la viscositat que es van mesurar en les diferents mostres, després de 24 h de repòs a l'interior d'un refrigerant.

D'altre banda, l'espessidor SenseoPro® presentà un grau de consistència de mel, es a dir, per primera vegada, respecte les experiències anteriors, va baixar del grau de consistència púding.

Tot i restar en grau de consistència mel tant en les experiències realitzades amb les mostres recentment preparades com en les que es van deixar en repòs durant 24 h a l'interior d'un refrigerador, el seu comportament va ser sempre newtonià. Aquest fet permet afirmar que és la concentració de l'espessidor qui determina el comportament newtonià o no de la mostra assajada. De manera més estricta, es pot afirmar que qui determina aquest comportament és la interacció entre l'espessidor i la glucosa, per bé que l'espessidor és qui marca, de manera prioritària, el comportament global.

Aquest comportament que es va observar per a una concentració de l'1% d'espessidor es va veure confirmat per a una concentració del 0,5%. Així, d'entrada, el comportament newtonià s'observà en els tres espessidors tant en les mostres recentment preparades com en les mostres deixades 24 h en repòs.

D'altra banda, l'espessidor SenseoPro® va restar en la majoria de les experiències en el grau de consistència nèctar. Només quan la concentració de glucosa fou del 27% va arribar a mel, a temperatures inferiors als 40ºC (vegeu la figura 7.3.8.).

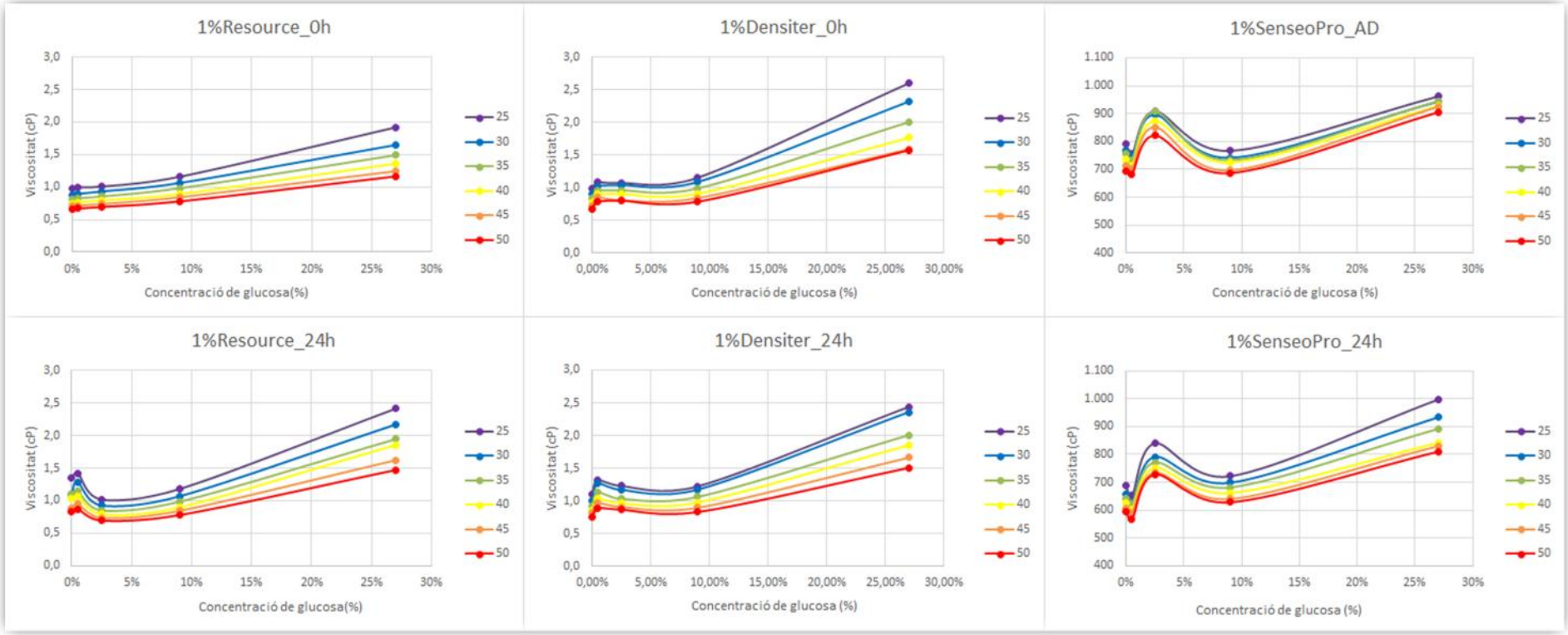


Figura 7.3.7 : Comparació dels espessidors a diferents concentracions de glucosa a les 0 i 24 hores, per un 1% de concentració d'espessidor.

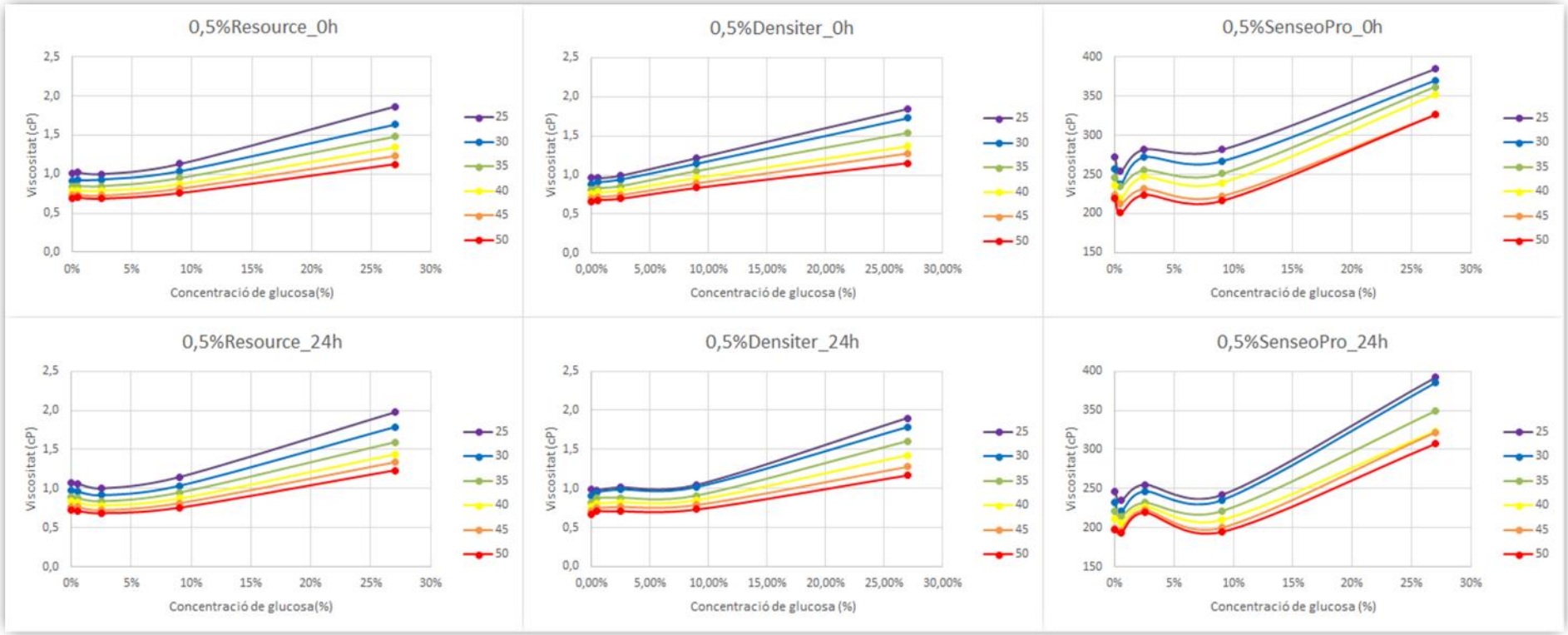


Figura 7.3.8 : Comparació dels espessidors a diferents concentracions de glucosa a les 0 i 24 hores, per un 0.5% de concentració d'espessidor.

