



TREBALL FINAL DE GRAU

OPTIMITZACIÓ DE LES PROPIETATS BARRERA DEL PAPER AMB CERA D'ABELLA I NANOCEL·LULOSA

UNIVERSITAT DE GIRONA

GRAU EN ENGINYERIA QUÍMICA



IKER CARRASCAL ALVARO

ROBERTO AGUADO GARCIA

2023

***“La ciencia siempre vale la pena, porque sus descubrimientos,
tarde o temprano, siempre se aplican.”***

Severo Ochoa

ÍNDIX DE CONTINGUTS

AGRAÏMENTS	I
RESUM	II
PARAULES CLAU	IV
1 INTRODUCCIÓ.....	1
1.1 OBJECTIUS	2
1.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENT.....	3
2 BASES DEL PROCÉS	4
2.1 COMPOSTOS PRINCIPALS.....	4
2.1.1 CERA D'ABELLA	4
2.1.2 NANOCEL·LULOSA	5
2.1.3 GLICEROL.....	6
2.2 ESTABILITZACIÓ PICKERING	7
2.2.1 NANOCEL·LULOSA COM A SURFACTANT	8
2.3 TENSIÓ INTERFACIAL	9
2.4 EFECTE PLASTIFICANT / <i>SOFTENER</i> DEL GLICEROL sobre polímers	11
3 METODOLOGIA	13
3.1 PREPARACIÓ DE NANOFIBRES OXIDADES AMB TEMPO, MOSTRES I PROVETES	13
3.1.1 PREPARACIÓ DE NANOFIBRES OXIDADES AMB TEMPO	13
3.1.2 PREPARACIÓ DE MOSTRES	15
3.1.3 PROVETES.....	16
3.2 GRAMATGE I GRUIX	18
3.3 TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA.....	20
3.4 RESISTÈNCIA A L'AIRE	21
3.5 REBENTAMENT	22
3.6 ÍNDEX D'ESQUINÇAMENT.....	23
3.7 TRACCIÓ	24
3.8 TRACCIÓ AMB TERMO SEGELLAT	25
3.9 SCOTT BOND	26
3.10 HIDROFOBICITAT	27
4 RESULTATS I DISCUSSIÓ	28

4.1	ESTABILITAT DE LES EMULSIONS.....	28
4.1.1	MICROSCOPIA ÒPTICA	29
4.2	GRUIX I GRAMATGE	31
4.3	TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA.....	37
4.3.1	PAPER BLANC	37
4.3.2	TEMPO 5 + 10% CERA D'ABELLA.....	38
4.3.3	TEMPO 10 + 10% CERA D'ABELLA	39
4.3.4	TEMPO 15 + 10% CERA D'ABELLA	41
4.3.5	TEMPO 15 + 20% CERA D'ABELLA	45
4.4	RESISTÈNCIA A L'AIRE	47
4.5	REBENTAMENT	50
4.6	ÍNDEX D'ESQUINÇAMENT.....	53
4.7	TRACCIÓ	56
4.8	TRACCIÓ AMB TERMOSEGELLAT	59
4.9	SCOTT BOND	60
4.10	HIDROFOBICITAT.....	63
5	CONCLUSIONS.....	66
6	PLANIFICACIÓ	69
6.1	ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓ DEL PROJECTE.....	69
6.2	DIAGRAMA DE GANTT	70
7	PRESSUPOST	72
8	BIBLIOGRAFIA	75
	ANEXOS	79
	ANEX I – RESULTATS DE WVTR	80
	ANEX II – MICROSCOPIA / SEM.....	83

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Esterificació d'un àcid gras amb alcohol.....	4
Figura 2. Estructura molecular del Glicerol.....	7
Figura 3. Estructura d'una micel·la inversa.....	9
Figura 4. Forces exercides sobre una molècula en la superfície i interior del líquid	10
Figura 5. Funcionament d'un plastificant	11
Figura 6. Estructura polihidroxílica del Glicerol	12
Figura 7. Homogeneïtzador.....	14
Figura 8. Elaboració de la mostra	15
Figura 9. Formació de l'emulsió amb UltraTurrax.....	16
Figura 10. Provetes.....	17
Figura 11. Balança de precisió.....	18
Figura 12. Mesurador de gruix	18
Figura 13. Porosímetre Gurley	21
Figura 14. Rebentometre	22
Figura 15. Cambra d'assaig hermètica.....	22
Figura 16. Pèndol d'Elmendorf.....	23
Figura 17. Expressió de resultats índex d'esquinçament.....	23
Figura 18. Màquina de tracció	24
Figura 19. Màquina de termosegellat	25
Figura 20. Premsa Scott Bond	26
Figura 21. Pèndol Scott Bond	26
Figura 22. Analitzador del perfil de gota KRÜSS	27
Figura 23. Gota sobre superfície de recobriment de cera d'abella.....	27
Figura 24. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW	29
Figura 25. Emulsions TEMPO 5 + 10% BW + 0,8 i 1% CNFs	32
Figura 26. Emulsions TEMPO 10 + 10% BW + 0,8 i 1% CNFs	33
Figura 27. Emulsions TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% / 0,6% / 0,8% i 1% CNFs.....	34
Figura 28. Emulsions TEMPO 15 + 20% BW + 0,5% / 0,6% / 0,8% i 1% CNFs.....	36
Figura 29. Angle de contacte.....	65
Figura 30. EDP	69

Figura 31. Planificació del Projecte	70
Figura 32. Diagrama de Gantt del Projecte	71
Figura 33. Microscopia TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs	83
Figura 34. Microscopia TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs	83
Figura 35. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs	84
Figura 36. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs	84
Figura 37. SEM paper en blanc.....	85
Figura 38. SEM per TEMPO 15 + 10% BW +1 % CNFs	85
Figura 39. SEM per TEMPO 15 + 20% BW +1 % CNFs	86

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Propietats físiques i químiques de la cera d'abella.	5
Taula 2. Propietats físiques del Glicerol.....	7
Taula 3. Tensions superficials dels líquids.....	11
Taula 4. Quantitats dels components per oxidar 1 gram de fibres seques.....	14
Taula 5. Quantitats dels components per oxidar la fibra seca al complet	14
Taula 6. Gramatge del paper en blanc.....	31
Taula 7. Gruix del paper en blanc.....	31
Taula 8. Gramatge per TEMPO 5 + 10% BW	31
Taula 9. Gruix per TEMPO 5 + 10% BW	32
Taula 10. Gramatge per TEMPO 10 + 10% BW	32
Taula 11. Gruix per TEMPO 10 + 10% BW	33
Taula 12. Gramatge per TEMPO 15 + 10% BW	34
Taula 13. Gruix per TEMPO 15 + 10% BW	34
Taula 14. Gramatge per TEMPO 15 + 20% BW	35
Taula 15. Gruix per TEMPO 15 + 20% BW	35
Taula 16. WVTR pel Blanc.....	38
Taula 17. WVTR pel TEMPO 5 + 10% BW	39
Taula 18. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW	41
Taula 19. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW	44
Taula 20. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW	46
Taula 21. Resistència a l'aire del paper Blanc	47
Taula 22. Resistència a l'aire per TEMPO 5 + 10% BW.....	47
Taula 23. Resistència a l'aire per TEMPO 10 + 10% BW.....	47
Taula 24. Resistència a l'aire per TEMPO 15 + 10% BW.....	48
Taula 25. Resistència a l'aire per TEMPO 15 + 20% BW.....	48
Taula 26. Pressió de rebentament del paper Blanc	50
Taula 27. Pressió de rebentament amb TEMPO 5 + 10% BW.....	50
Taula 28. Pressió de rebentament amb TEMPO 10 + 10% BW.....	50
Taula 29. Pressió de rebentament amb TEMPO 15 + 10% BW.....	51
Taula 30. Pressió de rebentament amb TEMPO 15 + 20% BW.....	51

Taula 31. Índex d'esquinçament pel paper Blanc	53
Taula 32. Índex d'esquinçament amb TEMPO 5 + 10% BW	53
Taula 33. Índex d'esquinçament amb TEMPO 10 + 10% BW	54
Taula 34. Índex d'esquinçament amb TEMPO 15 + 10% BW	54
Taula 35. Índex d'esquinçament amb TEMPO 15 + 20% BW	55
Taula 36. Força de tracció del paper Blanc.....	56
Taula 37. Força de tracció amb TEMPO 5 + 10% BW.....	57
Taula 38. Força de tracció amb TEMPO 10 + 10% BW	57
Taula 39. Força de tracció amb TEMPO 15 + 10% BW	57
Taula 40. Força de tracció amb TEMPO 15 + 20% BW	58
Taula 41. Força de tracció amb termosegellat amb TEMPO 15 + 20% BW	59
Taula 42. Scott Bond del paper Blanc	60
Taula 43. Scott Bond amb TEMPO 5 + 10% BW	60
Taula 44. Scott Bond amb TEMPO 10 + 10% BW.....	61
Taula 45. Scott Bond amb TEMPO 15 + 10% BW.....	61
Taula 46. Scott Bond amb TEMPO 15 + 20% BW.....	62
Taula 47. Cost de l'ordinador durant el desenvolupament del projecte	72
Taula 48. Cost dels materials utilitzats en l'experimentació.....	72
Taula 49. Cost de llicències i ús de programari utilitzat.....	73
Taula 50. Cost d'accés a internet.....	73
Taula 51. Cost de treball en hores.....	73
Taula 52. Cost del treball en hores realitzades pel tutor	73
Taula 53. Pressupost Total	74
Taula 54. Resultats obtinguts del WVTR pel paper en Blanc	80
Taula 55. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 5 + 10% BW + 1% CNFs	80
Taula 56. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs	80
Taula 57. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 10 + 10% BW+ 1% CNFs	81
Taula 58. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% CNFs	81

Taula 59. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,6% CNFs	81
Taula 60. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs	81
Taula 61. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 1% CNFs	82
Taula 62. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs	82
Taula 63. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs	82

ÍNDIX DE GRÀFIQUES

Gràfica 1. WVTR pel Blanc.....	37
Gràfica 2. WVTR pel TEMPO 5 + 10% BW + 1% CNFs	38
Gràfica 3. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs	39
Gràfica 4. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW + 1% CNFs.....	40
Gràfica 5. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% CNFs	41
Gràfica 6. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,6% CNFs	42
Gràfica 7. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs	43
Gràfica 8. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 1% CNFs	43
Gràfica 9. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs	45
Gràfica 10. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs	45
Gràfica 11. Angle de Contacte pel Paper Blanc	63
Gràfica 12. Angle de Contacte per TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs	64
Gràfica 13. Angle de Contacte per TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs	64

AGRAÏMENTS

Fent una pausa i mirant el camí recorregut fins al dia d'avui, no sé com agrair a totes les persones que han estat al meu costat durant aquest procés d'aprenentatge i m'han acompanyat durant aquesta etapa de la meva vida.

Els més importants han estat els meus pares, ja que els hi dec absolutament tot en aquesta etapa personal i professional, on m'han acompanyat al llarg d'aquests quatre anys. Estic profundament agraït per proporcionar-me tots els medis possibles que estaven al seu abast, tant econòmics com personals, per solucionar els problemes que se'm presentaven o simplement estar presents per escoltar-los.

Alhora, una de les persones que vull agrair és la meva professora de Química en l'institut, **Sra. Sonia Moret**, que des de fa ja 10 anys em va introduir el món de la química on, amb completa certesa, hi dedicaré la major part del meu temps.

D'altra banda, estic molt agraït als meus companys de classe, ja que des de fa quatre anys hem compartit la nostra passió per l'Enginyeria Química i hem caminat junts fins a arribar a la fi d'aquest camí. Per tots els moments experimentats, hores de convivència i confidències compartides, estic infinitament agraït pel seu suport.

Finalment, però no menys important, recordar-me de tot el professorat, per compartir els seus coneixements i ensenyar-me tot el que he après fins al dia d'avui. Concretament, m'agradaria donar les gràcies al meu tutor **Dr. Roberto Aguado**, per acompanyar-me i guiar-me en la realització d'aquest projecte, que representa tot el procés d'aprenentatge al llarg d'aquesta etapa.

RESUM

Una de les bases del desenvolupament de la societat actual és, sense cap dubte, l'enginyeria química. Gran part dels bens que es consumeixen en l'actualitat no podrien ser entesos sense l'acció de l'enginyeria química. Aquests béns, directament o indirectament, procedeixen d'un procés de producció que ha estat format a través de l'enginyeria química.

Molts productes tenen relació directa amb la indústria alimentària i de l'embalatge, àmbit en el qual se centra el projecte. No només en el procés de formació, sinó en el procés d'embalatge, manteniment i protecció. Amb això, l'enginyeria química té un paper fonamental a l'hora d'obtenir les millors propietats pel manteniment, tractat i cuidat d'aquests aliments.

Centrant-nos en el projecte, la idea principal fou obtenir un seguit d'emulsions a partir de nanocel·lulosa vegetal i cera d'abella per recobrir un paper, que actués com a substituent del plàstic i utilitzar-ho així com a embalatge alimentari, analitzant les característiques i propietats de cada una.

Es varen realitzar diverses emulsions, canviant diverses característiques d'aquestes com: oxidació de les nanofibres, concentració de nanocel·lulosa o concentració de cera d'abella en les emulsions. Aquesta formació de l'emulsió consistia a aplicar calor i agitació a una mescla composta per nanocel·lulosa, aigua destil·lada, glicerol i cera d'abella (tot en concentracions i quantitats calculades), fins a obtenir una fase homogènia que posteriorment es passava per l'UltraTurrax per aconseguir l'emulsió. Amb aquesta emulsió es recobrien els papers.

Variant les propietats i característiques de les emulsions, es disposava de la capacitat suficient per caracteritzar el paper i comprovar les seves propietats com a embalatge alimentari. Els assaigs realitzats per caracteritzar el paper adequadament i extreure les conclusions necessàries varen ser: gramatge, gruix, transmissió de vapor d'aigua, resistència a l'aire, rebentament, índex d'esquinçament, tracció, tracció amb termosegellat, "Scott Bond" i hidrofobicitat.

D'aquesta manera, els principals resultats i conclusions que es van poder extreure eren la concentració crítica de nanocel·lulosa i cera d'abella per la formació de l'emulsió, així com les característiques de l'emulsió que aporta millors propietats al paper recobert. Concloent en què la millor oxidació de les fibres és amb TEMPO 15, amb una concentració en pes de nanocel·lulosa en l'emulsió de l'1% i, si la finalitat és la hidrofocibitat del paper, es requereix una concentració del 20% de cera d'abella.

Finalment, el Treball Final de Grau conclou amb una valoració dels costos i planificació d'aquest, on s'identifiquen les tasques dutes a terme per l'elaboració del projecte i els requisits econòmics per la realització d'aquest.

PARAULES CLAU

- Migracions: pas de compostos químics procedents d'un material als aliments amb què aquest entra en contacte.
- Biodegradable: capacitat de descomposició en elements químics naturals per l'acció del sol, aigua, bacteris o animals amb el pas del temps de forma natural.
- Biobasat: element, material o producte que procedeix de la biomassa, és a dir, de matèries primeres renovables.
- Hidrofílic: substància o element que té afinitat per l'aigua, absorbeix l'aigua amb gran facilitat.
- Hidrofòbic: substància o element amb la capacitat per repel·lir l'aigua.
- Permeabilitat: capacitat d'una substància, element o material per permetre el pas de l'aigua a través d'ell mateix.
- Fluting Paper: paper base amb què es realitza l'estudi, per si sol utilitzat com a embalatge protector.
- Interfase: límit entre dues regions espacials ocupades per matèries diferents que es troben en contacte entre sí, en diferents estats físics.

1 INTRODUCCIÓ

El dia d'avui, trobem l'enginyeria química present en molts àmbits de la societat, ja sigui en el sector farmacèutic, petroquímic, alimentari, energètic o biotecnològic, entre altres. L'aplicació de conceptes químics en aquests àmbits ens proporcionen un seguit d'avantatges, com poden ser: qualitat de vida, obtenció de productes, desenvolupament de noves tecnologies i facilitats en activitats diàries de l'ésser humà.

Molts d'aquests avenços són eines essencials en la vida quotidiana que ens resulten difícilment prescindibles en qualsevol sector.

En l'àmbit alimentari, trobem que molts dels aliments que ingerim prèviament han estat tractats químicament, directament o indirectament, per implementar additius o millores que proporcionen qualitats extremes a l'aliment. Alhora, aquests aliments es troben en contacte amb embalatges plàstics, provinents del petroli, que poden produir migracions a l'aliment i en conseqüència, a partir de la seva ingesta, acabar en l'organisme de les persones.

Aquesta problemàtica la trobem molt present en l'actualitat i un dels principals objectius de l'enginyeria és la substitució dels materials plàstics per materials biodegradables i biobasats. Tot i això, la substitució dels materials plàstics és difícil en la realitat, ja que presenten moltes propietats mecàniques i químiques favorables per la seva utilització, a més d'una economia assequible.

Avui dia, en l'embalatge alimentari, les propietats de barrera als líquids i gasos que aporten certs materials no només protegeixen els aliments, sinó que també poden evitar una certa difusió de l'aliment cap a l'exterior de l'embalatge.

Hi ha diversos materials amb un considerable potencial per substituir els plàstics, i el paper és un d'ells, però presenta un desavantatge clar, que és la seva porositat, ja que no li permet la impermeabilitat. Tot i això, en l'actualitat s'utilitza amb làmines de polietilè per a millorar la porositat, encara que el polietilè és un material no biodegradable.

A causa que el paper per si sol no presenta unes propietats barrera adequades, cal afegir un recobriment amb l'objectiu que aquestes propietats augmentin i siguin favorables pel seu ús.

Al llarg del projecte s'utilitzarà cera d'abella per millorar els atributs del paper, ja que la cera d'abella no només s'utilitza en casos domèstics, medicinals o cosmètics com tothom coneix, sinó que presenta propietats que són molt interessants i importants a l'hora d'estar en contacte amb aliments. Algunes de les propietats més rellevants són les seves capacitats, bacteriostàtiques i hidrofòbiques. A més, és un material biobasat i biodegradable sota condicions adequades i àmpliament disponible

Així mateix, la incorporació de les nanofibres o nanocel·lulosa aporta propietats a l'emulsió que posteriorment serà aplicada sobre el paper. Algunes d'aquestes propietats són: flexibilitat, resistència i porositat, entre altres.

1.1 OBJECTIUS

El principal objectiu d'aquest treball final de grau és:

“Optimització de les propietats barrera del paper amb cera d'abella i nanocel·lulosa com estabilitzant”.

Tot i això, s'han plantejat un seguit d'objectius a petita escala per a poder assolir correctament l'objectiu principal del projecte.

1. Obtenció de dispersions estables, fins i tot a temperatura ambient, amb l'ús de nanocel·lulosa com a estabilitzant.
2. Adquisició d'una viscositat adequada per la correcta aplicació sobre el paper.
3. Angle de contacte superior a 100° i estable en el temps.
4. Velocitat de transmissió del vapor d'aigua inferior a $100 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$, i resistència a l'aire superior a 1800 s/100cm^3 .

Ahora, es presenten un seguit de restriccions amb la finalitat d'acotar els possibles escenaris i proves a realitzar.

1. Evitar l'ús de plàstics no biodegradables, surfactants no biobasats i solvents no orgànics.
2. Només aplicar les solucions com a recobrint, preferiblement amb només una capa.
3. Treballar amb una temperatura inferior als 80 °C.

1.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENT

Amb la finalitat de facilitar la lectura i la comprensió del treball, a continuació s'indica breument el contingut i ordre de cada apartat que compren el projecte.

1. S'explica el context en el qual es basa el "Treball Final de Grau", a més d'un breu resum de la motivació i objectius establerts, juntament amb un marc introductori i la corresponent estructuració de la memòria.
2. S'estableixen les bases del procés, on s'introdueixen tots els materials que tenen lloc en la formació de l'emulsió. Alhora, s'esmenten tots els conceptes i aspectes claus per entendre la formació de l'emulsió.
3. A continuació, trobem l'explicació de la metodologia, on es nomenen i s'expressen tots els assaigs realitzats a les provetes, així com, l'obtenció de mostres i provetes.
4. Presentació de resultats, juntament amb la discussió d'aquests. D'aquesta manera la informació que aporten els resultats es pot expressar i entendre de millor manera.
5. Es reflecteixen les conclusions extretes durant la realització del projecte. Centrades en els resultats obtinguts dels assaigs i el contrast amb els objectius establerts inicialment.
6. Finalment, es trobarà la planificació del Projecte i el Pressupost d'aquest.