Quan es comparen les figures 7.3.7 i 7.3.8 es pot observar l'escassa influència dels dos espessidors a base de midó de blat de moro en els valors experimentals de la viscositat. De fet, el paràmetre principal és la temperatura. És més, els valors són, pràcticament, idèntics en les experiències realitzades amb 24h de diferència.

A diferència del comportament de Resource® i Densiter®, el de SenseoPro® va determinar el grau de consistència (nèctar), tot i que la interacció de la glucosa va determinar que el valor de la viscositat augmentés a mesura que augmentava la seva concentració i només quan la temperatura va superar els 40ºC el grau de consistència resta en nèctar, per a valors del 27% de glucosa.

A la vista de que el comportament dels espessidors a baixes concentracions podia induir canvis en el grau de consistència i que, a més a més, s'havien detectat comportaments no explicats, es va optar per realitzar una ampliació de l'estudi. Així, es van realitzar proves canviant les concentracions de glucosa (0,5%, 1.5%, 2.5%, 4%, 6%, 9%, 12%, 15%).

D'altra banda, en el cas del Densiter® i Resource®, es van seleccionar les concentracions de 3% i 4%, ja que es trobaven entre líquid fi-nèctar i nèctar-mel, respectivament. Com que SenseoPro® presentava un elevat grau de consistència (púding a partir del 3%) es va fixar la seva concentració en un 0.5% (grau de consistència de nèctar-mel).

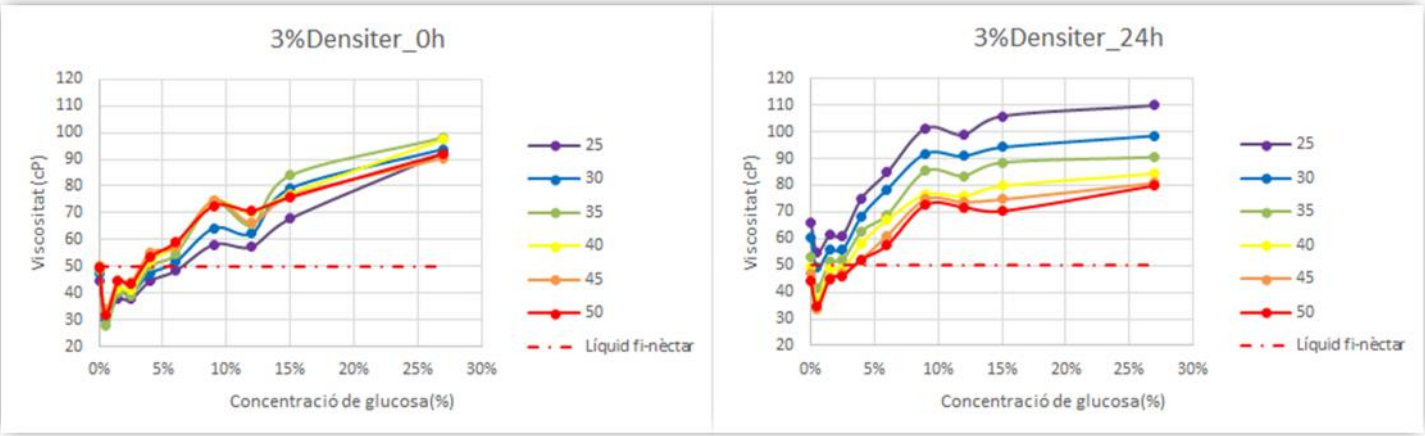


Figura 7.3.9 : Detall de la viscositat del 3% de Densiter® en les diferents concentracions de glucosa compreses en interval de temperatura de 25 a 50ºC.

A la figura 7.3.9 es recullen les experiències que es van fer amb Densiter® al 3%. D'entrada, es reproduí el comportament no newtonià en les mostres recentment preparades, es a dir, a major temperatura major fou el valor absolut de la viscositat. Aquest comportament, però, varià completament amb les mostres que es van deixar reposar dins un refrigerador durant 24h, les quals presentaren un comportament newtonià.

L'existència d'una interacció entre la glucosa i l'espessidor es va tornar a posar en evidència, especialment a baixes concentracions de glucosa. Tant en les mostres recentment preparades com en les que es van deixar en repòs 24h el valor absolut de la viscositat presentà una davallada quan la concentració de glucosa es va fixar en 1,5%, respecte al valor de l'experiència inicial, en la que no hi havia gens d'aquest sucre.

D'altra banda, el valor de la viscositat en l'experiència inicial restà per sota del límit entre els graus de consistència líquid fi – nèctar, en el cas de les mostres recentment preparades; cosa que no succeí en les mostres que es van deixar reposar 24h. En aquesta darrera ocasió el comportament newtonià (menor valor de viscositat a major valor de temperatura) va fer que les experiències realitzades per sota de 40ºC presentessin un valor inicial de viscositat situat en el grau de consistència nèctar.

Superat aquest punt d'inflexió, la tendència que es va observar en totes les experiències va ser d'un augment de la viscositat a mesura que augmentava la concentració de glucosa. Ara bé, els valors experimentals obtinguts amb les mostres recentment preparades s'ajustaren millor a una resposta lineal que no pas els que es van obtenir amb les mostres després d'un període de repòs de 24h. Tot i això, en la totalitat de les experiències es va observar un segon punt d'inflexió amb la concentració de glucosa del 12%.

La confirmació de que es podia ajustar a una resposta lineal els valors de la viscositat de les proves realitzades amb les mostres recentment preparades es confirmà incloent els valors que s'havien obtingut amb la concentració del 27% de glucosa en les sèries anteriors.

La incorporació d'aquest valor en aquestes noves experiències va confirmar, d'altra banda, el comportament experimentat per les mostres reposades 24h: l'escassa diferència en els valors de viscositat de les mostres que contenien un 9 i un 27% de glucosa (vegeu figura 7.3.6.).

Així, doncs, salvant les irregularitats dels valors experimentals (que són mereixedores d'un estudi més exhaustiu), les mostres recentment preparades s'ajusten a una resposta lineal. En canvi, en passar 24h de repòs, la resposta s'ajustà a una fase inicial lineal (fins al 9% de glucosa) i, a partir d'aquest valor, entrar en una fase de saturació, pel que fa al valor de la viscositat.

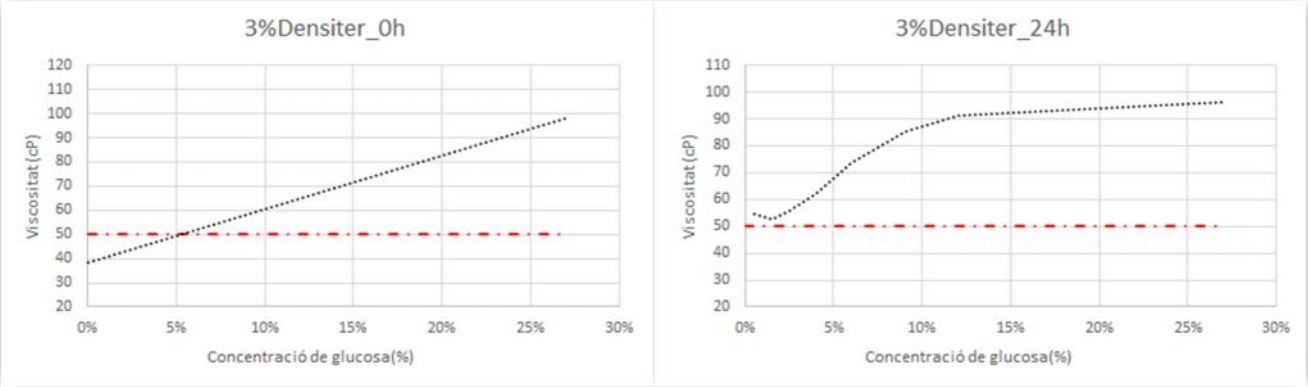


Figura 7.3.10 : Representació esquemàtica de comportament del Densiter® al 3% en mostres recentment preparades i deixades a 7ºC durant 24 hores.

Considerant models teòrics, es pot afirmar que la resposta de les mostres recentment preparades s'aproxima a un comportament lineal, en el que el valor de la viscositat és funció de la concentració. Si no fos pel comportament invers de la viscositat en funció de la temperatura seria el comportament típic d'un fluid newtonià (cosa que no és).

D'altra banda, la resposta després de 24h de repòs és newtoniana, pel que fa als valors de la viscositat en funció de la temperatura. En canvi l'ajustament de la viscositat en funció de la concentració de glucosa s'ajusta a un comportament pseudo-plàstic (vegeu figura 3.2.1.).

A la figura 7.3.11 es poden veure els resultats obtinguts amb una concentració del 4% de Densiter®.

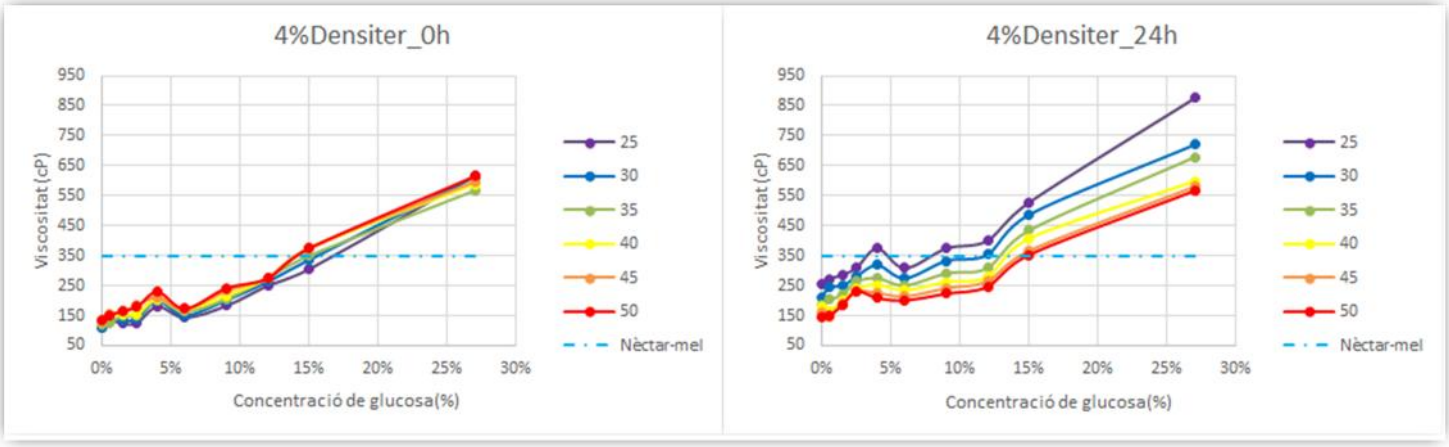


Figura 7.3.11 Detall de la viscositat del 4% de Densiter® en les diferents concentracions de glucosa compreses en interval de temperatura de 25 a 50ºC.

A diferència de la figura 7.3.5, en aquesta ocasió s'ha delimitat clarament la separació entre els graus de consistència nèctar-mel. Es pot comprovar que totes les sèries experimentals

presenten una viscositat inicial (0% de glucosa) en grau de consistència nèctar i que a mesura que augmenta la concentració de glucosa també ho fa la viscositat. De fet, en les experiències realitzades amb mostres recentment preparades el traspàs de nèctar a mel es produeix a una concentració de glucosa del 15%. Es constata, doncs, l'escassa influència de la temperatura en el comportament de l'espessidor (cosa que ja havia estat palesa en la figura 7.3.5.), tot i que el comportament de la viscositat en funció de la temperatura és no newtonià.

Aquesta escassa influència de la temperatura sobre el comportament de l'espessidor canvià en les sèries experimentals realitzades amb mostres deixades reposar 24h. Altra vegada s'observa el canvi de comportament dels valors de la viscositat en funció de la temperatura, de manera que es passà d'un comportament no newtonià a un de newtonià i, a més a més, s'observà una considerable diferència entre els valors experimentals de les diferents sèries, diferència que s'accentuà a mesura que augmentà la concentració de glucosa..

D'altra banda, en aquesta concentració d'espessidor (Densiter® al 4%) es va observar un punt d'inflexió en els resultats experimentals, tan en les sèries realitzades amb mostres recentment preparades com en les que s'havien deixat reposar 24h. Ara bé, a diferència del punt d'inflexió que s'havia observat amb una concentració de Densiter® al 3%, en aquesta ocasió s'observà un màxim quan la concentració de glucosa fou del 4% i no s'observà cap punt d'inflexió al 12%.

Deixant de banda la inflexió observada a una concentració de glucosa del 4%, les dades experimentals s'ajustaren a una resposta lineal, especialment en les sèries de mostres recentment preparades, essent aquest comportament anàleg al que s'havia observat en la concentració Densiter® al 3%. A més a més, els valors observats en les sèries de les mostres deixades en repòs durant 24h presentaren una clara tendència cap a una resposta lineal, es a dir, no s'observà la saturació en el valor de la viscositat que es pot apreciar en la figura 7.3.9.

Quan es tornà a fer les diferents sèries de concentració variable de glucosa a les diferents temperatures seleccionades es tornà a observar una major diferència entre els valors obtinguts amb Resource®, tal com es pot apreciar a la figura 7.3.12.

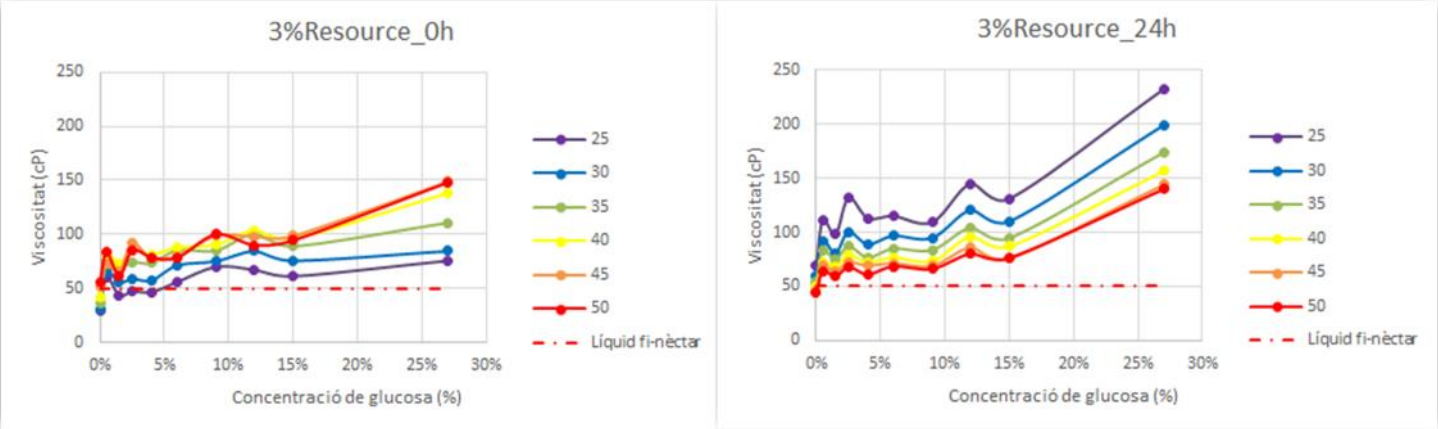


Figura 7.3.12 : Detall de la viscositat del 3% de Resource® en les diferents concentracions de glucosa compreses en interval de temperatura de 25 a 50ºC.

D'altra banda, els valors obtinguts amb les diferents sèries experimentals van restar situades just per sobre de la separació entre els graus de consistència líquid fi- nèctar, tant si eren mostres recentment preparades com mostres que s'havien deixat en repòs durant 24h. Altra vegada el comportament respecte a la temperatura passà de no newtonià (mostres recentment preparades) a newtonià (mostres deixades en repòs durant 24h). A més a més, la viscositat presentà valors absoluts majors a les 24h de repòs.