2 BASES DEL PROCÉS

2.1 COMPOSTOS PRINCIPALS

Per a la realització de la solució que s'aplicarà en els papers a estudiar, cal conèixer els compostos presents en l'emulsió, a més de les seves característiques principals, utilitats i propietats.

2.1.1 CERA D'ABELLA

El principal component de la suspensió de recobriment proposada és la **cera d'abella** natural. Aquest element prové de les glàndules cereres de les abelles, amb un color blanquinós quan és recentment secretada, tornant-se groguenca amb el pas del temps. La seva consistència plàstica i el baix punt de fusió fan que sigui possible la seva modelada. No només presenta aplicacions domèstiques, cosmètica o medicinals, sinó que també té usos importants per la tecnologia de materials, a causa de la seva hidrofobicitat i altres propietats que presenta. (Vit, 2005)

La cera d'abella està principalment composta per èsters d'àcids grassos amb alcohols de pes molecular elevat, és a dir, són molècules que s'obtenen per esterificació d'un àcid gras amb alcohols de cadena llarga que van dels 24 carbonis fins a 33 carbonis (Figura 1). Presenten un punt de fusió baix, al voltant dels 62 °C. A més, conté petites quantitats de lactones, flavonoides, alcohols i àcids lliures. Alhora, és una substància altament insoluble en medi aquós i a temperatura ambient la trobem en forma de sòlid. (Vit, 2005)

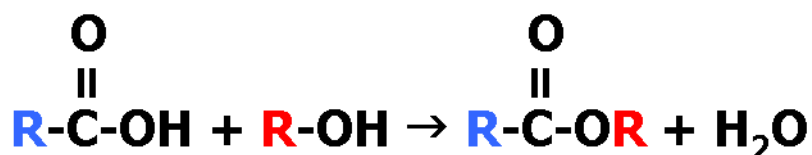


Figura 1. Esterificació d'un àcid gras amb alcohol.

D'aquesta forma, a partir de diferents àcids carboxílics com l'àcid palmític o esteàric, i un alcohol de cadena llarga com el miricil o ciríl·lic, mitjançant enzims de tipus esterasa, els neòcits de les abelles sintetitzen els èsters que forma la cera d'abella. A continuació,

com a exemple d'esterificació es presenta la miricina o palmitat de miricil, un èster format per l'àcid palmític i l'alcohol miricil. (Carrero & Herráez, s. f.)



Observem en color vermell la part corresponent a l'àcid carboxílic i en color blau la de l'alcohol.

En el cas d'estudi, la incorporació d'aquesta substància en la solució, aporta una reducció de la porositat del paper i millora de la impermeabilitat a l'aigua, que és la finalitat de l'estudi. Alhora, com que presenta en un menor grau propietats antioxidants en estar en contacte amb els aliments pot protegir-los fins a cert punt.

A continuació, a la Taula 1, es presenten les principals propietats físiques i químiques de la cera d'abella.

Taula 1. Propietats físiques i químiques de la cera d'abella.

Cera d'Abella	
Aparença	Sòlid groguenc
Forma física	Sòlid a temperatura ambient
Olor	Dolç
Solubilitat	Insoluble en aigua Soluble en solvents orgànics a alta temperatura
Poder impermeabilitzant	Capacitat per repelar l'aigua i formar barreres protectores.
Densitat	0,96 g/cm ³
Punt de Fusió	62 °C

2.1.2 NANOCEL·LULOSA

D'altra banda, un altre dels principals components que s'utilitzen per a crear l'emulsió de recobriment és la **nanocel·lulosa**.

Aquest component és una substància lleugera obtinguda a partir de matèria vegetal, principalment de la fusta d'arbres com l'eucaliptus. La fusta conté una gran quantitat de cel·lulosa, una macromolècula orgànica i biodegradable. A partir de processos químics i tractaments mecànics, els materials originaris són desestructurats aconseguint que les

fibres arribin a una escala nanomètrica, donant lloc a un hidrogel. (Fernández, 2016)
Aquestes nanoestructures tenen una alta superfície específica i presenten propietats diferencials a causa de la mida i estructura.

Aquest nou material format és un fluid pseudo-plàstic i possiblement un gel si la consistència és prou alta. Algunes de les propietats de les nanofibres de cel·lulosa són:

- Elevada rigidesa (superior al Kevlar).
- Flexibilitat.
- Constant dielèctrica notablement més alta que la cel·lulosa nativa.
- Estructures cristal·lines, donant transparència.
- Resistència a la tracció.

Aquestes propietats fan que la nanocel·lulosa pugui ser utilitzada en la indústria alimentària, ja que com a material d'envàs pot evitar el deteriorament dels aliments i evitar l'entrada d'oxigen gràcies a la reducció de porositat. Alhora, les nanofibres poden ser usades com a estabilitzant de suspensions.

Així mateix, quan apliquem nanocel·lulosa sobre el paper o cartó, aconseguim una major força d'unió entre les fibres i actuant com a barrera. També es millora la retenció, la resistència seca i humida.(Soutter, 2012)

2.1.3 GLICEROL

L'últim compost que pren lloc per a formar l'emulsió és el **glicerol**. Aquest component és un alcohol amb tres grups hidroxils (-OH), és a dir, polihidroxílic. Es presenta en forma líquida a una temperatura ambient de 25 °C i és higroscòpic, a més d'incolore. És un fluid Newtonià amb viscositat elevada i té un sabor dolç.

El seu ús en la solució, afavoreix la formació de l'emulsió.

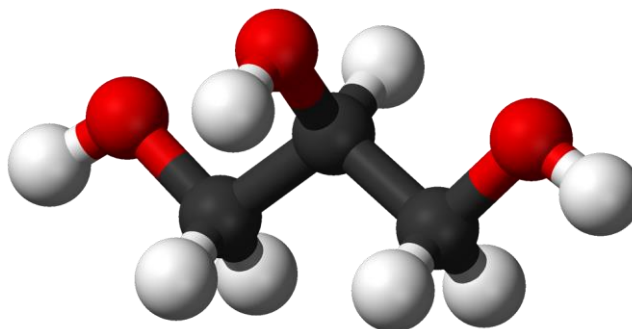


Figura 2. Estructura molecular del Glicerol.

A la Taula 2 es presenten les principals característiques físiques i químiques d'aquest compost.

Taula 2. Propietats físiques del Glicerol.

Glicerol	
Fórmula molecular	$C_3H_8O_3$
Aparença	Líquid incolor o groguenc
Forma física	Líquid
Olor	Inodor
Pes molecular	92,09 g/mol
Densitat	1,261 g/cm ³
Punt de Fusió	18 °C (291 K)
Punt d'ebullició	290 °C (563 K)
Viscositat	1,5 Pa · s

2.2 ESTABILITZACIÓ PICKERING

Una emulsió és una composició formada per dos líquids que no s'uneixen de manera senzilla entre ells, és a dir, són immiscibles homogeniament. Aquesta mescla és formada per un dispersat i un dispersant, és a dir, una fase dispersa, la qual es dispersarà en l'altre líquid, i el dispersant o fase continua. La substància que estableix l'emulsió es coneix com emulsionant. (Méndez, 2011)

L'estabilització d'emulsions mitjançant partícules sòlides és un mecanisme conegut amb el nom d'estabilització o emulsió Pickering. Aquest procés d'estabilització de les emulsions utilitza partícules en estat sòlid que actuen com agents surfactants, és a dir,

substàncies que contribueixen a través de la reducció de la tensió superficial al contacte de les dues fases immiscibles entre si. (Méndez, 2011)

L'estabilització Pickering depèn parcialment de l'habilitat de les partícules per desplaçar-se cap a la cap a la regió de la interfase i romandre de forma persistent. En la interfase, les partícules formen estructures rígides que inhibeixen la coalescència de les gotes. A més, si les partícules es troben carregades, l'estabilitat de l'emulsió es veurà afavorida, ja que la càrrega genera certa repulsió electroestàtica. (Tolosa, 2016)

Alhora, la persistència o estabilitat de les emulsions depèn dels fenòmens que produeixen els surfactants, els quals són elements que actuen com emulsionants o humectants, permetent la reducció de la tensió superficial del fluid. Durant el cas d'estudi, l'agent surfactant és la nanocel·lulosa.

2.2.1 NANOCEL·LULOSA COM A SURFACTANT

Els surfactants són substàncies químicament compostes de molècules amfofílques, és a dir, molècules de dues polaritats, una part polar i l'altra no polar o apolar. L'efecte dels surfactants és la reducció de la tensió interfacial i superficial actuant com un detergent, ja que al moment que es troba en la interfase o superfície, disminueix la força d'atracció entre les molècules que existeixen en un líquid i sòlid sense desequilibrar el sistema. (Antón, 2005)

Referent a la nanocel·lulosa, a causa de les característiques distintives i la varietat d'aplicacions, es tracta d'un material de gran interès en la recerca científica. Anteriorment, s'utilitzava com a material estructural, però s'ha demostrat que presenta un comportament com a surfactant significatiu. Principalment, els grups hidroxils presents en la superfície de la nanocel·lulosa poden interactuar amb les fases aquoses, però també té plànols hidrofòbics dominats per enllaços C-H.

La nanocel·lulosa, com a surfactant, pot reduir la tensió interfacial entre diverses fases líquides. Aquest fet és causat per la capacitat d'absorbir-se en la interfase, alineant els grups hidroxils cap a l'aigua i deixant exposada la superfície hidrofòbica al medi, formant l'estructura d'una micel·la inversa. Aquest fet és el principal causant de la reducció de la

tensió interfacial líquid-líquid i la millora en la dispersió i l'emulsió de líquids immiscibles. (Celi et al., 2021)

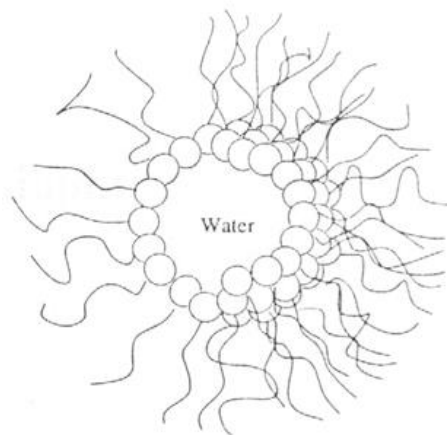


Figura 3. Estructura d'una micel·la inversa

A més de la capacitat com a surfactant, la nanocel·lulosa té la capacitat d'evitar físicament la coalescència del dispersat. En formar una capa en la interfase entre la fase aquosa i la cera d'abella, les nanofibres de cel·lulosa poden augmentar l'energia que es requereix per a la coalescència de les gotes de cera d'abella i, per tant, estabilitzar l'emulsió a llarg termini. (Salager, 2002)

Per finalitzar, la nanocelulosa també pot actuar com a agent dispersant en sistemes col·loïdals. A causa de la seva alta relació superfície-volum i a la seva capacitat de absorbir-se en les superfícies de partícules, la nanocelulosa pot dispersar partícules sòlides en líquids, evitant la seva aglomeració i sedimentació.

2.3 TENSÍO INTERFACIAL

La tensió interfacial és una propietat important que determina la interacció entre dues fases immiscibles, com ara l'aigua i la cera d'abella. En el cas específic de la interacció entre l'aigua i la cera d'abella, la tensió interfacial hi juga un paper significatiu en diverses aplicacions.

La cera d'abella i l'aigua són dues fases que quan es troben en contacte, es forma una interfase on les molècules d'aigua i les molècules de cera interactuen. La tensió interfacial

fa referència a la resistència o força per unitat de superfície, quan s'oposa a l'augment de l'àrea superficial entre les dues fases.

La cera d'abella conté una barreja complexa d'èsters d'alcohols i àcids grassos de cadena llarga, fet que la converteix en un material repel·lent a l'aigua. A la interfície entre l'aigua i la cera d'abella s'observa una reducció significativa en la tensió interfacial en comparació a l'aigua pura. Aquesta reducció en la tensió interfacial es deu a la formació d'una pel·lícula prima de cera d'abella a la superfície de l'aigua. L'estructura molecular de la cera d'abella impedeix que les molècules d'aigua s'adhereixin directament entre si, fet resultant en una disminució de la tensió superficial. Això significa que l'aigua en contacte amb la cera d'abella presenta menys resistència per formar gotes o pel·lícules primes. (Anton De Salager, 2005a)

Tècnicament, aquesta força per unitat de longitud és tangencial a la superfície i tendeix a la reducció de l'expansió esmentada anteriorment. Aquesta tensió és el resultat de les diferències entre les forces que afecten en una molècula depenent de la seva situació en el líquid. (Anton De Salager, 2005b)

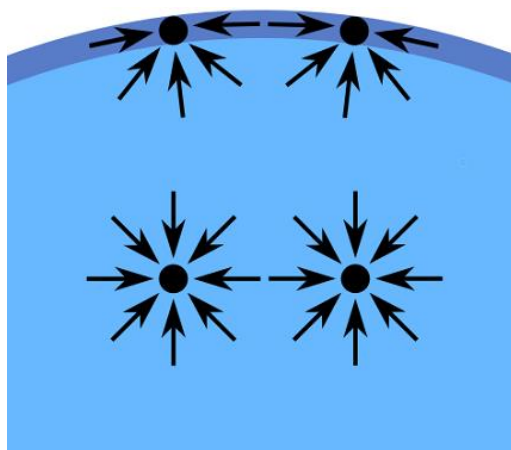


Figura 4. Forces exercides sobre una molècula en la superfície i interior del líquid

Les forces d'atracció que experimenta una molècula varien en funció de la seva localització. Com podem veure una molècula situada a l'interior del líquid està sotmesa a forces d'atracció que tendeixen a equilibrar-se. En canvi, en molècules a la zona superficial, la força a les que estan sotmeses no es poden arribar a compensar i tindran una força neta cap a l'interior del líquid.

A la Taula 3, podem observar les tensions superficials dels principals components que tenen lloc en l'emulsió.

Taula 3. Tensions superficials dels líquids

LÍQUID	TENSIÓ SUPERFICIAL (mN/m)
Aigua	72,8
Glicerol	63,4

2.4 EFECTE PLASTIFICANT / SOFTENER DEL GLICEROL sobre polímers

Els plastificants són substàncies que s'incorporen a un material plàstic o elastòmers amb la finalitat d'augmentar la flexibilitat i facilitar la seva transformació. Un plastificant pot reduir la viscositat i rebaixar la temperatura de transició vítria, alhora, altres propietats com la flexibilitat, ductilitat o tenacitat es poden millorar amb la incorporació d'aquestes substàncies.

El plastificant actua de tal manera que penetra a l'interior de la massa del polímer i separa les cadenes, fent que les forces d'atracció entre les cadenes polimèriques es redueixin. Fet causat per la generació de volums lliures gràcies a l'addició de les molècules de plastificant.

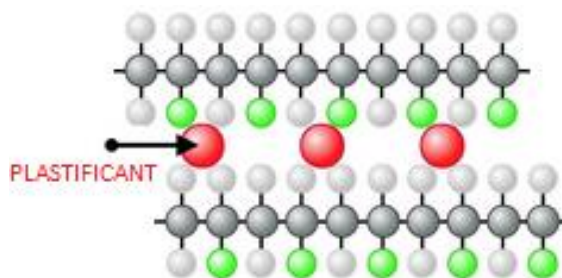


Figura 5. Funcionament d'un plastificant

Un fet rellevant en l'addició d'un plastificant és la reducció, en la majoria de casos, del mòdul elàstic i la resistència a la tracció i, en conseqüència, un allargament del material més elevat abans de col·lapsar. (Mexpolimeros, s. f.)

El glicerol, o també conegut com a glicerina, és un compost orgànic líquid i viscos que s'utilitza en aplicacions industrials i comercials. Una de les propietats més destacada del glicerol és la capacitat per actuar com a plastificador. L'efecte plastificant o *softener* del glicerol es basa en la interacció amb polímers, resultant en una millora de la flexibilitat, mal·leabilitat i resistència del material.

Com s'ha comentat anteriorment, l'estructura molecular del glicerol presenta tres grups hidroxils, fet que confereix propietats addicionals quan es combina amb polímers lineals. El glicerol s'intercala entre les cadenes

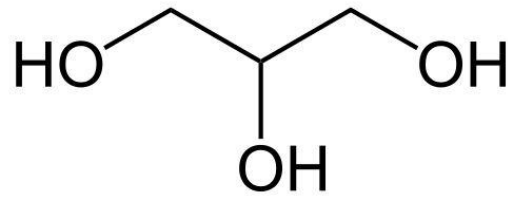


Figura 6. Estructura polihidroxílica del Glicerol

polimèriques, reduint les forces d'atracció entre elles i augmentant la mobilitat molecular a partir dels volums buits. D'aquesta manera, el glicerol actua com a lubricant molecular, facilitant el lliscament de les cadenes polimèriques entre si i reduint la fricció interna del material.

A més de millorar la flexibilitat, el glicerol pot augmentar la resistència i tenacitat dels materials. En reduir les forces d'interacció entre les cadenes polimèriques, s'evita la formació de cristalls en l'estructura del material, fent que l'absorció d'energia augmenti, en conseqüència, la resistència a l'impacte també.

D'altra banda, com a hipòtesi, la incorporació del glicerol en les solucions podria implicar la millora de les propietats com la resistència a la tracció, resistència a l'esquinçament i la capacitat del termo-segellat.

3 METODOLOGIA

3.1 PREPARACIÓ DE NANOFIBRES OXIDADES AMB TEMPO, MOSTRES I PROVETES

3.1.1 PREPARACIÓ DE NANOFIBRES OXIDADES AMB TEMPO

El procés d'obtenció de nanofibres oxidades amb TEMPO, s'inicia amb el pesatge de 5 grams de fibra seca, juntament amb l'addició de 100 mL d'H₂O per cada gram de fibra seca.

A continuació cal preparar els components que tindran lloc en l'oxidació, que són el TEMPO, Bromur sòdic (NaBr) i Hipoclorit Sòdic (NaClO). Que per cada gram de pasta seca s'afegiran les següents quantitats:

- 16 mg de TEMPO
- 100 mg de NaBr
- 5 mmol de NaClO. En funció de l'oxidació que desitgem s'augmentarà aquesta quantitat fins a 10 mmol i 15 mmol de NaClO.

Sabent la massa molar de l'hipoclorit sòdic (74,44 g/mol) podem saber la massa necessària de NaClO en les diferents oxidacions, quedant les masses de la següent manera:

$$5 \text{ mmol NaClO} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{1000 \text{ mmol}} \cdot \frac{74,44 \text{ g NaClO}}{1 \text{ mol NaClO}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 372,2 \text{ mg NaClO}$$

Equació 2. Quantitat necessària de NaClO per l'oxidació de fibres

Per tant, si desitgem una oxidació amb TEMPO 10 la quantitat d'hipoclorit sòdic serà de 744,4 mg NaClO, i per TEMPO 15 d'1,116 g NaClO.

D'aquesta manera, disposem d'una solució d'hipoclorit sòdic al 4,35% en massa, per tant, per arribar als 372,2 mg d'hipoclorit sòdic caldrà afegir 8,55 mL de NaClO. D'aquesta mateixa manera, per TEMPO 10 s'afegeixen 17,1 mL de NaClO i per TEMPO 15 s'afegeixen 25,65 mL d'hipoclorit sòdic.

A la Taula 4, seguint el mateix procediment, es mostren les quantitats necessàries de cada component per gram de fibres seques, per l'oxidació de les fibres, quedant de la següent forma:

Taula 4. Quantitats dels components per oxidar 1 gram de fibres seques

OXIDACIÓ DE FIBRES	TEMPO (mg)	NaBr (mg)	NaClO (mL)
5	16	100	8,55
10	16	100	17,10
15	16	100	25,65

D'aquesta forma, a la Taula 5, es mostren les quantitats directes per oxidar els 5 grams de fibres seques.

Taula 5. Quantitats dels components per oxidar la fibra seca al complet

OXIDACIÓ DE FIBRES	TEMPO (g)	NaBr (g)	NaClO (mL)
5	0,08	0,5	42,75
10	0,08	0,5	85,50
15	0,08	0,5	128,25

Alhora, cal esmentar que el pH a mesura que avança la reacció vira a bàsic a causa de la generació de grups carboxílics, per tant, es comprova el pH i s'afegeix hidròxid sòdic (NaOH) fins que s'estabilitza i es dona per finalitzada l'oxidació.

Seguidament, les fibres oxidades es passen per l'homogeneïtzador (3 cops a 300 bars de pressió, 3 cops a 600 bars i 3 cops a 900 bars) amb la finalitat d'aconseguir la nanocel·lulosa, fent que es redueixi la mida de les partícules i aconseguint una mescla resultant homogènia. Finalment, es col·locarà una petita mostra de nanofibres en la termobalança per a saber la composició en pes obtinguda de les fibres.

Per les fibres oxidades amb TEMPO 5 aconseguim un percentatge en pes del 0,9% i 1,67%, pel TEMPO 10 del 0,99% i 1,2% en pes, i pel TEMPO 15 de l'1,31% en pes.



Figura 7. Homogeneïtzador

3.1.2 PREPARACIÓ DE MOSTRES

Un cop obtingudes les nanofibres oxidades amb el TEMPO desitjat i passades per l'homogeneïtzador, cal preparar les mostres a estudi. Aquestes mostres són compostes de: nanofibres, aigua destil·lada, glicerol i cera d'abella.

Inicialment, cal trobar la quantitat de fibres necessàries per a cada mostra, on sabent el percentatge en pes de les nanofibres obtingudes i la composició en pes que es desitja en la mostra, la quantitat de fibres es calcularà de la següent manera:

$$g \text{ Nanocel} \cdot \text{lulosa} = \frac{\% \text{ en pes desitjat de l'emulsió}}{\% \text{ en pes de fibres oxidades}} \cdot 100$$

Equació 3. Quantitat de nanofibres per obtenir les emulsions desitjades

A partir del pes de nanofibres necessari per a cada mostra, s'addiciona aigua destil·lada fins a completar els 100 mL, que serà el volum de la mostra. A continuació, s'introdueix un 1% (1 g) de glicerol per facilitar l'emulsió que es durà a terme més endavant. Tot seguit, s'aplica calor i agitació a la mescla, un cop la solució supera els 62 °C (punt de fusió de la cera d'abella), s'afegeix un 10% o 20% de cera d'abella i es continua aplicant calor i agitació fins que es forma una fase homogènia, si és possible.



Figura 8. Elaboració de la mostra

Les concentracions en pes de nanocel·lulosa a estudiar són: 0,5%, 0,6%, 0,8% i 1%. Aconseguida la fase homogènia per aquestes concentracions, es passa la solució per l'UltraTurrax, on s'aconsegueix la formació de l'emulsió permanent, que utilitzarem com a suspensió de recobriment, en cas que la concentració de fibres sigui òptima.

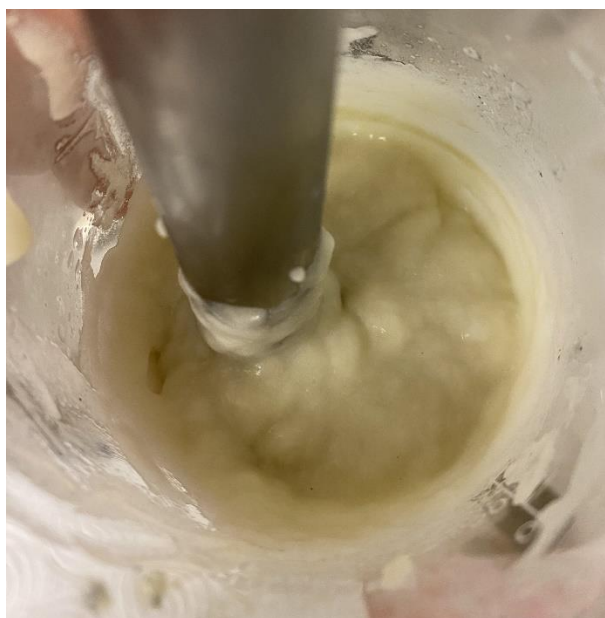


Figura 9. Formació de l'emulsió amb UltraTurrax

Seguidament, s'aplica l'emulsió sobre els papers i es deixa reposar fins que s'asseca completament. Posteriorment, retallem les provetes per a realitzar les proves corresponents. Un cop dut a terme el procediment, es disposa de totes les mostres a estudiar, tant dels diferents TEMPOs com la concentració de nanocel·lulosa de cada mostra. Amb això, es fan totes les proves necessàries.

Les proves a fer per a la correcta caracterització del paper són: gramatge, gruix, transmissió de vapor d'aigua, resistència a l'aire, rebentament, índex d'esquinçament, tracció, tracció amb termosegellat, "Scott Bond" i hidrofobicitat.

3.1.3 PROVETES

Per a poder realitzar els assaigs explicats a continuació, cal disposar de provetes. Aquestes són peces de paper recobertes amb la suspensió de recobriment de cera

d'abella, amb una forma geomètrica determinada que afavoreix al càlcul de les propietats i característiques del material.

Les provetes utilitzades durant el projecte són:

- 3 cercles de 8 cm de diàmetre per realitzar l'assaig de WVTR i rebentament.
- 6 rectangles de mida: 100 x 15 mm. Per dur a terme l'assaig de termosegellat + tracció.
- 3 rectangles de mida: 150 x 15 mm. Per realitzar l'assaig de tracció.
- 7 quadrats de mida: 63 x 63 mm. Per fer els assajos de: resistència a l'aire, índex d'esquinçament i hidrofobicitat.
- 1 rectangle de mida: 140 x 30 mm. Per efectuar l'assaig de Scott Bond.

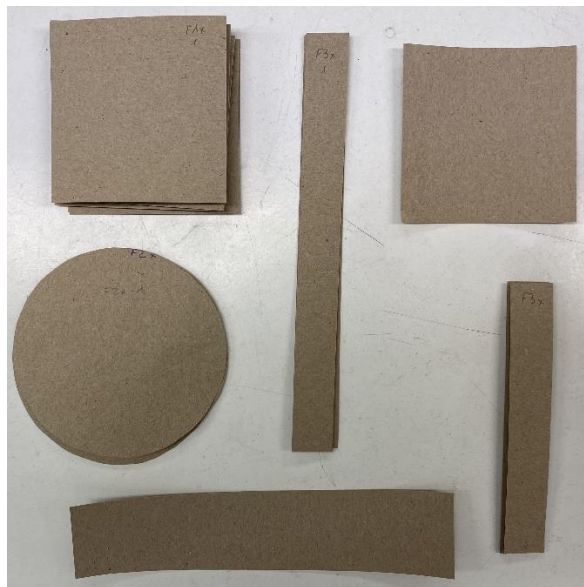


Figura 10. Provetes

3.2 GRAMATGE I GRUIX

El gramatge i el gruix o espessor d'un paper són propietats importants per caracteritzar el paper.

El gramatge d'un paper fa referència a la massa del paper per unitat de superfície. Normalment, s'expressa en grams per metre quadrat (g/m²). Aquesta característica ens proporciona informació sobre la densitat del paper, és a dir, la relació entre pes i mida. Es mesura mitjançant una balança analítica, on es pesa la mostra de paper i el resultat obtingut es divideix per l'àrea de la mostra.

$$GRAMATGE = \frac{Pes (g)}{Superfície (m^2)}$$

Equació 1. Gramatge

D'altra banda, el gruix del paper es refereix a l'espessor del paper. Indica la distància entre les dues cares oposades del paper i s'expressa en mil·límetres (mm). Aquesta característica presenta una relació directa amb la rigidesa i resistència mecànica del paper. L'utilitatge per obtenir el gruix del paper, és un mesurador d'espessors, on es col·loca el paper sobre una platina i s'aplica pressió constant, donant un valor al gruix.



Figura 11. Balança de precisió



Figura 12. Mesurador de gruix

Aquestes propietats, el gramatge i el gruix, són propietats completament independents, és a dir, no guarden relació directa entre elles. Es pot donar el cas que un paper presenti

un gramatge alt i espessor baix, fet que observem en aplicar la pel·lícula de l'emulsió amb la cera d'abella, això ens indica que el paper és dens i compacte.

Aquesta caracterització s'efectua, ja que en la indústria de l'embalatge el gruix i gramatge poden influir en la resistència i la protecció del producte que contenen.

3.3 TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA

La taxa de transmissió de vapor d'aigua (WVTR, per les sigles en anglès) mesura el pas de vapor d'aigua a través d'una superfície i unitat de temps determinada. És una mesura de la permeabilitat a les barreres al vapor.

En aquest cas, es tracta d'una mesura gravimètrica que indica l'augment o pèrdua d'humitat per massa. La proveta se situa en l'interior d'un cercle que conté sílice i s'introdueix en una càmera climatitzada (norma ASTM E96). Cada cert temps es pesa la proveta i s'anota la diferència de massa, aconseguint conèixer l'augment de pes en funció de la humitat absorbida. Seguidament, és crea una gràfica per a conèixer l'índex d'absorció de vapor d'aigua, relacionant els valors de massa obtingut durant els pesatges amb la superfície i aquest terme juntament amb el temps entre pesatges.

D'aquesta forma els resultats obtinguts del pendent s'expressen en: $\text{g/m}^2 \cdot \text{min}$, que posteriorment es convertiran a $\text{g/m}^2 \cdot \text{dia}$.

La taxa d'absorció de vapor d'aigua és una mesura que indica la capacitat d'un material per absorbir, retenir o alliberar el vapor d'aigua a través d'una superfície. Aquesta taxa pot variar en funció de les característiques que presenta el paper com poden ser la porositat, estructura, recobriments, temperatura i humitat relativa (aquestes dues últimes controlades gràcies a la càmera climatitzada.). Amb això, podrem conèixer com un material interactua amb el vapor d'aigua i com pot afectar el vapor d'aigua en les propietats i aplicacions del material.

3.4 RESISTÈNCIA A L'AIRE

El mètode del porosímetre Gurley és un mètode utilitzat per mesurar la permeabilitat a l'aire dels materials porosos com poden papers, teles o pel·lícules. L'assaig avalua la facilitat amb la qual l'aire passa a través del material, proporcionant informació de la capacitat per resistir el pas d'un flux d'aire.

La prova consisteix en la resistència donada per l'estructura d'un full de paper al pas d'aire quan es té una diferència de pressió determinada entre les dues cares de la mostra (1,22 kPa). Això es quantifica, obtenint el temps perquè un volum d'aire flueixi a través d'una peça d'assaig de dimensions determinades, sota condicions normals de pressió, temperatura i humitat relativa. Alhora, la resistència al flux d'aire depèn de l'estructura, densitat i mida dels porus que disposa el material a prova.

En conseqüència, un temps llarg de mostreig, implica una resistència més gran al flux d'aire i menor permeabilitat del material.

Aquesta prova, per tant, indica alhora la porositat del paper i la permeabilitat a l'aire que és deguda a ella. L'equip consta d'un cilindre vertical exterior, parcialment ple amb un fluid segellador, i un cilindre interior que rellisca lliurement per l'interior del cilindre exterior. L'aire a l'interior dels cilindres es comprimeix pel pes del mateix cilindre interior, creant una resistència a causa de la mostra situada a la part inferior.



Figura 13. Porosímetre Gurley

3.5 REBENTAMENT

L'assaig de rebentament o assaig de pressió d'esclat, és un mètode emprat per determinar la resistència d'un material a la seva ruptura sota una càrrega de pressió aplicada uniformement. Aquest assaig s'utilitza en la indústria paperera per avaluar la resistència, dels diferents productes, a la pressió interna o externa.

L'assaig es realitza en un dispositiu anomenat rebentometre. La proveta se situa en una cambra d'assaig hermètica que conté una membrana, a més d'un mecanisme que permet augmentar la pressió en aquesta cambra. A mesura que s'augmenta la pressió, es monitora la mostra fins que arriba al moment de ruptura.

La pressió màxima a la qual trenca el material es registra com a valor de rebentament. L'equip la mesura en una unitat de pressió no considerada pel SI (kg/cm^2), però es pot convertir en unitats SI com kilopascals (kPa).



Figura 14. Rebentometre

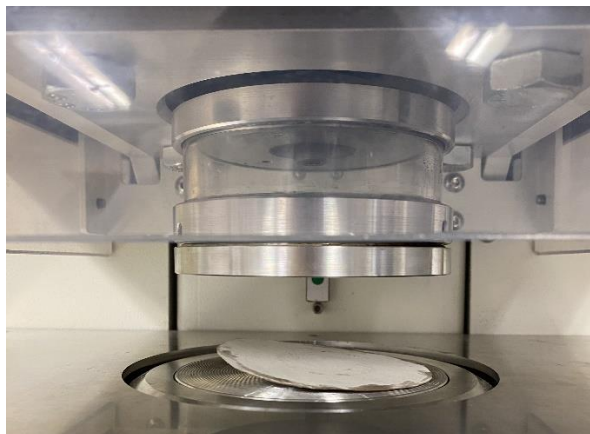


Figura 15. Cambra d'assaig hermètica

3.6 ÍNDEX D'ESQUINÇAMENT

L'assaig de resistència al tall o índex d'esquinçament, és un mètode utilitzat amb la finalitat d'avaluar la força requerida o la resistència que oposa un paper en ser tallat. Aquest assaig és molt emprat en la indústria paperera per determinar la resistència i la qualitat dels papers usats en embalatges, etiquetes o recobriments.

En realitzar aquesta prova, s'empra un utensili anomenat tallador d'Elmendorf. El procediment consisteix a subjectar la mostra de paper al tallador d'Elmendorf i realitzar una petita incisió en la part inferior en el seu centre. Seguidament, mitjançant un pèndol, s'aplica una força en sentit contrari de la incisió, que provocarà l'esquinçament del paper al llarg de la incisió.

La resistència al tall s'avalua mesurant la força requerida perquè la fulla talli el paper completament. Aquesta força es mesura en miliNewtons (mN), i relacionant el gramatge del paper, obtenim l'expressió d'aquesta força en: $\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$.

Aquest assaig proporciona informació rellevant sobre la qualitat del paper, cohesió de les fibres internes i la resistència estructural que presenta el paper. Amb això, es pot concloure que valors alts d'esquinçament impliquen una major resistència a l'esquinçament, per tant, suportarà millor l'esquinçament i la propagació de fissures al llarg del paper. Aquest fet indica una millor qualitat del paper i un millor rendiment en aplicacions com l'embalatge, que és el cas d'estudi.



Figura 16. Pèndol d'Elmendorf



Figura 17. Expressió de resultats índex d'esquinçament

3.7 TRACCIÓ

L'assaig de tracció, és un mètode utilitzat per avaluar les propietats mecàniques d'un material i poder determinar la resistència a la tracció.

Durant l'assaig de tracció, s'aplica una força gradualment de forma uniaxial en la mostra col·locada entre dos suports que la cullen a partir d'aire a pressió. Aquest fet s'aconsegueix a partir de l'aplicació d'una càrrega en direccions oposades de la mostra, fent que es generi una tensió en l'eix longitudinal.

La mostra té unes dimensions establertes, de 15 x 150 mm, que en col·locar-la en els suports i aplicar la força de tensió, arriba al punt de ruptura.

Durant la realització de l'assaig, es mesura la força aplicada i la deformació pròpia de la peça en aplicar aquesta força. Amb això, s'obté una gràfica de tensió-deformació, que ens indica com varia la força amb relació a la deformació que experimenta el material. Alhora, a partir de la gràfica, també assolim informació com: resistència a la tracció, deformació elàstica, límit elàstic o deformació plàstica. Tot i això, en el cas d'estudi ens centrem en la força màxima aplicada abans d'arribar al punt de ruptura, índex de resistència i longitud de trencament.



Figura 18. Màquina de tracció

3.8 TRACCIÓ AMB TERMO SEGELLAT

Aquest tipus d'assaig és un mètode utilitzat per mesurar les propietats mecàniques dels materials termoplàstics o termosegellables. Es combina l'assaig de tracció amb un procés de termosegellat per analitzar el comportament del material sotmès a càrregues de tracció.

Es prepara una mostra termoplàstica, en aquest cas la suspensió de recobriment de cera d'abella actua com a termoplàstic i s'uneixen els extrems de dos papers mitjançant el termosegellat. Aquesta acció aplica calor i pressió per fondre la capa de cera d'abella i poder unir els extrems de la mostra, creant una unió sòlida. Seguidament, es realitza l'assaig tradicional de tracció, on la mostra se subjecta als suports de la màquina de tracció i s'aplica una força gradual en sentits oposats fins que es produeix la ruptura.

Mitjançant l'assaig de tracció, es mesura la força aplicada i la deformació de la mostra per produir la ruptura, en funció de l'elongació experimentada. Així mateix, permet avaluar la resistència i la ductilitat de la unió, alhora d'estudiar el comportament de la unió sota forces de tracció.



Figura 19. Màquina de termosegellat

3.9 SCOTT BOND

L'assaig de Scott Bond és un mètode utilitzat per avaluar la cohesió interna d'un material en l'eix Z, o l'adherència o resistència d'un revestiment en una superfície, en aquest cas paper. Se sol fer ús en la indústria de pintures, recobriments i adhesius per determinar la qualitat de la unió entre el revestiment i un substrat.

El procés s'inicia col·locant una capa de cinta adhesiva en l'utilatge, seguidament es col·loca en la part superior de l'adhesiu el paper amb la pel·lícula de cera, aplicada anteriorment, i es col·loca de nou una capa d'adhesiu. Amb la maquinària s'aplica pressió amb la finalitat que quedi perfectament unit.

A continuació, es fa una sèrie de talls per obtenir les provetes i realitzar el cop. Segons els valors aconseguits podrem determinar la força d'unió entre l'adhesiu i la pel·lícula de revestiment de la cera d'abella. Aquest fet es quantifica a partir de la força exercida pel pèndol per tal de separar el paper.

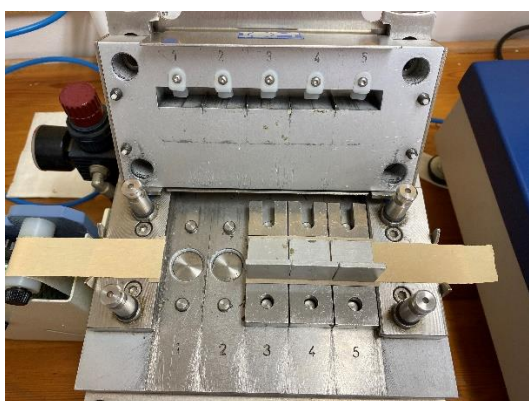


Figura 20. Premsa Scott Bond

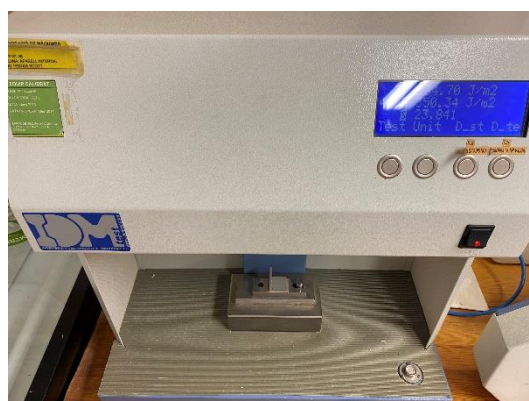


Figura 21. Pèndol Scott Bond

Alhora, cal tenir en compte que els resultats obtinguts de l'assaig Scott Bond poden variar per diversos motius com: substrat, tipus de revestiment o condicions ambientals.

Els resultats assolits s'expressen en J/m^2 .

3.10 HIDROFOBICITAT

L'assaig d'hidrofobicitat a partir de l'angle de contacte d'una gota d'aigua, és un mètode utilitzat per mesurar, quantificar i avaluar la repel·lència a l'aigua d'una superfície, material o recobriments, mitjançant el mesurament de l'angle de contacte format entre la gota i la superfície de contacte.

Es col·loca una petita gota d'aigua en la superfície a analitzar i s'observa la forma en què la gota s'expandeix i s'adhereix a la superfície, utilitzant un analitzador del perfil de gota KRÜSS model DSA25. L'angle de contacte es refereix a l'angle format en el punt de contacte entre la gota, superfície i aire. Aquest angle es mesura entre la línia de contacte de la gota i la superfície sòlida.

Generalment, un angle de contacte inferior a 90° es considera baix i ens indica que la superfície és hidrofílica, ja que la gota s'expandeix i s'adhereix a la superfície. En canvi, un angle de contacte alt, major a 90° , indica una superfície hidrofòbica, on la gota guarda una forma més esfèrica i rellisca sobre la superfície, pel fet que no s'adhereix sobre ella.