Respecte al valors que s'havien obtingut amb Densiter® al 3%, el Resource® al 3% presentà un comportament diferent. D'entrada, les mostres recentment preparades presentaren un comportament irregular a concentracions de glucosa baixes (entre 0,5- 2,5%), que es pogué observar de manera més nítida en les mostres reposades durant 24h.

Els valors a concentració del 9% mostraren un punt d'inflexió en les mostres recentment preparades el qual es desplaçà fins al 12% en les mostres mantingudes en repòs.

Quan s'incorporà els valor de la viscositat al 27% de glucosa (obtingut en les sèries inicials) s'observà que el Resource® al 3% podia ajustar-se a una resposta lineal (prescindint dels valors anòmals). En canvi, en considerar les mostres deixades en repòs durant 14h a l'interior d'un refrigerador a 7ºC aquesta simplificació no es va poder fer.

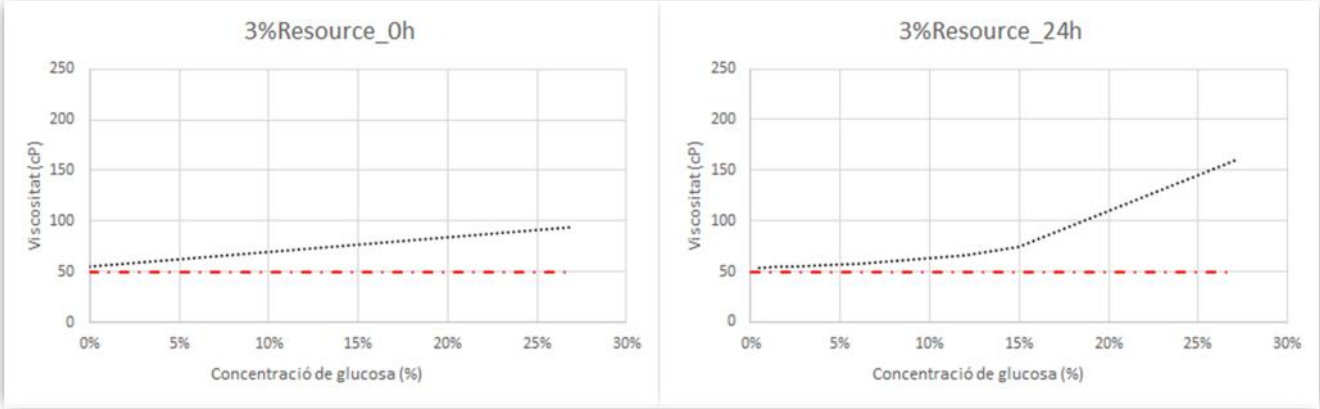


Figura 7.3.13 : Representació esquemàtica de comportament del Resource® al 3% en mostres recentment preparades i deixades a 7ºC durant 24 hores

Considerant models teòrics, es pot afirmar que la resposta de les mostres recentment preparades del Resource® al 3% s'aproxima a un comportament lineal, en el que el valor de la viscositat és funció de la concentració. Si no fos pel comportament invers de la viscositat en funció de la temperatura seria el comportament típic d'un fluid newtonià (cosa que no és).

D'altra banda, la resposta després de 24h de repòs és newtoniana, pel que fa als valors de la viscositat en funció de la temperatura. En canvi l'ajustament de la viscositat en funció de la concentració de glucosa s'ajusta a un comportament dilatant (vegeu figura 3.2.1.). Així, doncs, es pot considerar que el comportament, passades 24h es diferent per a una concentració d'espessidor al 3%. Cal saber si aquest diferent comportament es pot atribuir o no a que el Resource® és un midó de blat de moro que ha estat modificat, a diferència del Densiter® que no ho ha estat.

Tot seguit es mostren les experiències realitzades amb una concentració de Resource® al 4%. Tal com es pot veure a la figura 7.3.14, el comportament que es va posà de manifest en la concentració del 3% s'intensificà. A més a més, en les mostres recentment preparades, es pot observar com el segon punt d'inflexió presentà el seu màxim a una concentració del 12% de glucosa per a temperatures inferiors a 40ºC, desplaçant-se al 6% a partir dels 40ºC.

D'altra banda, el grau de consistència de les mostres recentment preparades traspassaren la frontera nèctar-mel en funció de la temperatura. Així, doncs, com que els valors de la viscositat responien directament al valor de la temperatura, es va observar una consistència nèctar fins els 30ºC i una consistència mel per sobre d'aquest valor.

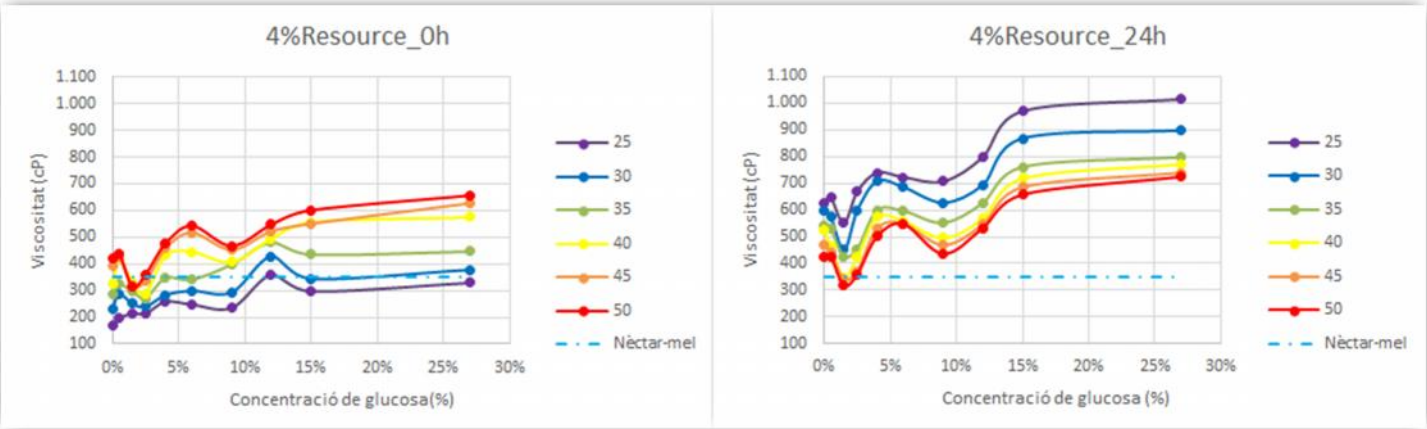


Figura 7.3.14 : Detall de la viscositat del 4% de Resource® en les diferents concentracions de glucosa compreses en interval de temperatura de 25 a 50ºC.

Quan s'avaluaren les mostres reposades 24h el grau de consistència va ser, a totes les temperatures, mel, per bé que, una vegada més, passat quest període de repòs la relació entre viscositat i temperatura va ser el teòricament esperat (disminució de la viscositat en augmentar la temperatura).

Quan es volgué aplicar un model teòric, es va observar que si s'ajustava un model lineal al comportament de les mostres recentment preparades, el valor del pendent era menor. De fet, el valor final de la viscositat (vegeu figura 7.3.12.) en el cas del Resource® al 3% era tres vegades la inicial a 50ºC (300%). En canvi, amb una concentració del 4% l'augment va ser de l'ordre del 50%.

Pel que fa al comportament de les mostres deixades reposar 24h, no es va poder ajustar un model teòric als resultats experimentals. Tot i així a partir del 15% sembla que la viscositat esdevingui gairebé constant, comportament que es podria associar a un model pseudo-plàstic.

Per tant, depenent de la concentració d'espessidor s'observa un tipus de comportament teòric o un altre, aquest fet remarca la inestabilitat del Resource® a aquestes concentracions.

En el cas de SenseoPro® només es va estudiar la concentració de 0.5%, ja que aquest espessidor presenta uns valors de viscositat molt més elevats que els observats amb Resource® i Densiter® a igualtat de concentracions.