Aquest estudi permet la quantificació de la repel·lència a l'aigua de la suspensió de recobriments de cera d'abella i s'utilitza en diversos àmbits com: ciència dels materials, indústria d'embalatges o investigació de recobriments, per avaluar la hidrofobicitat de diferents superfícies a diferents elements.



Figura 22. Analitzador del perfil de gota KRÜSS

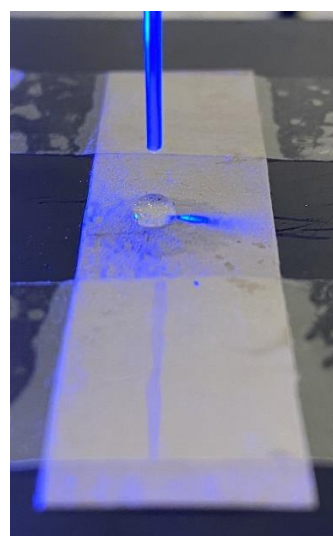


Figura 23. Gota sobre superfície de recobriments de cera d'abella

4 RESULTATS I DISCUSSIÓ

A continuació, s'expressen els resultats obtinguts de totes les proves realitzades, juntament amb les gràfiques i taules corresponents. Quedant la disposició de la següent forma: s'expressen els resultats en funció de les proves portades a terme a cada paper per les diferents concentracions de TEMPO utilitzat per oxidar la nanocel·lulosa i cera d'abella utilitzada, és a dir, les diferents concentracions de TEMPO es veuran reflectides en subapartats.

Cal esmentar que la nomenclatura utilitzada en la identificació de les emulsions realitzades és: TEMPO X + Y% cera d'abella + Z% CNFs +, on TEMPO indica que les fibres han estat oxidades amb aquest component, X fa referència als mmols/g de NaClO afegits en cada mostra per l'oxidació desitjada, Y per la concentració de cera d'abella i Z pel percentatge en pes de nanocel·lulosa en les emulsions.

4.1 ESTABILITAT DE LES EMULSIONS

Respecte a les fibres oxidades amb **TEMPO 5** només es va poder realitzar l'emulsió amb un 1% en pes de nanocel·lulosa, ja que si es disminueix aquesta concentració, no s'aconsegueix una emulsió estable en el temps. Amb això, s'han presentat els resultats disponibles a les proves fetes amb TEMPO 5 + 10% cera d'abella i 1% en pes de nanofibres.

Pel que fa a les fibres oxidades amb **TEMPO 10**, en presentar una oxidació amb TEMPO baixa, l'emulsió resulta més difícil d'aconseguir. Amb això, no es va aconseguir emulsionar les solucions amb un 0,5% i 0,6% de nanocel·lulosa en pes, ja que presenten una concentració de nanofibres molt baixa i no permeten que es formi una fase homogènia abans de passar per l'UltraTurrax. Alhora, l'emulsió que presenta un 1% de nanocel·lulosa en pes, en recobrir els papers presenten excés i l'aplicació no és correcta. Això pot ser causat per l'alta quantitat de fibres i la manca d'aigua lliure, fent que l'emulsió sigui molt espessa i no s'apliqui correctament. D'aquesta manera no es van realitzar les proves mecàniques, ja que els resultats serien falsejats, només es va assajar la prova de resistència a l'aire i transmissió de vapor d'aigua.

Finalment, les fibres oxidades amb **TEMPO 15**, no presentaven cap inconvenient en formar l'emulsió i aplicar el recobriment. Amb això, ens indica que com major és l'oxidació amb TEMPO, i en conseqüència major oxidació, la formació de l'emulsió resultarà més fàcil.

4.1.1 MICROSCOPIA ÒPTICA

A continuació, a la Figura 24, observem una imatge de microscopia òptica per una mostra de fibres oxidades amb TEMPO 15 + 10% cera d'abella. A simple vista, ens permet analitzar de manera detallada la forma de les partícules de cera d'abella, la seva disposició i la seva mida.

Tot i que no s'aprecia adientment, la Figura 24 consta d'una escala de 25 μm , que ens indica clarament la mida de les partícules de cera d'abella. Segons això, visualitzem que algunes de les partícules de cera d'abella tenen una mida aproximada de 20 μm , que és una mida gran. Tot i això, es tracten d'emulsions polidisperses i la gran majoria de partícules de cera d'abella es troben al voltant de les 5 μm de grandària.

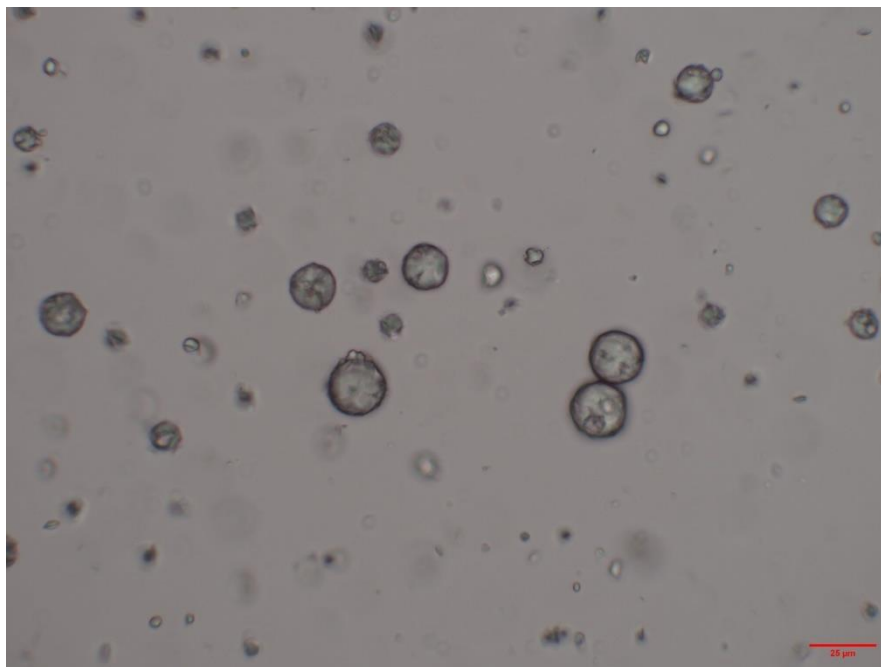


Figura 24. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW

En referència a la forma, s'analitza com disposen d'una esfericitat clara, ja que amb la minimització de la zona d'interfase, la forma resultant és l'esfèrica.

Alhora, s'aprecia com tot i que dues partícules es toquen, no s'arriben a unir entre si, és a dir, no tendeixen a la coalescència. Aquest fet és causat per una barrera d'energia potencial que aporta un equilibri fisicoquímic, fent que les partícules no s'uneixin. La barrera energètica està formada per la relació entre la suma de les forces de repulsió i les forces d'atracció (Van der Waals), fent que les interaccions iòniques entre les nanofibres carregades elèctricament negatives produeixin la repulsió electroestàtica entre elles i evitant que s'ajuntin les partícules.

Amb aquesta informació, arribem a la conclusió que a major oxidació de les fibres, el nombre de càrregues negatives també serà major i, en conseqüència, la repulsió entre partícules també serà major. És a dir, com més carregades estiguin les fibres, l'estabilitat s'obtindrà amb major facilitat. Aquest fet es pot veure reflectit en la dificultat per emulsionar les fibres oxidades amb TEMPO 5 i TEMPO 10, com s'ha comentat anteriorment.

D'altra banda, a l'ANEX II – MICROSCOPIA / SEM, observem a la Figura 33 com quan es realitza una imatge de microscopia amb llum polaritzada, la cera d'abella resulta òpticament activa, a causa dels carbonis quirals propis de la cera d'abella.

4.2 GRUIX I GRAMATGE

Seguidament, es presenten els resultats obtinguts pel paper en blanc, és a dir, sense aplicar cap recobriment sobre el paper. Aquests valors i resultats ens serviran com a referència per analitzar els efectes el recobriment en totes les proves realitzades.

Taula 6. Gramatge del paper en blanc

% CNFs	Full	Dimensions		Pes (g)	Gramatge (g/m ²)	Gramatge mitjà (g/m ²)
		Amplitud (m)	Llargada (m)			
BLANC	F1	0,192	0,316	6,266	103,28	103,44
	F2	0,193	0,316	6,328	103,76	
	F3	0,194	0,312	6,252	103,30	

Taula 7. Gruix del paper en blanc

% CNFs	FULL	GRUIX (mm)				MITJANA (mm)	SD
		1	2	3	4		
BLANC	F1	0,140	0,141	0,142	0,141	0,141	0,001
	F2	0,142	0,140	0,139	0,141	0,141	0,001
	F3	0,137	0,140	0,141	0,141	0,140	0,002

Com s'observa en la Taula 6 i la Taula 7, obtenim valors de gramatge i gruix propis del grau del paper utilitzat durant l'experimentació, "fluting paper". A continuació, a mesura que s'introdueixen les nanofibres oxidades i la cera d'abella veurem l'efecte i alteració que causen, tant en el gramatge com en el gruix del paper.

Taula 8. Gramatge per TEMPO 5 + 10% BW

% CNFs	Full	Dimensions		Pes (g)	Gramatge (g/m ²)	Gramatge mitjà (g/m ²)
		Amplitud (m)	Llargada (m)			
1%	F1	0,191	0,24	5,1450	112,34	110,78
	F2	0,192	0,24	5,1450	111,76	
	F3	0,193	0,237	4,950	108,22	

Taula 9. Gruix per TEMPO 5 + 10% BW

% CNFs	FULL	GRUIX (mm)				MITJANA (mm)	SD
		1	2	3	4		
1%	F1	0,150	0,164	0,165	0,160	0,160	0,007
	F2	0,160	0,162	0,158	0,160	0,160	0,002
	F3	0,153	0,163	0,165	0,163	0,161	0,005



Figura 25. Emulsions TEMPO 5 + 10% BW + 0,8 i 1% CNFs

En aplicar el recobrint, podem observar en la Taula 8 i Taula 9, tant el gruix com el gramatge del paper es veu augmentat, això és causat pel fet d'afegir el recobrint de l'emulsió de cera d'abella. En aplicar aquest recobrint s'afegeix certa massa al paper, igual que gruix.

S'analitza una variació elevada en els dos aspectes, pel fet que l'emulsió amb les nanofibres oxidades amb TEMPO 5 presenta una espessor elevada i en recobrir el paper, la seva distribució és difícil i queden zones amb excés d'emulsió. Aquest fet, a mesura que augmenta el TEMPO utilitzat i les fibres oxidades per a cada mostra, el seu efecte es veurà reduït.

Taula 10. Gramatge per TEMPO 10 + 10% BW

% CNFs	Full	Dimensions		Pes (g)	Gramatge (g/m ²)	Gramatge mitjà (g/m ²)
		Amplitud (m)	Llargada (m)			
0,8%	F1	0,190	0,213	4,247	104,93	105,54
	F2	0,184	0,197	3,846	106,11	
	F3	0,185	0,199	3,887	105,57	
1%	F5	0,187	0,078	1,547	106,07	105,77
	F6	0,078	0,207	1,703	105,47	

Taula 11. Gruix per TEMPO 10 + 10% BW

%CNFs	FULL (REVESTIT)	GRUIX (mm)				MITJANA (mm)	SD
		1	2	3	4		
0,8%	F1	0,146	0,147	0,154	0,149	0,149	0,004
	F2	0,153	0,144	0,148	0,151	0,149	0,004
	F3	0,145	0,148	0,15	0,152	0,149	0,003
1%	F4	0,166	0,158	0,162	0,161	0,162	0,003
	F5	0,152	0,149	0,158	0,152	0,153	0,004
	F6	0,148	0,157	0,159	0,157	0,155	0,005



Figura 26. Emulsions TEMPO 10 + 10% BW + 0,8 i 1% CNFs

Com es pot observar en la Taula 10 i Taula 11, tant el gramatge com el gruix es veuen disminuïts respecte a les mostres de nanofibres oxidades amb TEMPO 5 + 10% cera d'abella, això és causat pel fet que l'emulsió té una viscositat inferior (consistència més líquida) i en aplicar el recobrint, s'aplica de forma més homogènia sense excés en certes zones del paper.

Analitzant els resultats i comparant-los amb el blanc, s'obté un augment de gramatge de 2 g/m². Respecte al gruix, pel recobrint de 0,8% de nanofibres en pes obtenim un augment de 0,007 mm i per l'emulsió d'1% de nanofibres en pes obtenim un augment de gruix de 0,015 mm de mitjana.

Aquesta diferència d'augment en el gruix pot ser causada per la diferència de nanofibres utilitzades en cada emulsió o bé que la zona on s'han pres les mostres de gruix presentava un excés de recobrint, tot i això, no és una diferència substancial.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Taula 12. Gramatge per TEMPO 15 + 10% BW

% CNFs	Full (REVESTIT)	Dimensions		Pes (g)	Gramatge (g/m ²)	Gramatge mitjà (g/m ²)
		Amplitud (m)	Llargada (m)			
0,5%	F12	0,163	0,231	4,018	106,72	105,68
	F11	0,166	0,231	4,037	105,29	
	F10	0,174	0,227	4,148	105,02	
0,6%	F9	0,063	0,063	0,418	105,22	105,27
	F8	0,063	0,063	0,417	105,04	
	F7	0,063	0,063	0,419	105,54	
0,8%	F6	0,063	0,063	0,419	105,52	105,15
	F5	0,187	0,219	4,320	105,47	
	F4	0,183	0,214	4,091	104,46	
1%	F3	0,063	0,063	0,416	104,79	104,91
	F2	0,063	0,063	0,417	104,96	
	F1	0,063	0,063	0,417	104,99	

Taula 13. Gruix per TEMPO 15 + 10% BW

%CNFs	FULL (REVESTIT)	GRUIX (mm)				MITJANA (mm)	DESVIACIÓ ESTÁNDAR
		1	2	3	4		
0,5%	F12	0,148	0,148	0,149	0,146	0,148	0,001
	F11	0,147	0,148	0,15	0,148	0,148	0,001
	F10	0,151	0,15	0,151	0,148	0,150	0,001
0,6%	F9	0,153	0,151	0,152	0,15	0,152	0,001
	F8	0,153	0,152	0,149	0,15	0,151	0,002
	F7	0,156	0,151	0,148	0,15	0,151	0,003
0,8%	F6	0,148	0,145	0,147	0,148	0,147	0,001
	F5	0,148	0,147	0,151	0,15	0,149	0,002
	F4	0,152	0,146	0,153	0,151	0,151	0,003
1%	F3	0,156	0,158	0,154	0,147	0,154	0,005
	F2	0,148	0,145	0,148	0,149	0,148	0,002
	F1	0,152	0,161	0,159	0,153	0,156	0,004



Figura 27. Emulsions TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% / 0,6% / 0,8% i 1% CNFs

Analitzant la Taula 12, s'observa com el gramatge disminueix a mesura que la concentració de nanofibres en pes augmenta. Això pot ser causat pel fet que amb les nanofibres oxidades amb TEMPO 15, obtenim una consistència de l'emulsió més líquida comparada amb les TEMPO 5 o TEMPO 10. Alhora, dins de les fibres oxidades amb TEMPO 15, a mesura que augmenta la concentració de nanofibres en l'emulsió, les partícules de cera d'abella van reduint la seva mida, i veiem com el gramatge disminueix constantment, ja que en aplicar-la sobre el paper es distribueix de forma perfectament homogènia. A més, es torna a veure com l'augment de gramatge respecte al blanc és al voltant de 2 g/m².

Respecte al gruix del paper, en la Taula 13 es pot veure com en aplicar-se l'emulsió de forma homogènia, tot i que varien les concentracions en pes de nanofibres, la variació de gruix és molt petita entre elles. Comparant amb el blanc, es torna a obtenir un augment de gruix d'uns 0,009 mm.

Taula 14. Gramatge per TEMPO 15 + 20% BW

% CNFs	Full (REVESTIT)	Dimensions		Pes (g)	Gramatge (g/m ²)	Gramatge mitjà (g/m ²)
		Amplitud (m)	Llargada (m)			
0,8%	F6	0,190	0,234	5,0503	113,59	112,18
	F5	0,187	0,211	4,4284	112,23	
	F4	0,189	0,220	4,6043	110,73	
1%	F3	0,188	0,232	4,8727	111,72	112,18
	F2	0,190	0,216	4,6011	112,11	
	F1	0,193	0,225	4,8948	112,72	

Taula 15. Guix per TEMPO 15 + 20% BW

%CNFs	FULL (REVESTIT)	GRUIX (mm)				MITJANA (mm)	DESVIACIÓ ESTÁNDAR
		1	2	3	4		
0,8%	F6	0,167	0,174	0,171	0,175	0,172	0,004
	F5	0,16	0,167	0,161	0,167	0,164	0,004
	F4	0,159	0,16	0,163	0,168	0,163	0,004
1%	F3	0,151	0,149	0,160	0,158	0,155	0,005
	F2	0,153	0,158	0,154	0,15	0,154	0,003
	F1	0,158	0,153	0,161	0,164	0,159	0,005



Figura 28. Emulsions TEMPO 15 + 20% BW + 0,5% / 0,6% / 0,8% i 1% CNFs

Per finalitzar, s'analitza els efectes en el gramatge i gruix en aplicar una emulsió de nanofibres oxidades amb TEMPO 15 i 20% de cera d'abella. En la Taula 14 i Taula 15 s'observa com en afegir un 20% de cera d'abella els resultats es veuen augmentats de forma notòria. En afegir el doble de cera d'abella, el gramatge augmenta fins als 112,12 g/m², aproximadament uns 9 g/m² d'augment.

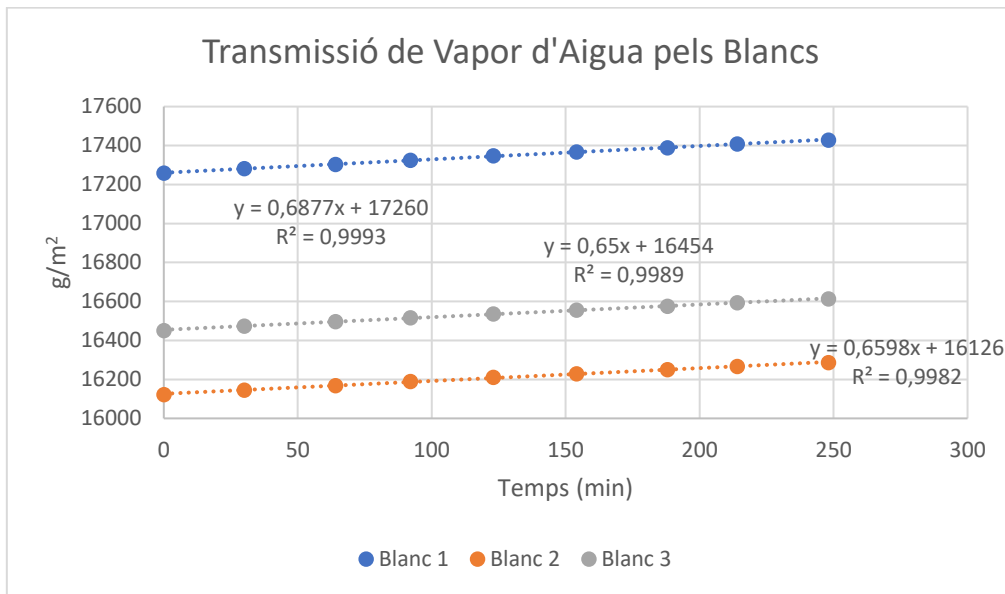
Pel que fa al gruix obtingut, el fet d'introduir el doble de cera d'abella, afecta de manera similar al gramatge, fent que es vegi augmentat de manera considerable. Experimenta un augment de 0,020 mm respecte al blanc, i comparant-ho amb les emulsions de TEMPO 15 amb 10% de cera d'abella que només arriben a un augment de 0,009 mm, s'aprecia com el gruix augmenta fins a dues vegades.

Amb aquests resultats obtinguts, es pot afirmar que la variació visible es produeix quan s'introdueix una quantitat més elevada de cera d'abella. Independentment de l'oxidació de les fibres amb TEMPO 5, TEMPO 10 o TEMPO 15, s'assoleixen valors similars entre elles. A banda de les emulsions que no s'han pogut aplicar correctament per falta de dispersió, com és el cas de les emulsions amb fibres oxidades amb TEMPO 5.

4.3 TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA

4.3.1 PAPER BLANC

En la Gràfica 1, es poden contemplar els pendents formats per les rectes corresponents als WVTR dels papers en blanc. Seguidament, cal multiplicar els valors del pendent per 24 i 60, que convertirà el valor del WVTR a hores i posteriorment a dies, quedant les unitats en $g/m^2 \cdot dia$.



Gràfica 1. WVTR pel Blanc

$$WVTR_1 = 0,6877 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 990,29 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,6500 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 936,00 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,6598 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 950,11 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

A continuació, a la Taula 16 es troba un resum dels valors obtinguts, on podem observar que el valor propi de WVTR pel paper en blanc és el més alt de tots els assaigs realitzats, amb un valor de $958,8 g/m^2 \cdot dia$. Alhora, la desviació estàndard dels valors aconseguits és relativament baixa amb vistes a l'assaig realitzat, ja que una petita variació en el

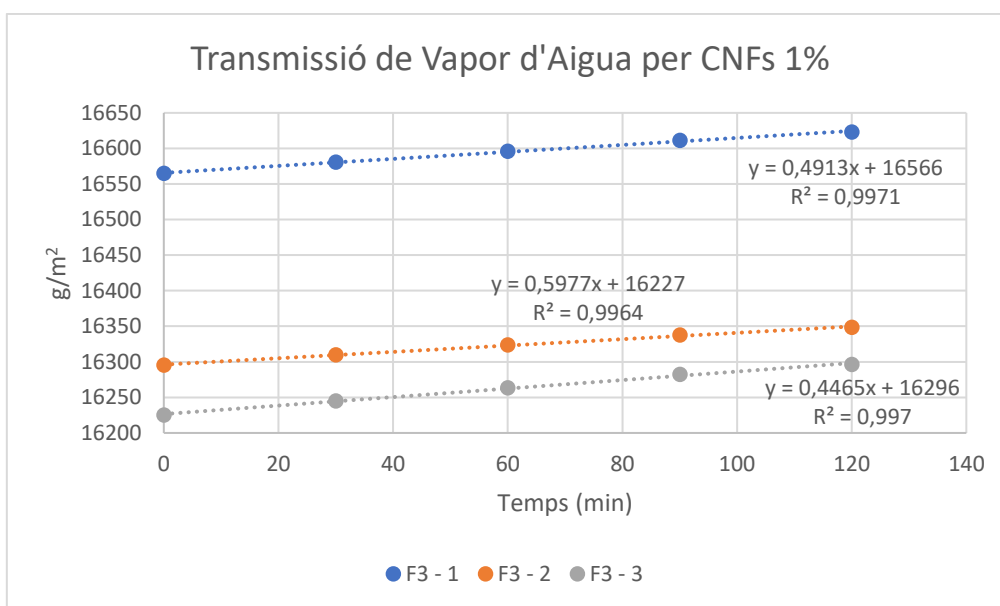
pendent pot ocasionar una gran variació en l'índex final. Amb això, s'assumeix que els valors obtinguts són adients per la prova realitzada.

Taula 16. WVTR pel Blanc

%CNFs	MOSTRA	WVTR (g/m ² · dia)	MITJANA (g/m ² · dia)	SD
BLANC	1	990,29	958,80	28,17
	2	936,00		
	3	950,11		

4.3.2 TEMPO 5 + 10% CERA D'ABELLA

Com en el cas del paper en blanc, obtenim 3 pendents els quals ens permetran conèixer el WVTR per la prova amb fibres oxidades amb TEMPO 5 + 10% cera d'abella. En la Gràfica 2, podem observar els pendents assolits de les corresponents rectes.



Gràfica 2. WVTR pel TEMPO 5 + 10% BW + 1% CNFs

$$WVTR_1 = 04913 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 707,47 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5977 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 860,69 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4465 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 642,96 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

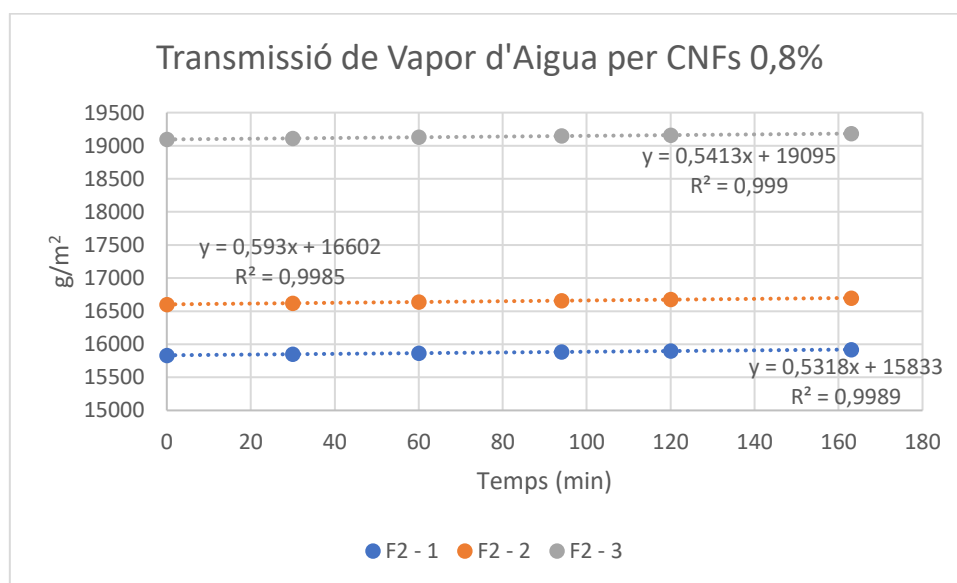
A partir de la Taula 17, s'analitza com el WVTR pel TEMPO 5 + 10% de cera d'abella obtingut (737,04 g/m² · dia) és inferior al corresponent pel paper en blanc, fet que és correcte. Tot i això, el valor obtingut és excessivament baix en comparació amb els valors, que s'analitzaran a continuació, obtingut per TEMPOs més elevats. Aquest fet és indicatiu que, com s'ha comentat, l'emulsió no es va realitzar adequadament i el recobriment presenta excés en certes zones del paper, fent que els resultats no s'ajustin als esperats.

Taula 17. WVTR pel TEMPO 5 + 10% BW

%CNFs	MOSTRA	WVTR (g/m ² · dia)	MITJANA (g/m ² · dia)	SD
1%	1	707,47	737,04	111,84
	2	860,69		
	3	642,96		

4.3.3 TEMPO 10 + 10% CERA D'ABELLA

Seguidament, en la Gràfica 3 i Gràfica 4 trobem els pendents corresponents a les proves realitzades amb les fibres oxidades amb TEMPO 10 i 10% cera d'abella. Alhora, es veu la conversió del pendent de g/m² · min a g/m² · dia.

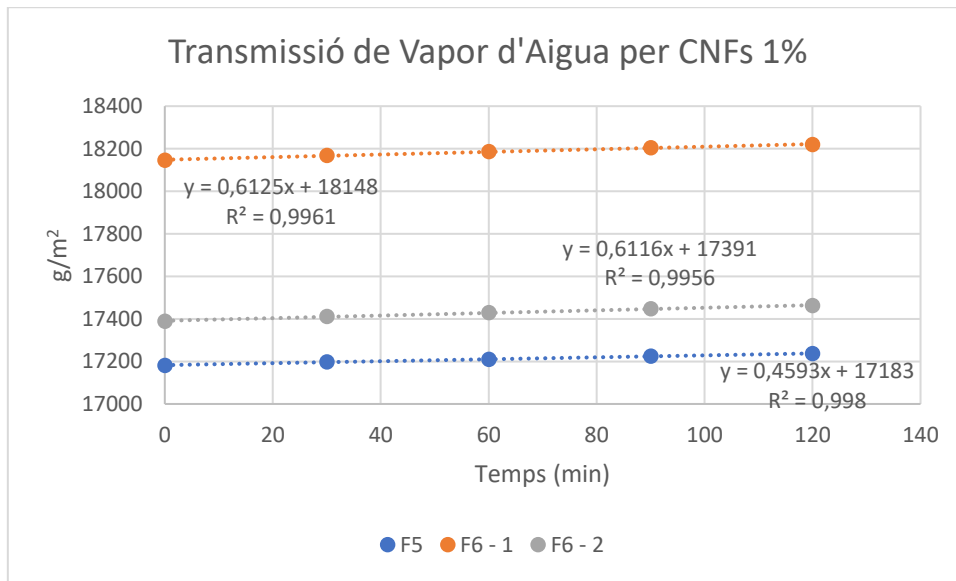


Gràfica 3. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs

$$WVTR_1 = 0,5413 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 779,47 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5930 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 853,92 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,5318 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 765,79 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$



Gràfica 4. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW + 1% CNFs

$$WVTR_1 = 0,6125 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 882,00 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,6116 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 880,70 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4593 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 661,39 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

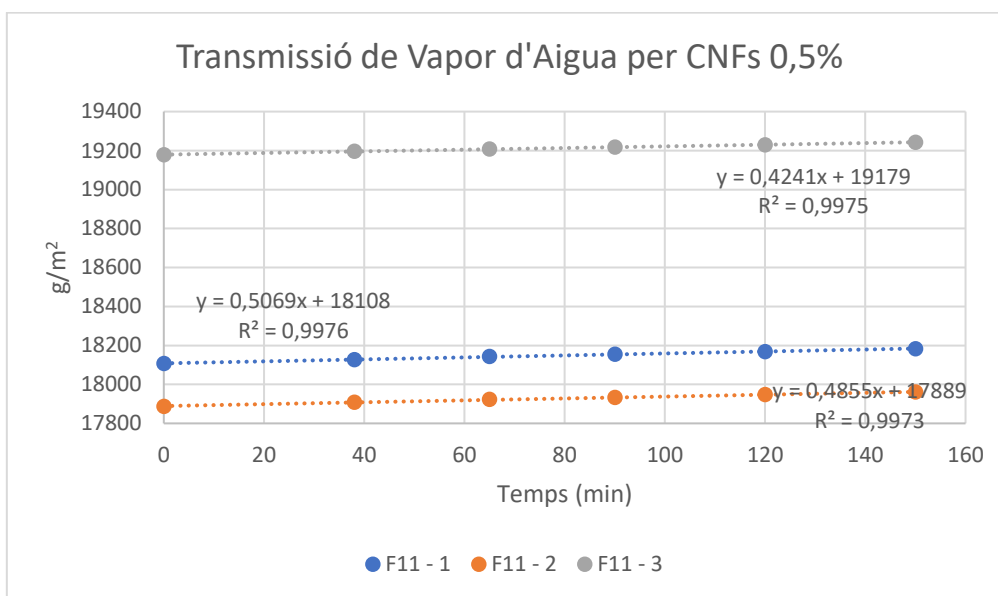
A la Taula 18 trobem els resultats obtinguts del WVTR. S'observa com en ambdues concentracions de nanocel·lulosa el WVTR ha disminuït respecte al blanc, tot i això, els valors aconseguits són massa elevats. Alhora, el WVTR per les dues concentracions de CNFs és molt similar, per tant, podem concloure que per fibres oxidades amb TEMPO 10, la concentració de nanocel·lulosa no és rellevant.

Per contra, seguint el raonament de les proves realitzades, en augmentar la concentració de CNFs es podria esperar que el WVTR disminuís, indicant que amb una major concentració, la penetració del vapor d'aigua a través del paper recobert disminueix. En canvi, aquest fet no és així i trobem que la concentració de CNFs per un TEMPO 10 és irrellevant.

Taula 18. WVTR pel TEMPO 10 + 10% BW

%CNFs	MOSTRA	WVTR (g/m ² · dia)	MITJANA (g/m ² · dia)	SD
0,8%	1	779,47	799,73	47,43
	2	853,92		
	3	765,79		
1%	1	882,00	808,03	127,00
	2	880,70		
	3	661,39		

4.3.4 TEMPO 15 + 10% CERA D'ABELLA

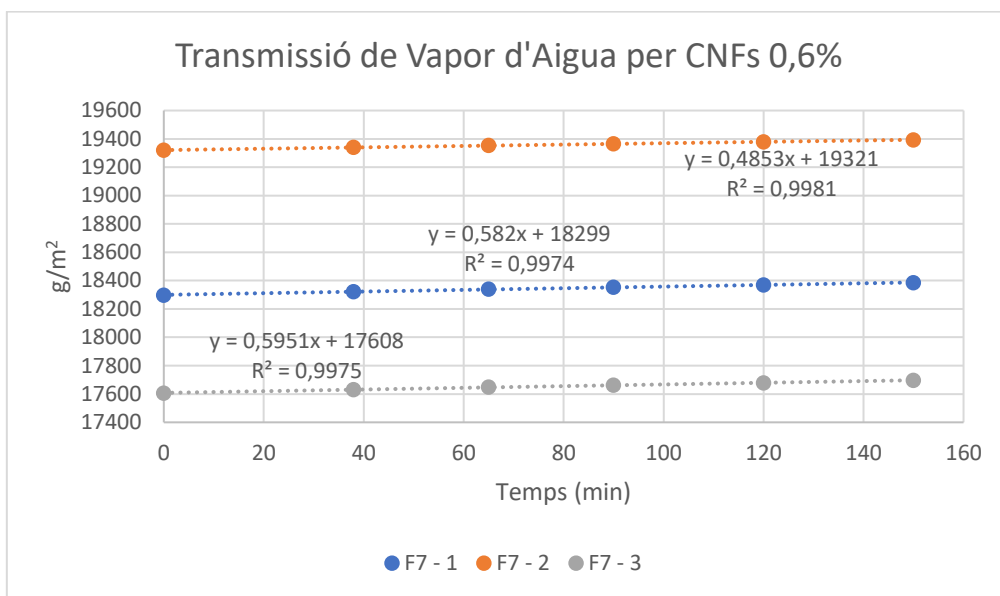


Gràfica 5. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% CNFs

$$WVTR_1 = 0,4241 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 610,70 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5069 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 729,94 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4855 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 699,12 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

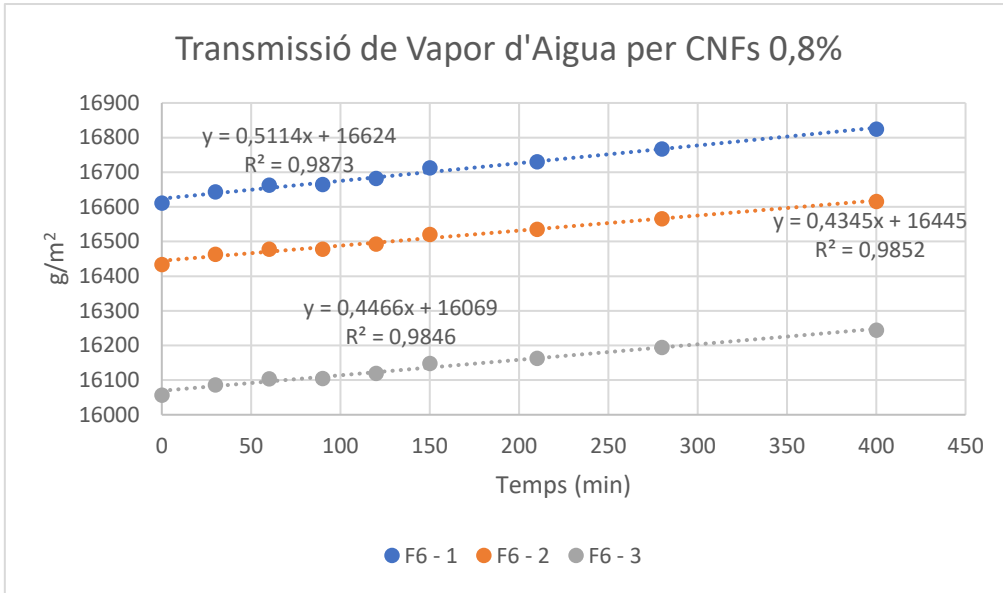


Gràfica 6. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,6% CNFs

$$WVTR_1 = 0,4853 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 698,83 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5820 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 838,08 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,5951 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 856,94 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

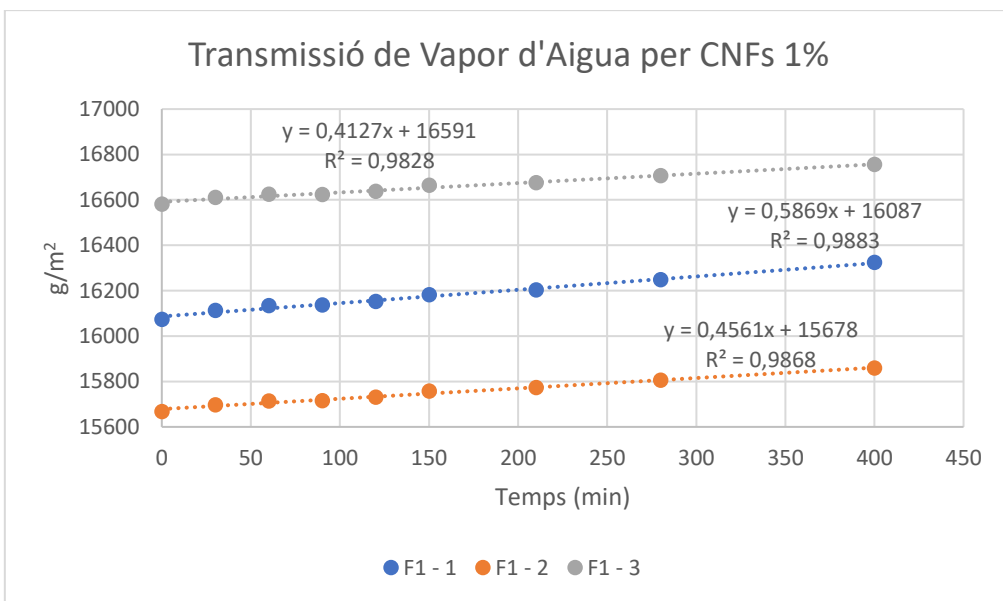


Gràfica 7. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs

$$WVTR_1 = 0,5114 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 736,42 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,4345 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 625,68 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4466 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 643,10 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$



Gràfica 8. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW + 1% CNFs

$$WVTR_1 = 0,4127 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 594,29 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5869 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 845,14 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4561 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 656,78 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

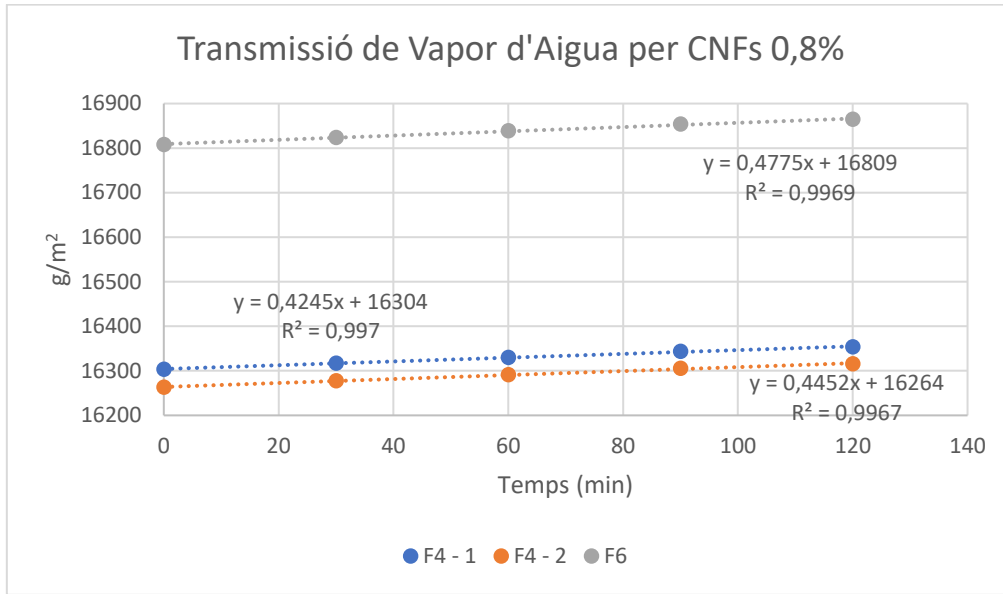
De nou, en la Taula 19 s'observa com en aplicar un recobriments al paper amb un 10% de cera d'abella, el WVTR disminueix respecte al blanc. Alhora, les fibres oxidades amb TEMPO 15 proporcionen una major resistència a la transmissió de vapor d'aigua a través del paper, en comparació amb les fibres oxidades amb TEMPO 5 o 10.