Es trià aquesta concentració a fi i efecte de poder estudiar el grau de consistència nèctar. Tot i que la major part de les experiències restaren dins d'aquest estat de consistència, quan la concentració de glucosa fou del 27% es traspassà la frontera nèctar-mel.

A diferència dels altres espessidors a base de midó de blat de moro (Resource® i Densiter®) aquest presentà un comportament newtonià, pel que fa a la relació entre la temperatura i la viscositat. Això és, a major temperatura, menor viscositat (vegeu la figura 7.3.15.)

Tenint en compte el comportament general d'aquet espessidor, la seva aplicació difícilment serà per a regular graus de consistència per sota del púding. Tot i això, caldria estudiar amb més detall el seu comportament irregular en els graus nèctar i mel. Fins aquest moment, es pot afirmar que, en tots els casos, s'ha mantingut dins el grau de consistència nèctar fins a una concentració del 15% de glucosa. De totes maneres, al igual que en els espessidors a base de blat de moro, les majors irregularitats es troben per sota d'una concentració del 5% de glucosa.

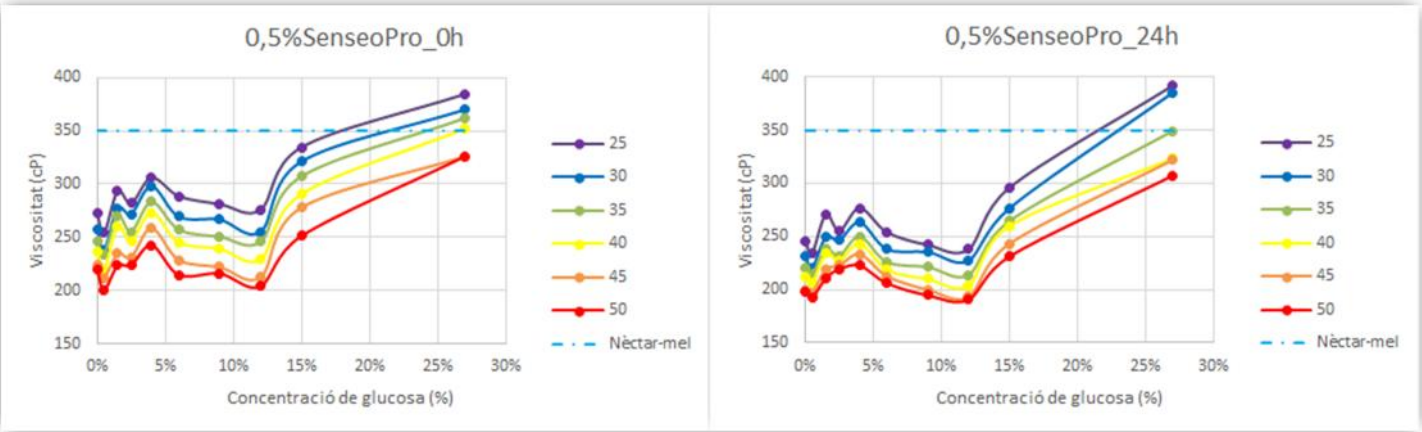


Figura 7.3.15 Detall de la viscositat del 0.5% de SenseoPro® en les diferents concentracions de glucosa compreses en interval de temperatura de 25 a 50ºC.

7.3.1. Gelatina

En les gelatines s'observà una tendència general, al augmentar la concentració de glucosa s'incrementava la viscositat, però al tractar-se d'un aliment el qual no és estable, una petita variació de la temperatura podia suposar un gran canvi en la viscositat.

Abans de comentar les gràfiques s'ha de tenir en compte en tot moment que mesurar la viscositat d'un sòlid com és el cas de la gelatina a temperatures baixes i mesurar l'interval de transició (25ºC-30ºC) on apareixen agrupacions sòlides i líquides ha estat una tasca difícil, per tant poden haver errors en la viscositat en les temperatures baixes o en les de l'estat de transició.

Degut a que hi ha un canvi molt gran en la viscositat i veure exactament el que succeeix en temperatures pròximes a la del cos humà es representà en les figures solament les temperatures

superiors a 30ºC, ja que a temperatures inferiors a aquesta no es podia apreciar en detall, exceptuant a concentracions baixes de gelatina (0.5% i 1%) que es va poder incloure la temperatura de 25ºC.

A la vista que deixar en repòs durant 24 h les mostres de gelatina no implicà un canvi significatiu en el comportament, només es mostren les gràfiques corresponents a les mostres recentment preparades.

Tal com es pot observar en la figura 7.3.1.1 a concentracions baixes de gelatina (0,5 i 1%) les diferents mostres restaren en el grau de consistència líquid fi. A més a més del comportament newtonià respecte la temperatura, la variació del valor de la viscositat seguí un model pràcticament lineal a 25ºC amb una concentració 0,5% de gelatina. A temperatures superiors es manifestà un lleuger punt d'inflexió a una concentració del glucosa del 2,5%.

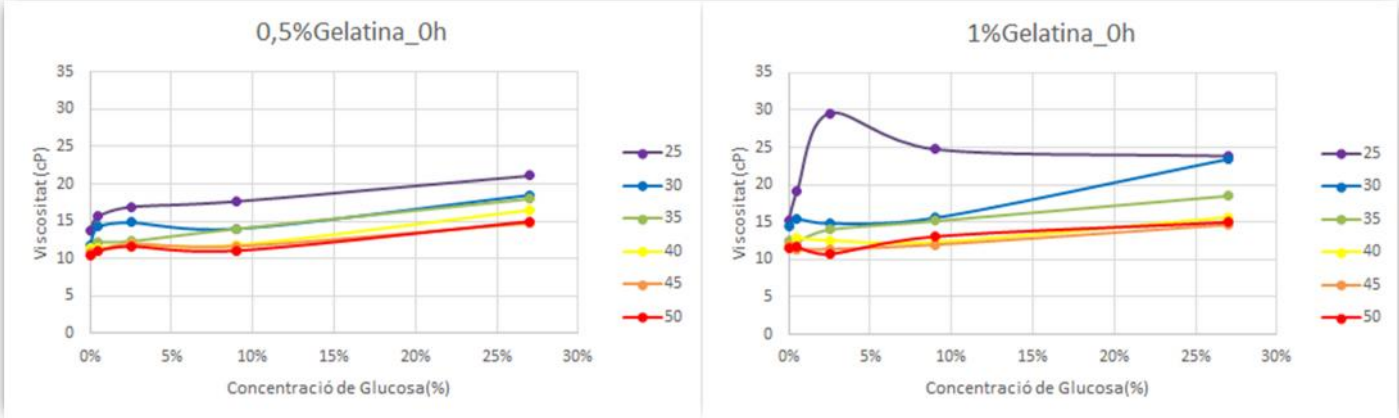


Figura 7.3.1.1. Viscositat a diferents concentracions de glucosa i temperatura compresa entre 25 i 50ºC per concentracions de 0.5% i 1% de gelatina

Quan la concentració de gelatina passà a l'1% s'observa, altra vegada a una concentració de 2,5% de glucosa, un considerable punt d'inflexió només a la temperatura de 25ºC. L'aparició d'aquest punt d'inflexió es tornà a observar amb una concentració de gelatina del 2 i del 3% i a una concentració de glucosa del 2,5%.