A més, es pot analitzar com la concentració de nanocel·lulosa no afecta els resultats, ja que els resultats obtinguts per totes les concentracions són molt similars, és a dir, el TEMPO amb què s'oxiden les fibres és rellevant en el WVTR, però la concentració de CNFs dins l'emulsió no.

Taula 19. WVTR pel TEMPO 15 + 10% BW

%CNFs	MOSTRA	WVTR (g/m ² · dia)	MITJANA (g/m ² · dia)	SD
0,5%	1	610,70	679,92	61,90
	2	729,94		
	3	699,12		
0,6%	1	698,83	797,95	86,36
	2	838,08		
	3	856,94		
0,8%	1	736,42	668,40	59,55
	2	625,68		
	3	643,10		
1%	1	594,29	698,74	130,58
	2	845,14		
	3	656,78		

4.3.5 TEMPO 15 + 20% CERA D'ABELLA

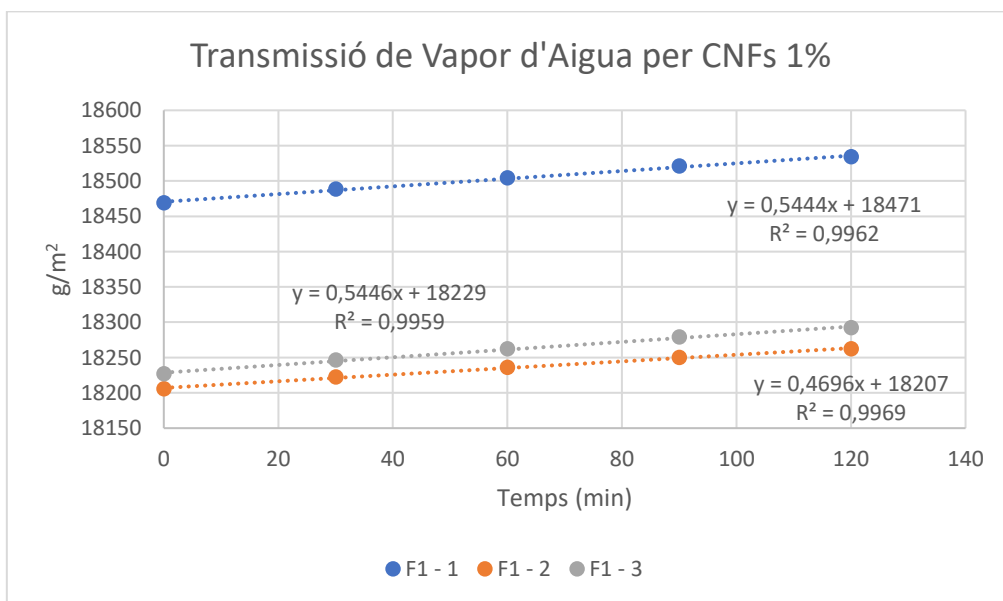


Gràfica 9. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs

$$WVTR_1 = 0,4775 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 687,60 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,4245 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 611,28 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4452 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 641,09 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$



Gràfica 10. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs

$$WVTR_1 = 0,5444 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 783,94 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_2 = 0,5446 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 784,22 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

$$WVTR_3 = 0,4696 \frac{g/m^2}{min} \cdot \frac{60 min}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 dia} = 676,22 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$$

Taula 20. WVTR pel TEMPO 15 + 20% BW

%CNFs	MOSTRA	WVTR (g/m ² · dia)	MITJANA (g/m ² · dia)	SD
0,8%	1	687,60	646,66	38,46
	2	611,28		
	3	641,09		
1%	1	783,94	748,13	62,27
	2	784,22		
	3	676,22		

En la Taula 20, trobem els resultats corresponents a l'assaig realitzat amb fibres oxidades amb TEMPO 15 i 20% cera d'abella. Com en els casos anteriors, veiem uns resultats similars entre les diferents concentracions de CNFs, en aquest cas, les diferències són majors, però la desviació estàndard entre valors indica que els resultats obtinguts podrien oscil·lar i trobar-se més pròxims. Alhora, els valors assolits són inferiors als corresponents pel paper blanc, fet que indica una millora de les propietats enfront del WVTR.

En general, podem assumir que la concentració de CNFs no afecta als resultats del WVTR, però si ho fa la concentració de TEMPO amb què han estat oxidades les fibres. A més, la concentració de cera d'abella tampoc afecta als resultats generals en aquest assaig.

4.4 RESISTÈNCIA A L'AIRE

Taula 21. Resistència a l'aire del paper Blanc

CNFs	MOSTRA	TEMPS (s/100mL)	MITJANA (s/100mL)	SD
BLANC	B1	37,31	39,71	1,60
	B2	40,32		
	B3	41,75		
	B4	38,92		
	B5	39,05		
	B6	40,92		

Taula 22. Resistència a l'aire per TEMPO 5 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	TEMPS (s/100mL)	MITJANA (s/100mL)	SD
1%	F3 - 1	41,64	41,97	2,09
	F3 - 2	44,21		
	F3 - 3	40,06		

Taula 23. Resistència a l'aire per TEMPO 10 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	TEMPS (s/100mL)	MITJANA (s/100mL)	SD
0,8%	F1 - 1	79,28	72,38	13,91
	F1 - 2	92,88		
	F1 - 3	80,78		
	F1 - 4	60,39		
	F1 - 5	61,49		
	F1 - 6	59,46		
1%	F5 - 1	111,24	96,41	21,24
	F6 - 1	105,9		
	F6 - 2	72,08		

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Taula 24. Resistència a l'aire per TEMPO 15 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	TEMPS (s/100mL)	MITJANA (s/100mL)	SD
0,5%	F10 - 1	60,21	60,41	1,62
	F10 - 2	58,35		
	F10 - 3	62,32		
	F10 - 4	59,93		
	F10 - 5	59,31		
	F10 - 6	62,36		
0,6%	F8 - 1	39,25	67,52	4,83
	F8 - 2	69,55		
	F8 - 3	72,57		
	F9 - 1	61,21		
	F9 - 2	66,73		
	F9 - 3	85,85		
0,8%	F4 - 1	81,03	80,13	9,59
	F4 - 2	96,51		
	F4 - 3	80,27		
	F4 - 4	69,21		
	F4 - 5	81,88		
	F4 - 6	71,88		
1%	F1 - 1	128,13	107,70	8,27
	F1 - 2	109,41		
	F1 - 3	103,81		
	F3 - 1	118,4		
	F3 - 2	99,18		
	F3 - 3	88,71		

Taula 25. Resistència a l'aire per TEMPO 15 + 20% BW

CNFs	MOSTRA	TEMPS (s/100mL)	MITJANA (s/100mL)	SD
0,8%	F4 - 1	123,92	108,87	13,58
	F4 - 2	115,10		
	F4 - 3	120,34		
	F4 - 4	108,36		
	F6 - 1	94,37		
	F6 - 2	91,14		
1%	F3 - 1	212,17	200,32	23,01
	F3 - 2	224,88		
	F3 - 3	165,88		
	F3 - 4	218,70		
	F3 - 5	180,83		
	F3 - 6	199,48		

Com es pot apreciar en els resultats obtinguts en la Taula 21, referent a la resistència a l'aire que oposa el paper en blanc, s'obté un valor de 39,71 s/100mL. Aquest valor indica que pel paper en blanc es triguen 39,71 segons per a què flueixi un volum de 100 mL d'aire a través de paper.

Prenent de referència el valor obtingut pel paper blanc (39,71 s/100mL), s'observa com a mesura que augmenta l'oxidació de les fibres i la concentració de nanocel·lulosa en pes per a cada emulsió, el valor de resistència a l'aire també augmenta, són directament proporcionals. Amb això, el millor rendiment per la prova realitzada l'aporten les fibres oxidades amb TEMPO 15 i una concentració d'aquestes de l'1% en pes. Tot i això, comparant tots els resultats obtinguts de les provetes amb recobriment, s'afirma que amb qualsevol mena de recobriment, les propietats enfront de l'aire es veuen millorades.

Per les fibres oxidades amb TEMPO 15 i 10% de cera d'abella, s'obté un valor de resistència a l'aire de 107,70 s/100mL, que incrementa en 10 s/100mL el valor de les fibres oxidades amb TEMPO 10. Per tant, es pot afirmar que l'oxidació òptima per les fibres és amb TEMPO 15 i 1% de CNFs en pes.

Alhora, es pot introduir en la discussió la concentració de cera d'abella que s'addiciona a la mescla i comparar els resultats. Partint de la base que l'oxidació de fibres òptimes és amb TEMPO 15, es compararà el 10% de cera d'abella i el 20% de cera d'abella amb l'oxidació esmentada. S'observa com en augmentar la concentració de cera d'abella al doble, la resistència a l'aire també augmenta proporcionalment, obtenint un valor de 200,32 s/100mL, pràcticament el doble del valor obtingut pel 10% de cera d'abella.

Així i tot, en pràcticament tots els resultats obtinguts obtenim una desviació estàndard elevada fet que indica una dispersió dels resultats elevada i, per tant, una estimació de la mitjana menys precisa, causat pels pocs valors en cada mostra i la corresponent dispersió dels resultats.

Per tant, es pot concloure que l'objectiu inicial de l'experimentació on es plantejava una resistència a l'aire de 1800 s/100mL no s'assoleix, tot i això, s'obté un valor acceptable i notable en comparació al paper en blanc sense cap tipus de recobriment.

4.5 REBENTAMENT

Taula 26. Pressió de rebentament del paper Blanc

CNFs	MOSTRA	PRESSIÓ (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kPa)	PRESSIÓ MITJANA (kPa · m ² /g)	SD
BLANC	B1	1,84	2,09	204,96	1,98	0,19
	B2	2,04				
	B3	2,21				
	B4	2,27				

En la Taula 26, adquirim els resultats de la pressió de rebentament necessària per al paper en blanc, el valor és de 2,09 kg/cm² de mitjana, que equivalen a 204,96 kPa (en SI), també, s’ha realitzat la conversió tenint en compte el gramatge del paper blanc, que dividint el resultat en kPa entre el gramatge, ens dona un valor d’1,98 kPa · m²/g. S’observa que el valor obtingut implica una gran pressió perquè el paper assoleixi el punt crític de rebentament. En aplicar les diferents emulsions amb les diferents concentracions de nanofibres, s’espera aconseguir un augment en els resultats de pressió. A continuació, s’analitzen els resultats obtinguts.

Taula 27. Pressió de rebentament amb TEMPO 5 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	PRESSIÓ (Kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kPa)	PRESSIÓ MITJANA (kPa · m ² /g)	SD
1%	F3 - 1	2,27	2,38	233,39	2,16	0,16
	F3 - 2	2,56				
	F3 - 3	2,29				

Taula 28. Pressió de rebentament amb TEMPO 10 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	PRESSIÓ (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kPa)	PRESSIÓ MITJANA (kPa · m ² /g)	SD
0,8%	F2 - 1	2,24	2,35	230,46	2,17	0,00
	F2 - 2	2,26				
	F2 - 3	2,25				
1%	F5	2,20	2,29	224,57	2,13	0,11
	F6 - 1	2,41				
	F6 - 2	2,26				

Taula 29. Pressió de rebentament amb TEMPO 15 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	PRESSIÓ (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kPa)	PRESSIÓ MITJANA (kPa · m ² /g)	SD
0,5%	F11 - 1	2,18	2,16	211,82	2,01	0,06
	F11 - 2	2,09				
	F11 - 3	2,21				
0,6%	F8 - 1	2,14	2,22	217,71	2,08	0,09
	F8 - 2	2,29				
	F8 - 3	2,31				
	F9 - 1	2,15				
0,8%	F4 - 1	2,25	2,27	222,61	2,12	0,08
	F4 - 2	2,36				
	F4 - 3	2,29				
	F4 - 4	2,17				
1%	F1 - 1	2,32	2,38	233,39	2,24	0,08
	F1 - 2	2,31				
	F1 - 3	2,46				
	F3 - 1	2,44				

Taula 30. Pressió de rebentament amb TEMPO 15 + 20% BW

CNFs	MOSTRA	PRESSIÓ (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kg/cm ²)	PRESSIÓ MITJANA (kPa)	PRESSIÓ MITJANA (kPa · m ² /g)	SD
0,8%	F4 - 1	2,14	2,28	223,59	1,97	0,145
	F4 - 2	2,27				
	F6	2,43				
1%	F1 - 1	2,41	2,45	240,26	2,15	0,054
	F1 - 2	2,51				
	F1 - 3	2,43				

Comparant tots els resultats obtinguts de les provetes amb recobriment, s'observa que amb qualsevol mena de recobriment, les propietats enfront de la pressió de rebentament es veuen millorades, ja que en obtenir valors més elevats respecte al blanc ens indica que per trencar el paper amb una força de pressió caldrà exercir-ne una quantitat més elevada.

Concretament, si en fixem en la Taula 27, com s'ha comentat anteriorment, la formació de l'emulsió amb les fibres oxidades amb TEMPO 5 ha estat més complexa, fet que implica una distribució menys homogènia al llarg del paper. Amb això es pot explicar el

valor tan elevat ($2,38 \text{ kg/cm}^2$) obtingut per aquest tipus de fibres, ja que seria d'esperar que fos el pitjor i, en canvi, és el millor.

D'altra banda, si analitzem les fibres oxidades amb TEMPO 10 i TEMPO15, obtenim uns resultats experimentals semblants als esperats teòricament. A mesura que augmentem la concentració de nanofibres en pes en les emulsions, la pressió de rebentament també augmenta, ja que en augmentar la quantitat de fibres es necessitarà més força de pressió per possibilitar la ruptura del paper.

Finalment, trobem com els valors de pressió mitjana tenint en compte el gramatge, poden induir a lectures dels resultats errònies, ja que com es té en compte el resultat del gramatge, podria ser que en dividir els kPa per un gramatge elevat resulti en un valor inferior de $\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ a un altre que anteriorment els kPa havien estat més elevats.

4.6 ÍNDEX D'ESQUINÇAMENT

A la Taula 31, observem el valor d'esquinçament pel paper en blanc, el resultat ens indica la força realitzada per produir el tall i el posterior esquinçament. El valor obtingut és de $6,99 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$.

Taula 31. Índex d'esquinçament pel paper Blanc

CNFs	MOSTRA	FORÇA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	MITJANA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	SD
BLANC	B1	6,99	6,99	---
	B2			

En la Taula 32, es poden veure els resultats de la força d'esquinçament per TEMPO 5 i 10% de cera d'abella. Els valors obtinguts són relativament constants i propers a la mitjana, fet que suggereix uniformitat en la resistència a l'esquinçament ($6,56 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$). Tot i això, es pot apreciar com els valors obtinguts són inferiors al blanc, fet que ens indica la pèrdua de propietats enfront l'esquinçament a causa de la poca oxidació de les fibres i la costosa plastificació del paper.

Taula 32. Índex d'esquinçament amb TEMPO 5 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	FORÇA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	MITJANA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	SD
1%	F3 - 1	6,75	6,56	0,16
	F3 - 2			
	F3 - 3	6,45		
	F3 - 4			
	F3 - 5	6,49		
	F3 - 6			

Analitzant la Taula 33, obtenim els únics resultats favorables de tot l'assaig d'esquinçament, amb una oxidació i concentració de fibres moderada, TEMPO 10 + 10% cera d'abella i 0,8% CNFs en pes. La mitjana ens proporciona el valor més elevat per totes les provetes analitzades amb un valor de $7,51 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$.

Taula 33. Índex d'esquinçament amb TEMPO 10 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	FORÇA (mN · m ² /g)	MITJANA (mN · m ² /g)	SD
0,8%	F1 - 1	7,77	7,51	0,38
	F1 - 2			
	F1 - 3	7,08		
	F1 - 4			
	F1 - 5	7,68		
	F1 - 6			

A la Taula 34, es poden analitzar els resultats de l'índex d'esquinçament per les CNFs oxidades amb TEMPO 15 i 10% de cera d'abella. En general, els valors d'esquinçament oscil·len entre 6,07 i 7,59 mN · m²/g, on el valor més alt correspon a la mostra amb un 0,5% de CNFs en pes i la més baixa per les CNFs d'1% en pes.

Al contrari que al llarg de tota l'experimentació, en aquest cas ens trobem que els resultats òptims els obtenim amb concentracions de CNFs inferiors, ja que amb concentracions en pes de 0,5% i 0,6% de CNFs obtenim els valors més alts d'índex d'esquinçament. Aquest fet ens pot indicar que amb concentracions moderades de CNFs exhibeixen una millor resistència a l'esquinçament. En canvi, per concentracions elevades de nanofibres ens mostren valors inferiors, els quals suggereixen una possible influència negativa de l'elevada concentració de CNFs.

Ahora, aquesta influència negativa de l'excés de nanofibres es pot veure reflectida en la comparació amb el blanc, ja que a partir d'una concentració de 0,8% en pes, els resultats obtinguts són inferiors al blanc.

Taula 34. Índex d'esquinçament amb TEMPO 15 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	FORÇA (mN · m ² /g)	MITJANA (mN · m ² /g)	SD
0,5%	F10 - 1	7,59	7,12	0,44
	F10 - 2			
	F10 - 3	7,04		
	F10 - 4			
	F10 - 5	6,72		
	F10 - 6			
0,6%	F9 - 2	7,14	7,14	---
	F9 - 3			
0,8%	F4 - 5	6,13	6,13	---
	F4 - 6			
1%	F3 - 2	6,07	6,07	---
	F3 - 3			

A partir de la Taula 35, podem realitzar la comparació de les fibres oxidades amb TEMPO 15 amb 20% de cera d'abella respecte a un 10% de cera d'abella.

Es pot examinar com tot i augmentar la concentració de cera d'abella, l'excés de CNFs ens afecta negativament. S'obtenen uns resultats millors en comparació amb el 10% de cera d'abella, però, tot i això, encara pitjors al blanc, i en aquest cas, a mesura que augmenta la concentració de CNFs, també ho fa l'índex d'esquinçament.

Comparant estrictament els resultats, per un 0,8% de fibres en pes i 20% de cera d'abella obtenim una força d'esquinçament de $6,59 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$, mentre que pel 10% de cera d'abella obtenim una força de $6,13 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$. Referent a l'1% de CNFs obtenim una força de $6,96 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ pel 20% de cera d'abella, mentre que pel 10% de cera d'abella obtenim una força de $6,07 \text{ mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$.

Taula 35. Índex d'esquinçament amb TEMPO 15 + 20% BW

CNFs	MOSTRA	FORÇA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	MITJANA ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)	SD
0,8%	F5 - 1	7,06	6,59	0,45
	F5 - 2			
	F5 - 3	6,16		
	F5 - 4			
	F5 - 5	6,55		
	F5 - 6			
1%	F3 - 1	6,72	6,96	1,09
	F3 - 2			
	F3 - 3	6,02		
	F3 - 4			
	F3 - 5	8,15		
	F3 - 6			

4.7 TRACCIÓ

En la Taula 36, podem analitzar els resultats complets de l'assaig de força de tracció pel paper en blanc. S'observa com la força màxima varia lleugerament entre les mostres, oscil·la entre 35,58 i 37,58 N. Respecte a l'índex de resistència (TS), igual que la força màxima, varia entre els 2372 i els 2505,33 N/m, aquest factor relaciona la resistència a la tracció del paper en funció de l'amplada. Finalment, la longitud de trencament (BL) es manté relativament constant al voltant dels 2433,33 m de mitjana.

Els valors més alts de F màx i TS indiquen que algunes mostres poden tenir una resistència superior a la tracció. Això podria ser degut a una millor interconnexió de les fibres en aquestes mostres o una distribució més uniforme de les fibres a la matriu del paper.