Cal esmentar, però, que en aquestes condicions (vegeu la figura 7.3.1.2.) les representacions gràfiques que es mostren van de 30 a 50ºC. En el cas d'una concentració de gelatina del 2% el grau de consistència fou líquid fi a temperatures superiors als 30ºC, amb un comportament perfectament lineal per sobre dels 40ºC. Als 30ºC s'observà un punt d'inflexió a una concentració de glucosa del 2,5%. Aquest comportament resultà anàleg al que s'havia observat en les experiències realitzades a 25ºC amb una concentració de gelatina de l'1% amb la

diferència que, en aquesta ocasió s'arribà a traspassar la frontera entre els graus de consistència líquid fi-nèctar quan la concentració de glucosa fou del 27%

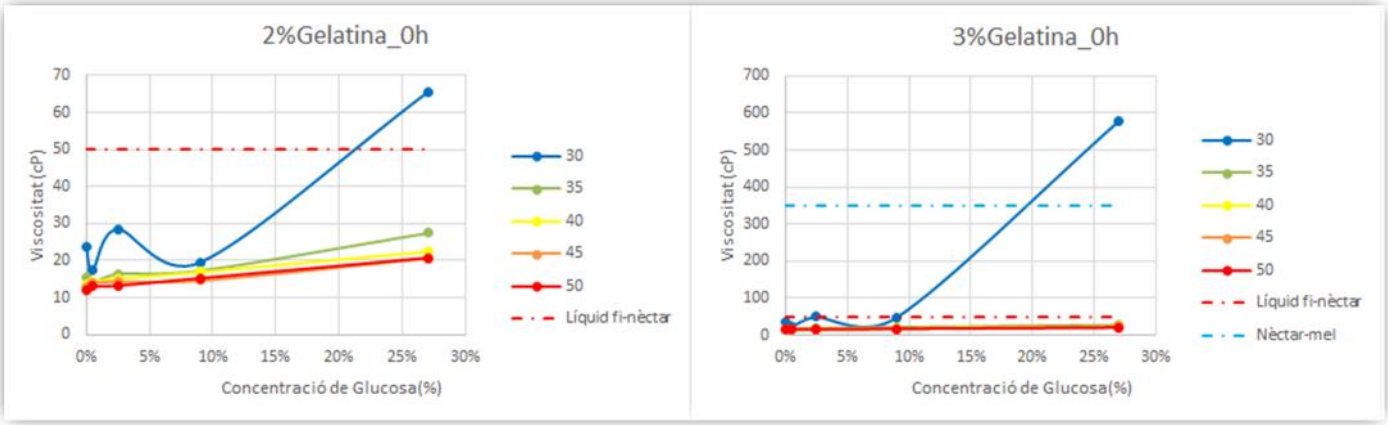


Figura 7.3.1.2. Viscositat a diferents concentracions de glucosa i temperatura compresa entre 30 i 50ºC per concentracions de 2% i 3% de gelatina

Aquest fenomen es tornà a observar quan s'augmentà la concentració de gelatina al 3% per bé que en aquesta ocasió a una temperatura de 30ºC la viscositat arribà fins el grau de consistència mel, quan la concentració de glucosa fou del 27%.

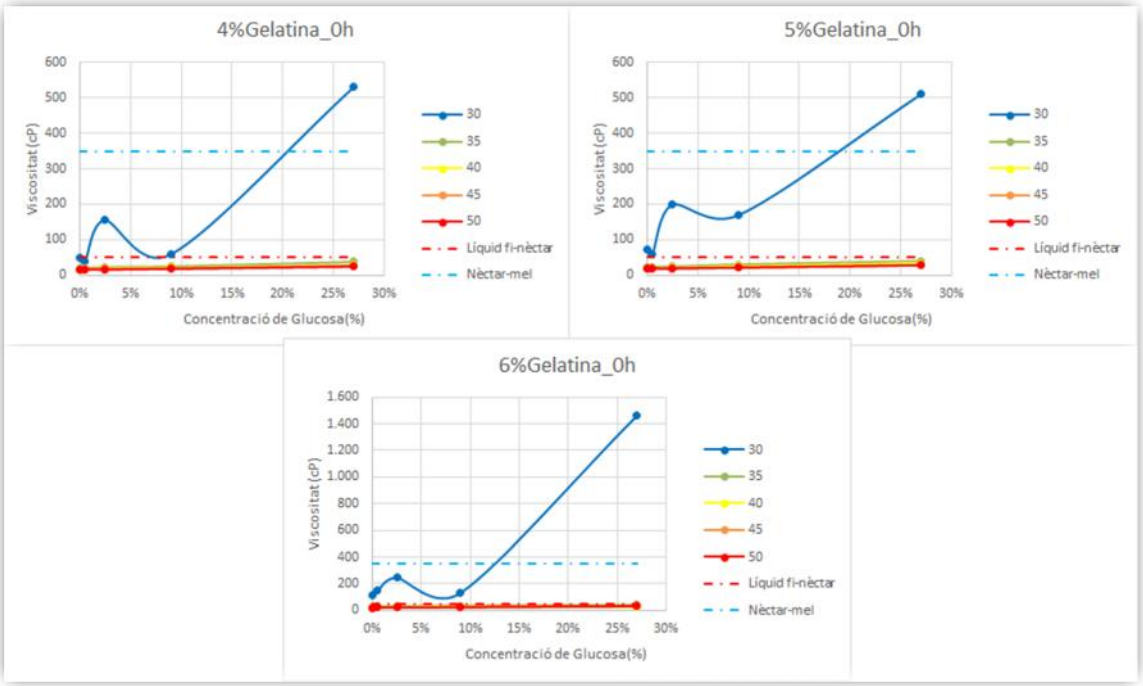


Figura 7.3.1.3. Viscositat a diferents concentracions de glucosa i temperatura compresa entre 30 i 50ºC per concentracions de 4%, 5% i 6% de gelatina

Observant les gràfiques que es recullen a la figura 7.3.1.2 es pot comprovar com, en aquestes condicions extremes, l'augment de un 1% en la concentració de gelatina comporta augmentar de l'ordre de 10 vegades el valor de la viscositat.

Ben al contrari, les experiències realitzades per sobre dels 35ºC, a una concentració del 3% de gelatina, restaren en el grau de consistència líquid fi, la qual cosa posà en evidència la gran influència de la temperatura en el comportament de la gelatina. Aquest comportament també s'observà quan la concentració de gelatina fou del 4; 5 i 6%. De fet, els valors observats amb 3; 4 i 5% de gelatina van ser pràcticament els mateixos. Només quan la concentració de la gelatina fou del 6% es traspassa la frontera mel-púding, en la sèrie d'experiències realitzades a 30ºC, tal com es pot observar a la figura 7.3.1.3.

A la vista de que a les concentracions altes de gelatina no es pot observar correctament el comportament de la viscositat a les temperatures inferiors a 35ºC, degut a la alta viscositat que presenta la gelatina a 30 ºC i a una concentració de 27% de glucosa, es va procedir a ampliar les gràfiques detallant l'interval de temperatures de 35-50ºC.

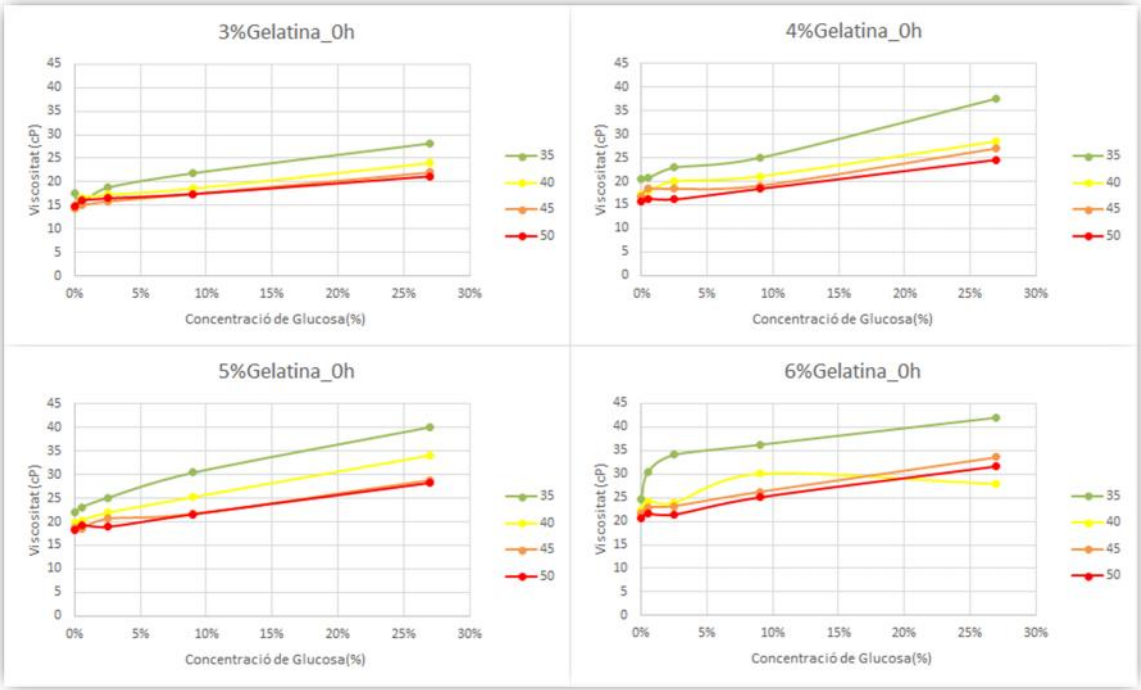


Figura 7.3.1.4. Viscositat a diferents concentracions de glucosa i temperatura compresa entre 35 i 50ºC per concentracions de 3%,4%, 5% i 6% de gelatina