Taula 36. Força de tracció del paper Blanc

CNFs	MOSTRA	GRUIX (μm)	GRAMATGE (g/m^2)	F màx (N)	TS (N/m)	BL (m)
BLANC	B1	145	102	36,75	2450,00	2450,00
	B2	146	102	35,58	2372,00	2372,00
	B3	145	102	36,50	2433,33	2433,33
	B4	145	102	37,58	2505,33	2505,33

Observant la Taula 37 i Taula 38, podem veure com els valors no varien gaire respecte dels valors obtinguts del paper en blanc. En general, els valors de F màx i TS a les mostres amb CNFs són lleugerament més baixos que en el paper blanc, però les diferències són relativament petites. Això suggereix que l'addició de CNFs podria afectar marginalment la resistència del paper a la tracció. L'oxidació de les fibres segons TEMPO 5 o TEMPO 10 i concentració de CNFs sembla tenir un efecte mínim en la resistència, ja que les diferències entre les mostres amb CNFs a l'1% i al 0,8% no són significatives en termes de F màx i TS.

Aquesta problemàtica pot ser ocasionada per la cera d'abella, ja que no permet a les fibres entrar en la matriu del paper i millorar les propietats enfront dels esforços de tracció. Tot i que presenten només un 10% de cera d'abella, en ser difícilosa la seva emulsió, provoca l'excés de recobriment i la posterior dificultat de penetració de les fibres.

Taula 37. Força de tracció amb TEMPO 5 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	GRUIX (μm)	GRAMATGE (g/m^2)	F màx (N)	TS (N/m)	BL (m)
1%	F1 - 1	160	111,3	31,17	2078,00	1904,37
	F1 - 2	160	111,3	34,00	2266,67	2077,27
	F1 - 3	160	111,3	34,42	2294,67	2102,93
	F1 - 4	160	111,3	32,42	2161,33	1980,74

Taula 38. Força de tracció amb TEMPO 10 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	GRUIX (μm)	GRAMATGE (g/m^2)	F màx (N)	TS (N/m)	BL (m)
0,8%	F3 - 1	147	105,5	34,58	2305,33	2228,85
	F3 - 2	147	105,5	32,92	2194,67	2121,86
	F3 - 3	147	105,5	33,17	2211,33	2137,97

En la Taula 39, observem l'efecte de l'addició de CNFs oxidades amb TEMPO 15 i un 10% de cera d'abella. A mesura que augmentem la concentració de CNFs (de 0,5% a 1%), es veu una tendència general, tot i que molt petita, a l'augment en la força màxima de tracció. Alhora, l'índex de resistència també segueix aquesta tendència, ja que són directament proporcionals. Finalment, respecte a la longitud de trencament (BL) les variacions són mínimes entre totes les mostres, fet que indica que l'addició de CNFs no afecta aquesta propietat.

En general, les variacions dels resultats en funció de les concentracions de nanocel·lulosa, varien poc entre si, però comparant els resultats amb el blanc podem analitzar clarament com les propietats milloren exponencialment.

Taula 39. Força de tracció amb TEMPO 15 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	GRUIX (μm)	GRAMATGE (g/m^2)	F màx (N)	TS (N/m)	BL (m)
0,5%	F12 - 1	150	105	101,92	6794,67	6600,53
	F12 - 2	147	105	102,33	6822,00	6627,09
	F12 - 3	148	105	84,58	5638,67	5477,56
0,6%	F8 - 1	146	103	95,25	6350,00	6288,35
	F8 - 2	148	103	98,50	6566,67	6502,91
	F8 - 3	150	103	100,50	6700,00	6634,95
0,8%	F5 - 1	149	105,4	101,33	6755,33	6537,42
	F5 - 2	149	105,4	100,83	6722,00	6505,16
	F5 - 3	149	105,4	104,17	6944,67	6720,65
1%	F2 - 1	152	105	94,67	6311,33	6131,01
	F2 - 2	152	105	102,17	6811,33	6616,72
	F2 - 3	149	105	100,17	6678,00	6487,20

Resumint, en la Taula 39 podem concloure que l'augment progressiu de la concentració de CNFs millora les propietats de resistència del paper. Això indica que les CNFs contribueixen positivament a la resistència mecànica del paper.

Igual que ha passat amb les mostres de fibres oxidades amb TEMPO 5 i TEMPO 10, trobem en la Taula 40 que un excés de cera d'abella en l'emulsió afecta negativament en tots els paràmetres. Aquest fet pot ser causat perquè l'excés de cera d'abella no permet a la nanocel·lulosa entrar en la matriu del paper i millorar les propietats.

Obtenim una força màxima al voltant dels 32 N i un índex de resistència a la tracció de 2200 N/m. Tots aquests resultats són molt similars als assolits del paper en blanc.

Taula 40. Força de tracció amb TEMPO 15 + 20% BW

CNFs	MOSTRA	GRUIX (μm)	GRAMATGE (g/m^2)	F màx (N)	TS (N/m)	BL (m)
1%	F2 - 1	160	112,7	33,00	2200,00	1991,13
	F2 - 2	159	112,7	32,17	2144,67	1941,05
	F2 - 3	162	112,7	33,42	2228,00	2016,47
	F2 - 4	159	112,7	30,25	2016,67	1825,20

4.8 TRACCIÓ AMB TERMOSEGELLAT

Les emulsions realitzades amb només un 10% de cera d'abella, no contenen la quantitat suficient d'aquest component com per un cop aplicada l'emulsió sobre el paper, que els papers tinguin la capacitat d'unir-se aplicant calor i pressió. Amb això, només s'ha fet l'assaig amb les fibres oxidades amb TEMPO 15, les quals obteníem els millors resultats, i amb un 20% de cera d'abella.

A la Taula 41, s'observa com tot i utilitzar el doble de cera d'abella, els resultats són poc significatius, ja que tot i produir-se l'adhesió, la força necessària per separar-los de nou és pràcticament negligible.

Tot i obtenir aquests resultats, es pot analitzar la funció de les nanofibres i la importància de la quantitat d'aquestes, per un 0,8% de nanofibres en pes en l'emulsió, obtenim una força de 0,093 mN · m²/g, en canvi, per una concentració de nanocel·lulosa en pes de l'1%, obtenim un resultat de 0,18 mN · m²/g, pràcticament el doble en comparació de les CNFs 0,8%.

Taula 41. Força de tracció amb termosegellat amb TEMPO 15 + 20% BW

CNFs	MOSTRA	FORÇA MITJANA (mN · m ² /g)	MITJANA (mN · m ² /g)	SD
0,8%	F6 - 1	0	0,093	0,10
	F6 - 2	0		
	F6 - 3	0,082		
	F6 - 4	0,082		
	F6 - 5	0,196		
	F6 - 6	0,196		
1%	F2 - 1	0,248	0,18	0,16
	F2 - 2	0,248		
	F2 - 3	0		
	F2 - 4	0		
	F2 - 5	0,288		
	F2 - 6	0,288		

4.9 SCOTT BOND

En la Taula 42, observem els resultats de l'assaig pel blanc, on s'obté una força superficial de 325,73 J/m² per separar les dues parts del paper. Alhora si ens fixem en la desviació estàndard obtenim un valor relativament alt, de 22,01, que ens indica dispersió de les dades elevades.

Taula 42. Scott Bond del paper Blanc

CNFs	MOSTRA	ENERGIA SUPERFICIAL (J/m ²)	MITJANA (J/m ²)	SD
BLANC	1	332,68	325,73	22,01
	2	340,78		
	3	287,84		
	4	326,59		
	5	340,78		

En la Taula 43, s'observen els resultats referents a les fibres oxidades amb TEMPO 5 i 10% de cera d'abella. Es pot extreure la informació que els resultats són poc significatius, ja que tots els resultats obtinguts són pitjors que el blanc. Aquest fet pot ser causat pel fet que en aplicar el recobriments de cera d'abella, la segona capa de cinta no s'adhereix correctament i els resultats extrets en realitzar l'assaig no són adients, amb això podem concloure que els resultats obtinguts han estat falsejats.

Tot i això, el resultat obtingut per les fibres oxidades amb TEMPO 5 + 10% cera d'abella ha estat d'una energia de 186,32 J/m², resultat inferior al blanc.

Taula 43. Scott Bond amb TEMPO 5 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	ENERGIA SUPERFICIAL (J/m ²)	MITJANA (J/m ²)	SD
1%	F1 - 1	194,17	186,324	35,40
	F1 - 2	196,22		
	F1 - 3	220,78		
	F1 - 4	126,28		
	F1 - 5	194,17		

Referent a les fibres oxidades amb TEMPO 10 i TEMPO 15, obtenim resultats molt semblants per totes les concentracions de nanocel·lulosa, només s'observen petites

variacions que poden ser degudes a la realització de l'assaig. Els valors d'energia aconseguits oscil·len entre 330 i 350 J/m².

Taula 44. Scott Bond amb TEMPO 10 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	ENERGIA SUPERFICIAL (J/m ²)	MITJANA (J/m ²)	SD
0,8%	F3 - 1	320,49	335,50	11,96
	F3 - 2	344,83		
	F3 - 3	324,56		
	F3 - 4	344,83		
	F3 - 5	342,81		

Taula 45. Scott Bond amb TEMPO 15 + 10% BW

CNFs	MOSTRA	ENERGIA SUPERFICIAL (J/m ²)	MITJANA (J/m ²)	SD
0,5%	1	356,95	345,18	23,65
	2	381,08		
	3	328,62		
	4	334,70		
	5	324,56		
0,6%	1	375,06	331,40	25,84
	2	334,70		
	3	312,35		
	4	316,42		
	5	318,46		
0,8%	1	403,08	354,42	33,16
	2	365,01		
	3	314,38		
	4	352,91		
	5	336,73		
1%	1	352,91	350,87	17,05
	2	379,08		
	3	346,85		
	4	336,73		
	5	338,76		

Un cas semblant a les fibres oxidades amb TEMPO 5 i 10% de cera d'abella, són les fibres oxidades amb TEMPO 15 però 20% de cera d'abella, ja que els resultats obtinguts són inferiors als del blanc. Ho podem observar en la Taula 46.

Aquest fet és causat per la gran quantitat de cera d'abella utilitzada, amb això el recobriment aplicat al paper ocasiona una gran quantitat de cera en la superfície del

paper fent que la cohesió entre el paper i el recobriments no sigui òptima, i en conseqüència, les bandes adhesives no s'adhereixin correctament. Seguidament en realitzar l'assaig de Scott Bond, el pèndol no ha de generar força per a separar les parts.

Taula 46. Scott Bond amb TEMPO 15 + 20% BW

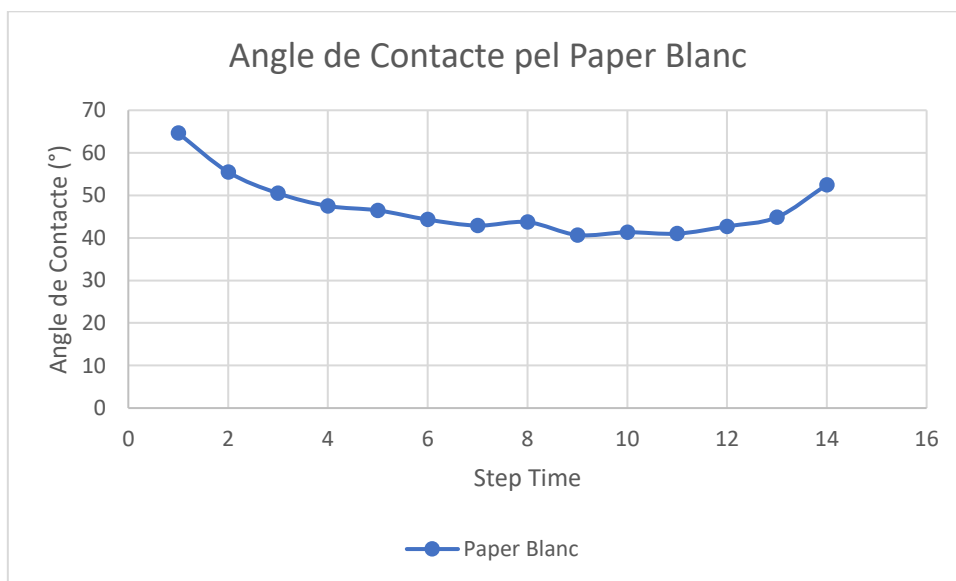
CNFs	MOSTRA	ENERGIA SUPERFICIAL (J/m ²)	MITJANA (J/m ²)	SD
1%	1	174,20	60,03	14,82
	2	54,777		
	3	50,568		
	4	82,114		
	5	52,673		

Amb els resultats obtinguts d'aquest assaig es pot concloure que l'assaig de Scott Bond no és una prova determinant per caracteritzar les propietats del recobriments, ja que els resultats obtinguts són molt semblants. Alhora, cal esmentar que, com s'ha vist al llarg de tota l'experimentació, les fibres oxidades amb TEMPO 5 no ens aporten uns resultats fiables a causa de la seva dificultat emulsionant.

4.10 HIDROFOBICITAT

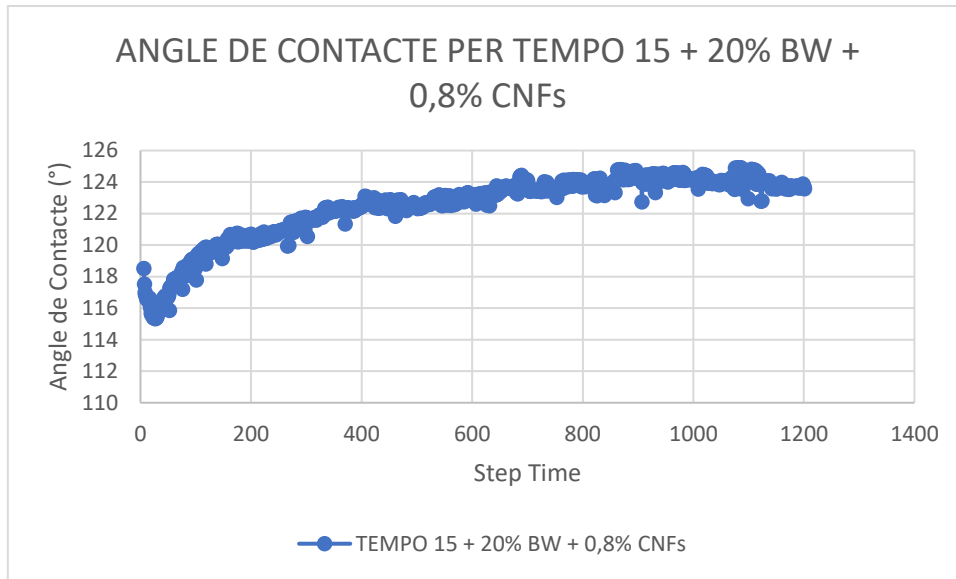
Inicialment, cal esmentar que l'assaig només s'ha realitzat amb les provetes que contenen un 20% de cera d'abella, ja que es va realitzar una prova qualitativa i es va poder analitzar com les provetes amb només un 10% de cera d'abella tenien el mateix efecte que el paper en blanc. Amb això, la primera conclusió que podem extreure és que la quantitat de cera d'abella crítica per hidrofobitzar el paper és del 20%, per tant, les proves dutes a terme són amb fibres oxidades amb TEMPO 15 + 20% cera d'abella.

A la Gràfica 11, podem analitzar com l'angle de contacte de la gota d'aigua i el paper en blanc inicia als 65° i a mesura que avança el temps d'experimentació es redueix l'angle fins a arribar als 40°, on s'estabilitza. Alhora, observem com al final de la prova, l'angle de contacte torna a augmentar, però aquest fet és degut al fet que el paper ha absorbit l'aigua i es deforma, fent que es perdi la línia recta de referència marcada.



Gràfica 11. Angle de Contacte pel Paper Blanc

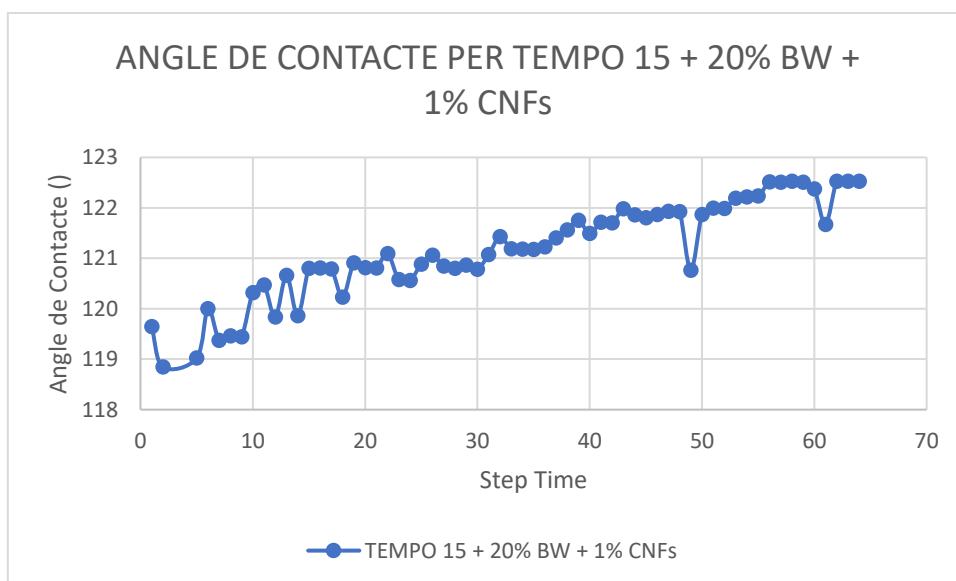
A continuació, a la Gràfica 12 es pot observar clarament l'efecte de l'addició de la cera d'abella. En el paper en blanc, la prova s'estabilitza als 40°, mentre que amb un 20% de cera d'abella l'assaig s'estabilitza als 120° aproximadament. Alhora, a mesura que el temps avança amb un 20% de cera d'abella aconseguim una estabilització de l'angle de contacte superior als 10 minuts, mentre que pel paper en blanc en només 1 minut ja es produïa la deformació del paper.



Gràfica 12. Angle de Contacte per TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs

En la Gràfica 13, podem veure de nou l'efecte de l'addició de la cera d'abella en l'assaig d'hidrofobicitat, però en aquest cas per fibres oxidades amb TEMPO 15 i un 1% de CNFs en pes. Es pot analitzar com l'angle de contacte resultant és de 120° aproximadament, de nou. A més, a mesura que avança el temps d'assaig l'angle s'estabilitza durant més de 10 minuts.

Amb això, podem concloure que l'angle de contacte entre el paper recobert i l'aigua està influenciat clarament per la quantitat de cera d'abella en l'emulsió. En canvi, l'oxidació de les fibres i la concentració en pes d'aquestes no és rellevant.



Gràfica 13. Angle de Contacte per TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs

Seguidament, a la Figura 29 podem veure l'angle de contacte format entre la gota d'aigua i el paper revestit. S'observa un angle superior als 120° i una línia blava que marca la referència per prendre els valors. La forma esfèrica de la gota ens indica una hidrofobicitat del paper bona i constant en el temps.

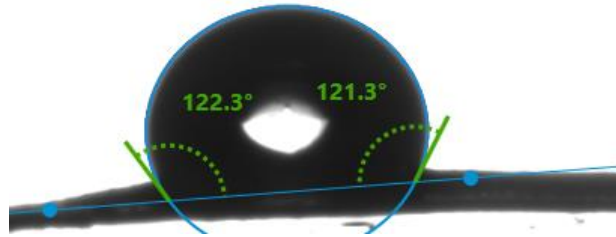


Figura 29. Angle de contacte

5 CONCLUSIONS

Aquest apartat se centrarà en les conclusions obtingudes al llarg de tota la realització del Treball de Final de Grau. S'analitzaran les emulsions aconseguides amb els corresponents recobriments i els assaigs realitzats, així com analitzar si els objectius inicials establerts s'han pogut assolir.

1. En relació amb l'**ESTABILITAT DE LES EMULSIONS**, es pot observar que els resultats més satisfactoris els obtenim amb l'oxidació amb TEMPO 15, ja que la formació de l'emulsió i l'aplicació del recobriment resulta més fàcil. Alhora, per oxidacions de fibres amb TEMPO 5 i TEMPO 10, per les mateixes concentracions de CNFs en comparació amb les fibres oxidades amb TEMPO 15, no aconseguíem la formació de l'emulsió o no tenia les propietats òptimes per la seva aplicació,
2. El **GRUIX I GRAMATGE**, en condicions ideals (sense excés de recobriment i emulsió amb viscositat adient), varia en funció de la concentració de CNFs i cera d'abella, com major concentració d'aquests dos components, major serà el gramatge i gruix del paper.
3. Referent a la **TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA**, en general, podem assumir que la concentració de CNFs no afecta els resultats del WVTR, però si ho fa la concentració de NaClO amb què han estat oxidades les fibres. A més, la concentració de cera d'abella dins un mateix TEMPO no afecta els resultats generals en aquest assaig. En aplicar qualsevol recobriment amb cera d'abella, s'observa com la resistència a la transmissió del vapor d'aigua augmenta, fent que el valor de WVTR disminueixi.
4. Corresponent a la **RESISTÈNCIA A L'AIRE**, s'observa clarament com la millora de les propietats enfront de la resistència a l'aire és directament proporcional a les concentracions utilitzades dels components. A mesura que augmenta l'oxidació amb TEMPO de les fibres, la concentració de nanocel·lulosa i cera d'abella, la resistència a l'aire és superior.