De fet, si es comparen les gràfiques de la figura 7.3.1.4 amb les recollides en la figura 7.3.1.2 es pot comprovar com per sobre de 35ºC la influència de la glucosa es pràcticament inexistent

sobre el grau de consistència de les dissolucions preparades (la totalitat de les dissolucions estan dins el grau de consistència líquid fi).

A les figures següents es pot veure de manera visual el canvi de consistència experimentat en la gelatina, la primera imatge fa referència a les tres concentracions més altes de gelatina a una temperatura de 10ºC, la segona a una temperatura a 25ºC que pertany a l'estat de transició.

Figura 7.3.1.5. Imatge de la gelatina a 10ºC, concentracions del 4%, 5% i 6%

Figura 7.3.1.6.: Imatge de la gelatina a 25ºC, concentracions del 4%, 5%, 6%

7.4. Efecte del repòs

A totes les mostres, es va observar una diferència significativa en el valor de la viscositat, entre les mostres recentment preparades i un cop deixades a 7ºC durant 24 hores. Aquesta més accentuada en el cas dels espessidors constituïts per blat de moro, és a dir Densiter® i Resource®.

Cal remarcar que tots els espessidors al passar les 24 hores de repòs, presentaven un comportament genèric, que fou:

- Comportament newtonià, al incrementar la temperatura disminuïa la viscositat. Aquest fet va ser interpretat com l'estabilitat entre espessidor i matriu, de manera que s'establia una completa hidratació de l'espessidor.
- Augment de la viscositat respecte a la mesura efectuada a les 0 hores, exceptuant concentracions baixes d'espessidor amb consistència petita.

7.5. Precipitació

Algunes mostres van presentar una estratificació passats uns minuts de la preparació emprant com a dissolvent aigua destil·lada. Aquest efecte es va contrarestar agitant la mostra, just abans de fer la mesura de la viscositat.

Per desgràcia en casos reals, quan un malalt de disfàgia s'està alimentant amb solucions alimentaries de viscositat controlada, aquesta limitació pot tenir efectes fatals ja que si no es realitza una agitació cada vegada que procedeix a ingerir, podria ocórrer que els primers glops fossin d'un grau de consistència menor al diagnosticat, de manera que l'aliment anés cap al pulmó.

Aquest fet es va observar en els casos dels espessidors de Densiter® i Resource®, de manera anàloga a com s'havia observat en un treball realitzat anteriorment [Alba, Mercè(2014)]. Aquesta precipitació es va observar més clarament en els casos de baixa concentració d'espessidor (entre 0.5% fins a 3%). De fet, a mesura que el grau de consistència fou major aquest efecte visual es feu menor, arribant a ser gairebé imperceptible en un grau de consistència púding.

Quan es substituí l'aigua destil·lada per les diferents dissolucions de sucre, s'observa el mateix comportament, de manera que es pot afirmar que el sucre no influeix ni ajuda a la homogeneïtzació de l'espessidor.

A les figures 7.5.1; 7.5.2 i 7.5.3 es mostra un recull d'experiències.

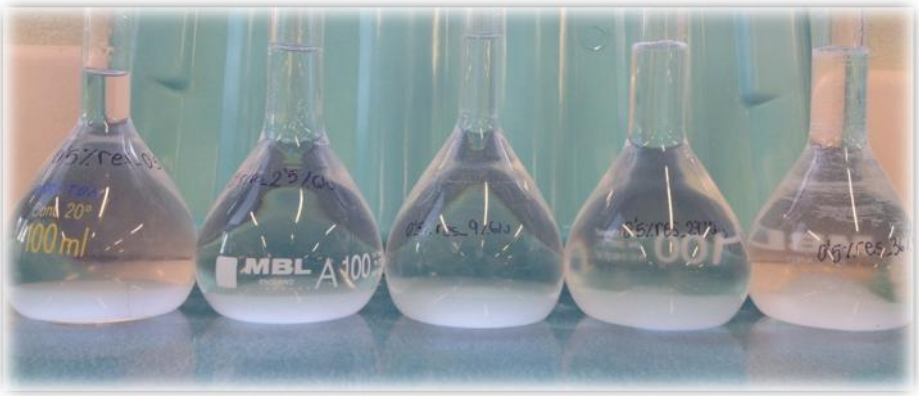


Figura 7.5.1. Preparacions de Resource® al 0,5% per a concentracions de glucosa de 0.5%, 2.5%, 9%, 27%, 36% , passats 15 minuts de la preparació

Figura 7.5.2 : Preparacions de Densiter® al 0,5% per a concentracions de glucosa de 0.5% i 2.5%, passats 15 minuts de la preparació

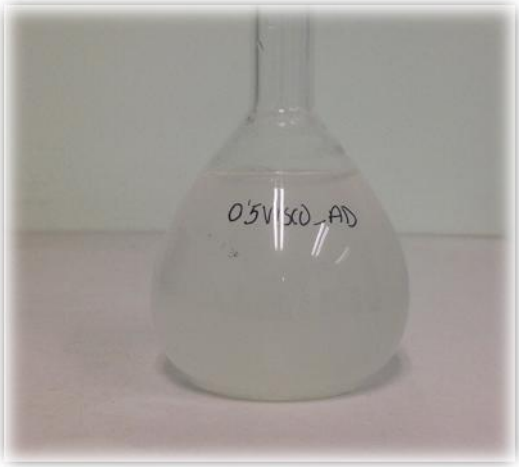


Figura 7.5.3 : Preparació de SenseoPro® al 0,5% , passats 15 minuts

L'espessidor SenseoPro® va presentar un grau de consistència molt superior respecte a Resource® i Densiter® a qualsevol concentració i les seves preparacions van ser més homogènies

CAPÍTOL 8 : Conclusions

- El comportament dels espessidors ve determinat pels diferents components que el constitueixen; en els casos estudiats : Densiter®(midó de blat de moro), Resource® (midó de blat de moro modificat), SenseoPro®(goma guar, goma xantana, maltodextrina).
- És recomanable una homogeneïtzació de les mostres just en el moment abans de consumir-les, pel que fa als espessidors comercials a base de midó de blat de moro, ja que presenten estratificació. D'aquesta forma es pot evitar problemes de consum d'un líquid fi que pot ser aspirat a pulmó.
- Els valors de la viscositat experimenten un increment al augmentar la concentració de glucosa, aquest augment varia en funció de l'espessidor.

8.1 Conclusions espessidors de midó de blat de moro (Densiter® i Resource®)

- Es pot arribar a aconseguir tots els graus de consistència segons la concentració i temperatura;
  - Consistència púding 6% d'espessidor.
  - Consistència mel 5% d'espessidor.
  - Consistència nèctar 4% d'espessidor, en el cas del Resource® es pot adquirir aquesta consistència un cop passat el repòs en una concentració del 3%.
  - Consistència de líquid fi per concentracions inferiors al 3%.
- Augment de la viscositat de forma exponencial al incrementar la concentració d'espessidor.
- En presencia d'aigua destil·lada els valors experimentals de la viscositat són superiors en l'espessidor Resource® respecte l'espessidor Densiter® .
- Els valors de la viscositat en les mostres recentment preparades, presenten un increment al experimentar un augment de la temperatura. Succeeix el contrari passades les 24 hores en repòs.
- S'experimenta un augment dels valors absoluts de la viscositat, a totes les concentracions d'espessidor, al ser mesurades a les 24 hores.
- Al afegir una concentració de glucosa, l'espessidor presenta a concentracions baixes de sucre una interacció amb aquest que cal estudiar en detall, ja que s'observen petites oscil·lacions en la viscositat.

- El Densiter® experimenta, en termes de valor absolut de la viscositat, una influència i creixement més gran davant la concentració de sucre.
- El Resource® experimenta, en termes de valor absolut de la viscositat, una influencia i augment més gran en incrementar la temperatura.
- A concentracions altes d'espessidor, com més increment en la concentració de la glucosa més gran és el salt de variació del valor de la viscositat en les temperatures
- A les 24 hores de repòs, augmenta la influència de la concentració de glucosa, de tal forma que depenent de la concentració es pot arribar a aconseguir un grau de consistència superior.
- A concentracions baixes d'espessidor presenten precipitació passats uns minuts de la preparació, aquests són poc recomanables per els malalts de disfàgia, ja que esdevenen poc estables.

8.2 Conclusions SenseoPro®

- Es pot arribar a aconseguir graus de consistència elevats amb una concentració d'espessidor menor als espessidors a base de midó de blat de moro;
    - Consistència Púding a concentracions superiors al 3%
    - Consistència mel a un 1% d'espessidor
    - Consistència nèctar a un 0.5% d'espessidor
- Augment de la viscositat de forma lineal al incrementar la concentració d'espessidor.
- Els valors de la viscositat en les mostres recentment preparades a una concentració superior al 3%, presenten un increment al experimentar un augment de la temperatura. Succeeix el contrari en concentracions inferiors a aquesta i passades les 24 hores de repòs per a totes les concentracions.
- Els valors experimentals de la viscositat són majors, en valor absolut a concentracions superiors al 3%, quan es mesuren al cap de 24 hores.
- Al introduir una concentració de glucosa aquest espessidor per a totes les concentracions de glucosa segueix el mateix patró, experimenta irregularitats en el valor de viscositat, que esdevenen no significatives quan el grau de consistència es púding.
- Passades les 24 hores de respòs la influència de la concentració de glucosa és major.
- Aquest espessidor presenta homogeneïtat en totes les concentracions i una consistència alta, ja que es pot obtenir consistència púding en una concentració baixa. Per aquesta raó és l'espessidor recomanat per a malalts de disfàgia.

8.3 Conclusions Gelatina neutra Hacendado®

- Aquesta presenta una perillositat molt gran per els malalts de disfàgia, ja que a una temperatura de 7ºC presenta una consistència púding elevada i passa a una consistència de líquid fi a 35ºC, passant per un estat de transició de sòlid a líquid (25ºC-30ºC). Aquest fet pot provocar la mort a alguns pacients amb disfàgia a líquids ja que l'aliment pot ser aspirat pel pulmó.
- La influència de la concentració de glucosa esdevé important, ja que augmenta el valor absolut de la viscositat a temperatures baixes, però es segueix observant el mateix canvi d'estat. Per aquesta raó les gelatines es consideren no aptes per a malalts de disfàgia.

CAPÍTOL 9 : Avaluació econòmica

Recursos humans: Es necessari un graduat en enginyeria química per realitzar aquest projecte, la durada del projecte és de 6 mesos a 8 hores diàries.

Per realitzar el càlcul dels costos en personal s'han de tenir en compte els següents aspectes:

- Sou brut anual d'un enginyer de grau: 23000€/any
- Cost seguretat social : 0.33 · (sou brut anual) = 7590€/any
- Numero d'hores laborables anuals: 180 dies · 8 hores = 1440 hores
- Numero d'hores treballades = 603 h

$$Cost\ enginyer\ de\ grau: 603 \cdot \frac{23000€+7590€}{2008h} = 9186.14\ €$$

Recursos materials: S'ha d'incloure els productes, material de laboratori i les amortitzacions dels equips tecnològics utilitzats.

Productes utilitzats

Producte	Unitats(u)	Preu (€/u)	Cost(€)
Resource®	2	34.35	68.7€
Densiter®	4	14.75	59€
SenseoPro®	-	-	-
Gelatina neutra Hacendado®	30	1.20	36€
Total			163.7€

Material del laboratori

Material	Unitats	Preu(€/u)	Cost(€)
Termòmetre	2	1.6	3.2
Vas precipitat 1L	6	2	12
Vas precipitat 100ml	2	1.15	2.3
Vareta de vidre	2	4	8
Matras aforat100 ml	2	3.61	7.22
Flascó aigua	1	1.56	1.56
Pipetes Pasteur	15	0.04	0.6
Imant	4	0.98	3.92

Pesca imant	1	8.39	8.39
Espàtula	1	0.82	0.82
Timer	1	9.90	9.90
Parafilm	1	20	20
Tap de goma	2	0.5	1
Total			78.91

Aparells utilitzats

Equip	Unitats	Preu(€/u)	Vida Útil (anys)	Us del recurs	Amortització (€)
Viscosímetre automàtic	1	2000	10	0.6	120
Viscosímetre Brookfield	1	875.88	10	0.6	52.55
Bany tèrmic	1	296	10	0.6	17.76
Calefactor/agitador	1	302	10	0.6	18.12
Nevera	1	400	10	0.6	24
Balança analítica	1	1300	10	0.6	78
Destil·lador	1	599.14	10	0.6	33.55
Total					343.98

Cost total:

$$Cost\ total = Recursos\ humans + Recursos\ materials$$

$$Cost\ total = 9186.14 + 163.7 + 78.91 + 343.98 = 9772.73€$$

El pressupost econòmic d'aquest projecte comporta un total de 9.772,73€

CAPÍTOL 10 : Propostes de millora i impacte social

Seria d'interès realitzar el seguiment d'aquest treball i analitzar altres aspectes, per aquest motiu s'ha realitzat una llista de millores.

- Determinar la influència del contingut d'altres hidrats de carboni simples (sacarosa, fructosa).
- Determinar el comportament de la viscositat dissolucions sintètiques de diferents sals.
- Determinar l'efecte del pH en el comportament de la viscositat.
- Determinar l'efecte dels lípids en el comportament de la viscositat.
- Determinar el creixement microbiològic amb medis específics que permetin determinar quin tipus de microorganismes i creixen.
- Estudiar el comportament d'altres estabilitzants (pectines, cel·luloses, etc.).
- Estudiar el comportament de barreges d'espessidors i gelificants.
- Estudiar i comparar altres tipus de productes destinats, o no, per a disfàgics.
- Determinar l'efecte d'altres matrius, ja sigui suc, llet, sopa, cafè, cava, etc. O d'altres matrius les quals la seva consistència inicial no sigui de líquid fi.

D'altra banda, la realització d'aquest treball, ha fet possible una investigació amb un impacte social molt gran.

Existeixen diferents graus de disfàgia, cada malalt segons la gravetat, el tipus de disfàgia i el efecte causant d'aquesta. Cada cas necessita una dieta amb un grau de consistència concret. S'ha vist que algun producte espessidor recomanat als malalts de disfàgia, dóna problemes en l'estabilitat del grau de consistència.

És d'especial importància la concentració d'espessidor que s'incorpora a la preparació de l'aliment, per obtenir el grau de consistència desitjat. Tanmateix, hi ha diversos factors a tenir en compte a l'hora d'aconseguir la consistència recomanada (la temperatura i la concentració d'espessidor i de glucosa entre d'altres), ja que aquests fan variar la viscositat de l'espessidor i per tant en alguna ocasió variar el grau de consistència de l'aliment.