5. En referència a l'assaig de **REBENTAMENT**, amb els resultats podem analitzar com a mesura que augmenta l'oxidació de les fibres amb TEMPO i la concentració en pes d'aquestes dins l'emulsió, la pressió necessària per produir el rebentament del paper augmenta. En canvi, també podem extreure la informació que els valors corresponents a l'oxidació amb TEMPO 5 no són adients per la mala emulsió aconseguida.

6. L'**ÍNDIX D'ESQUINÇAMENT**, al contrari que tots els assaigs realitzats els resultats amb les fibres oxidades amb TEMPO 15, ens aporten els pitjors resultats, fins i tot, obtenint unes propietats pitjors que el paper en blanc per un 0,8% i 1% de CNFs en pes. Alhora, els únics valors favorables són amb fibres oxidades amb TEMPO 10, ni tan sols amb una concentració del 20% de cera d'abella ens proporciona millors propietats que el paper blanc.

7. Com es pot analitzar, per l'assaig de **TRACCIÓ**, tots els resultats obtinguts són similars al paper en blanc, tant les proves amb fibres oxidades amb TEMPO 5, TEMPO 10 i TEMPO 15 amb un 20% de cera d'abella, ja que la dificultat de l'emulsió i l'excés de recobriment ocasiona que les nanofibres no entrin en la matriu del paper fent que les propietats siguin similars al paper en blanc.

En canvi, amb les fibres oxidades amb TEMPO 15, aconseguim uns resultats molt satisfactoris enfront del paper en blanc, perquè en aplicar aquest tipus de fibres les propietats de tracció milloren exponencialment. Per tant, les propietats de resistència mecànica del paper es veuen millorades.

8. Pel que fa a la **TRACCIÓ AMB TERMOSEGELLAT**, només es van poder realitzar els assajos amb una concentració de cera d'abella del 20%, ja que amb només un 10% en aplicar calor i pressió no s'aconsegueix la unió de les provetes. S'observa com tot i utilitzar el doble de cera d'abella, els resultats són poc significatius, perquè tot i produir-se l'adhesió, la força necessària per separar-los de nou és pràcticament negligible. Tot i això, la diferència entre les CNFs és significativa, ja que s'ha d'aplicar el doble de força per separar les provetes.

9. Referent a l'assaig de **SCOTT BOND**, tant per fibres oxidades amb TEMPO 5 com per TEMPO 15 + 20% cera d'abella, els resultats obtinguts ens indiquen una mala cohesió entre recobriments i paper, i en conseqüència, una mala adhesió de les bandes adhesives que provoquen resultats inferiors al blanc. En canvi, pel TEMPO 10 i TEMPO 15 + 10% cera d'abella, els resultats obtinguts són molt similars per totes les concentracions de CNFs, i milloren les propietats enfront del paper en blanc, tot i que la diferència no és elevada.
10. Finalment, la **HIDROFOBICITAT** només es va poder analitzar amb les provetes corresponents a les fibres oxidades amb TEMPO 15 + 20% cera d'abella, ja que les que contenen un 10% de cera d'abella no aporten la suficient hidrofobicitat a l'aigua i actuen com a paper en blanc. S'observa clarament com l'angle de contacte entre el paper i l'aigua augmenta en aplicar el recobriments, arribant als 120° per les dues concentracions de CNFs, fet que indica una gran repulsió a l'aigua i prolongada en el temps.
11. Amb relació als **OBJECTIUS** establerts inicialment, observem com la majoria s'han complert, però trobem alguna excepció:
- Les dispersions aconseguides són estables a temperatura ambient amb nanocel·lulosa com a estabilitzant.
 - Les viscositats de les emulsions són adequades per fibres oxidades amb TEMPO 15 i TEMPO 10, en canvi, per TEMPO 5 la viscositat no afavoreix la correcta aplicació sobre el paper.
 - L'angle de contacte és superior als 100° i estable durant més de 10 minuts.
 - La velocitat de transmissió del vapor d'aigua és molt superior a l'establert inicialment de 100 g/m² · dia, obtenint valors al voltant de 700 g/m² · dia (aproximadament). Amb això, aquest objectiu inicial no s'ha pogut assolir.
 - De la mateixa forma, la resistència a l'aire, és molt inferior a la proposada inicialment, obtenint un valor màxim de 200 s/100cm³ enfront dels 1800s/100cm³ proposats inicialment.

6 PLANIFICACIÓ

6.1 ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓ DEL PROJECTE

En aquesta secció de la memòria, es realitza una descomposició dels aspectes fonamentals en el desenvolupament del projecte, així com l'organització dels apartats i la duració d'aquest. Per dur a terme aquest apartat, s'empren dues eines molt utilitzades per l'estructuració, divisió de tasques i duració d'aquestes, que són l'Estructura de Descomposició del Projecte (EDP) i el Diagrama de Gantt.

Inicialment, es mostra l'EDP del projecte, on es poden veure les diferents fases del projecte, les tasques crítiques i les relacions de dependència amb els subapartats. Les principals activitats dutes a terme i la interrelació es mostra en la Figura 30.

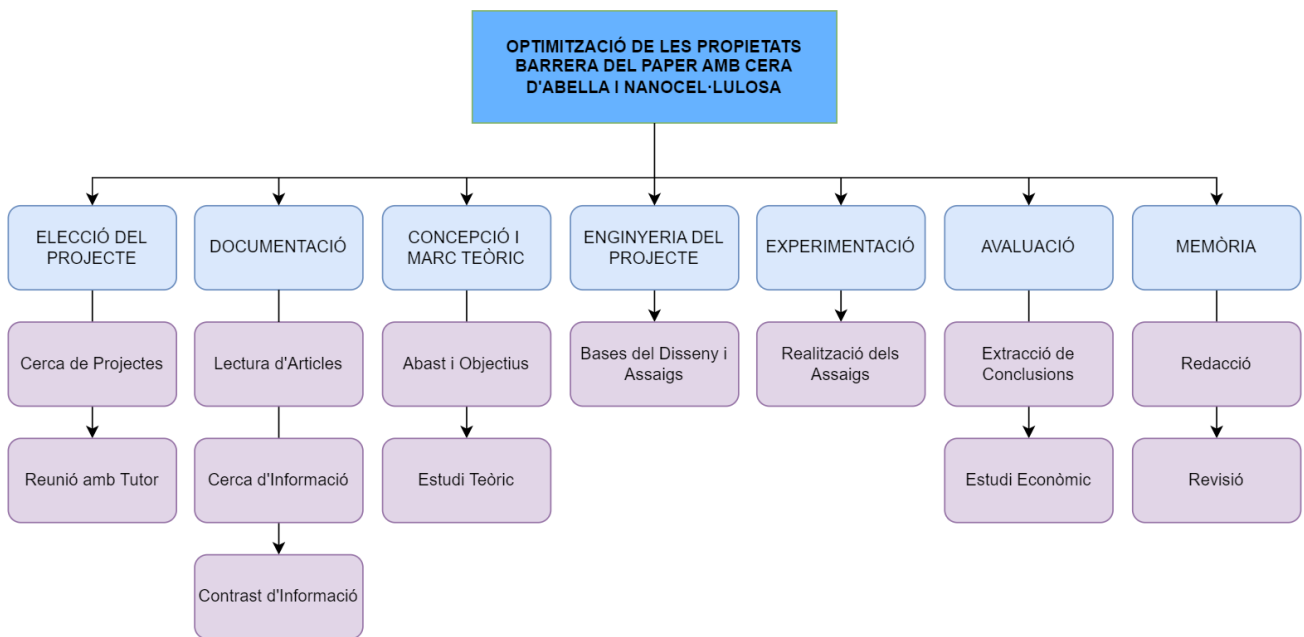


Figura 30. EDP

6.2 DIAGRAMA DE GANTT

L'esquema mostrat anteriorment en l'ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓ DEL PROJECTE, es desglossa temporalment mitjançant un Diagrama de Gantt. Aquest està recollit en la Figura 31, mostrant les dates i els dies dedicats a cada una de les tasques i fases del projecte acomplides. Utilitzant el programari ClickUp, s'ha desenvolupat el diagrama de Gantt on es recull la mateixa informació, però ordenada de manera cronològica per facilitar la seva visualització, es mostra en la Figura 32.

NOMBRE	Fecha de inicio	Fecha límite
TFG: OPTIMITZACIÓ DE LES PROPI...		
<ul style="list-style-type: none"> ELECCIÓ DEL PROJECTE <ul style="list-style-type: none"> Cerca de Projectes Reunió amb Tutor DOCUMENTACIÓ <ul style="list-style-type: none"> Lectura d'Articles Cerca d'Informació Contrast d'Informació CONCEPCIÓ I MARC TEÒRIC <ul style="list-style-type: none"> Abast i Objectius ENGINYERIA DEL PROJECTE <ul style="list-style-type: none"> Bases del Disseny i Assaigs EXPERIMENTACIÓ <ul style="list-style-type: none"> Realització dels Assaigs AVALUACIÓ <ul style="list-style-type: none"> Estudi Econòmic Extracció de Conclusions MEMÒRIA <ul style="list-style-type: none"> Redacció de la Memòria Revisió de la Memòria 	<ul style="list-style-type: none"> nov. 28 2022 nov. 28 2022 dic. 10 2022 ene. 2 ene. 2 ene. 2 abr. 17 ene. 2 ene. 2 ene. 2 feb. 2 feb. 2 ago. 15 ago. 15 ago. 18 may. 2 may. 2 ago. 28 	<ul style="list-style-type: none"> dic. 16 2022 dic. 9 2022 dic. 17 2022 may. 18 abr. 18 abr. 18 may. 17 feb. 3 feb. 2 feb. 3 feb. 3 may. 17 may. 17 ago. 29 ago. 19 ago. 28 sep. 2 ago. 29 ago. 31

Figura 31. Planificació del Projecte

PLANIFICACIÓ

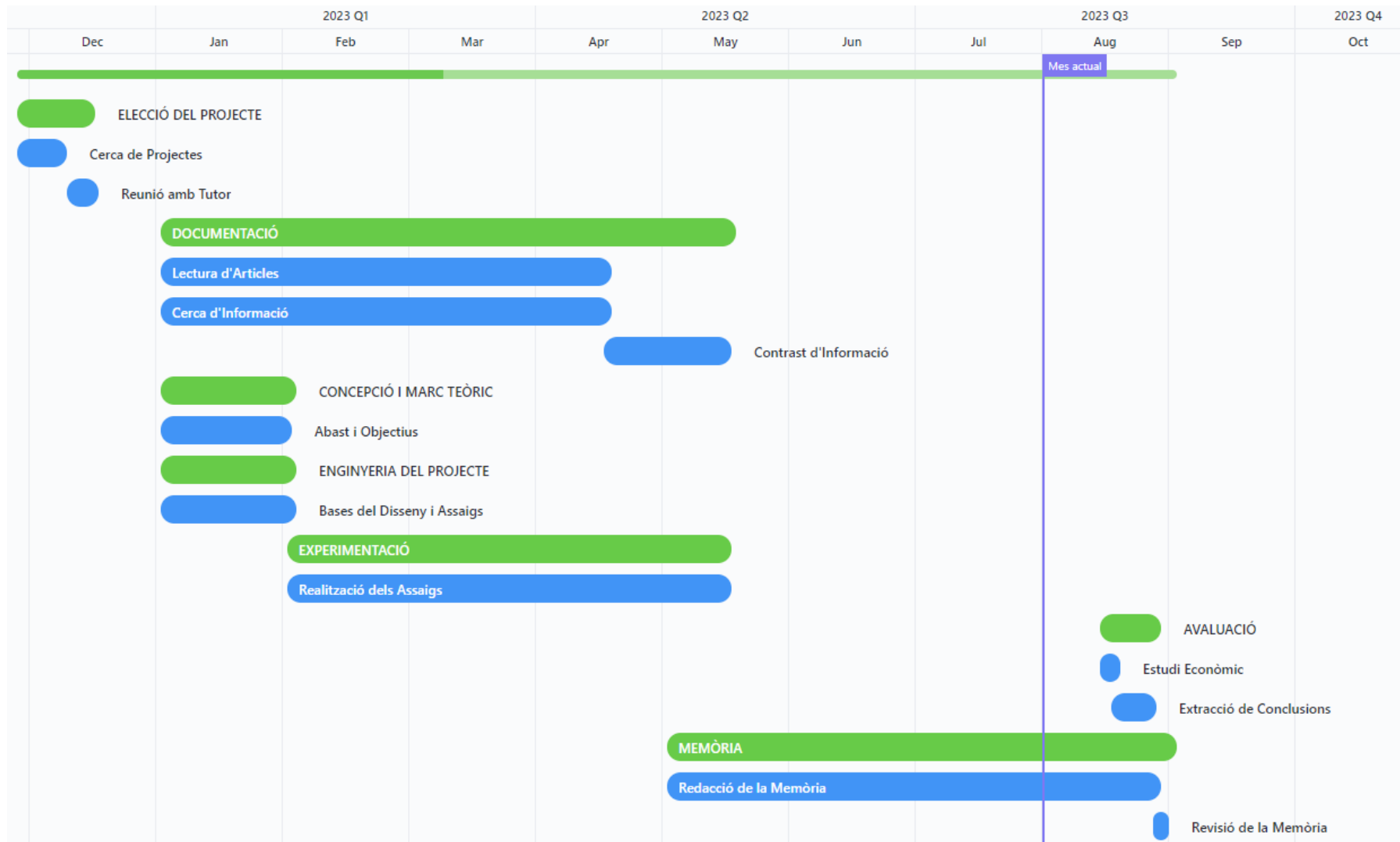


Figura 32. Diagrama de Gantt del Projecte

7 PRESSUPOST

En aquest apartat, s'exposa una estimació dels costos associats al desenvolupament del Treball Final de Grau.

Per facilitar l'explicació i la seva correcta entesa, es desglossen els costos dels materials, serveis, treball empleat i extres.

La principal eina utilitzada pel desenvolupament del projecte, a excepció de la maquinària utilitzada durant els assaigs i el material, ha estat un ordinador amb un cost de 1800 €. Suposant una amortització de 5 anys i un ús pel projecte de 8 mesos compresos entre l'estudi previ i l'entrega del mateix projecte, el cost del seu ús total és de 240 €, com s'indica en la Taula 47.

Taula 47. Cost de l'ordinador durant el desenvolupament del projecte

CONCEPTE	PREU UNITARI (€)	VIDA ÚTIL (anys)	UTILITZACIÓ (mesos)	COST FINAL (€)
Ordinador MSI	1800,00	5	8	240,00

Referent al material utilitzat durant l'experimentació, a la Taula 48 trobem tots els costos associats al material emprat. S'exclouen el cost de les fibres, ja que es disposaven d'elles i només es varen oxidar.

Taula 48. Cost dels materials utilitzats en l'experimentació

CONCEPTE	PREU UNITARI	Nº UNITATS	COST FINAL (€)
Cera d'abella	9,95 €	2	19,90
Glicerol	10,50 €/L	1 L	10,50
TEMPO	25,60 €/g	1 g	25,60
NaBr	19,40 €/100g	100 g	19,40
NaClO	35,00 €/L	1 L	35,00

En la realització del treball, s'han requerit diversos programaris, els quals es desglossen aquells que requereixen una llicència pel seu ús, no tots han estat adquirits, ja que amb la llicència d'estudiant es disposen d'ells. A continuació, en la Taula 49 s'inclouen els costos de cada programari utilitzat.

Taula 49. Cost de llicències i ús de programari utilitzat

CONCEPTE	PREU UNITARI (€)	PERCENTATGE D'ÚS (%)	COST FINAL (€)
Microsoft Office 365	149,00	40	59,60
Microsoft Visio	479,00	5	23,95
ClickUp	0	5	0

Alhora, l'ús d'internet ha estat important durant tot el procés de redacció i cerca informàtica, per tant, s'inclou el cost estimat d'aquest component durant el temps en percentatge. Això, es pot apreciar en la Taula 50.

Taula 50. Cost d'accés a internet

CONCEPTE	PREU MENSUAL (€)	UTILITZACIÓ (mesos)	PERCENTATGE D'ÚS (%)	COST FINAL (€)
Internet	90,00	8	50	360,00

En la Taula 51, es recull el cost en hores de treball, el preu unitari per hora s'ha extret del sou brut d'un investigador graduat en enginyeria química. Alhora, cal tenir en compte que es dedicaven 4 hores diàries des del mes de febrer, sense comptar els caps de setmana, a realitzar les tasques necessàries.

Taula 51. Cost de treball en hores

CONCEPTE	PREU UNITARI (€)	HORES EMPRADES	COST FINAL (€)
Hores d'enginyeria	10,00	620	6200 €

En la Taula 52, es recull el cost en hores de treball desenvolupades pel tutor del projecte, el preu unitari s'ha obtingut a partir del sou brut percebut pel professorat.

Taula 52. Cost del treball en hores realitzades pel tutor

CONCEPTE	PREU UNITARI (€)	HORES EMPRADES	COST FINAL (€)
Hores Tutoria	30,00	40	1200 €

A continuació, a la Taula 53 podem observar un resum del pressupost i cost total de la realització del projecte. El cost final de la realització completa del projecte ha estat de 10.658,40€.

PRESSUPOST

Taula 53. Pressupost Total

Càtedra de Projectes	TRABALL DE FINAL DE GRAU			EPS UDG
Nº D'ORDRE	ESTAT DE MEDICIÓ		PRESSUPOST	
	CONCEPTE	Nº UNITATS	PREU UNITARI	IMPORT
01	Ordinador Personal MSI	1	1800 €	1800 €
02	Materials	1	110,4 €	110,4 €
03	Llicència Microsoft Office 365	1	149 €	149 €
04	Llicència Microsoft Visio	1	479 €	479 €
05	Llicència ClickUp	1	0 €	0 €
06	Connexió a Internet	1	720 €	720 €
07	Hores Personals dedicades al Projecte	620	10 €	6200 €
08	Hores del Tutor dedicades al Projecte	40	30 €	1200 €
TOTAL				10.658,4 €

8 BIBLIOGRAFIA

1. *Contacto, Á. de. (n.d.). ÁNGULOS DE CONTACTO. TENSIÓN SUPERFICIAL E INTERFACIAL.*
2. *CERA DE ABEJA | De Mieles y Abejas. (2018).* https://demielesyabejas.com/abejas/cera-de-abeja/#VENTAJAS_DE_LA_CERA_DE_ABEJAS
3. Soutter, W. (2012). *What is Nanocellulose?* <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3139>
4. Tolosa, L. (2016). *EMULSIONES ESTABILIZADAS con PARTICULAS (Emulsiones de PICKERING).*
5. Anton De Salager, R. E. (2005). *CUADERNO FIRP S203-A CUADERNO FIRP S203-A UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Lab. Formulación, Interfases, Reología y Procesos Mérida-Venezuela (2005) TENSION INTERFACIAL en español.*
6. Salager, J.-L. (2002). *LABORATORIO DE FORMULACION, INTERFASES REOLOGIA Y PROCESOS UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA SURFACTANTES Tipos y Usos CUADERNO FIRP S300-A CUADERNO FIRP S300-A en español.*
7. Celi, J., Gómez, F., & Enríquez, B. (2021). Analysis of the interfacial tension between two immiscible fluids with the use of four surfactants (Cationic, non-ionic), from the “ui” producing sand of the pindo field. *Revista Politecnica*, 47(2), 27–40. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.03>
8. Stevens, M., Tuomela, S., & Mayer, D. (n.d.). *Water Vapor Permeation Testing of Ultra-Barriers: Limitations of Current Methods and Advancements Resulting in Increased Sensitivity.*
9. M. Angel, M. (2004). *UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA UNIDAD IZTAPALAPA MIGUEL ANGEL MICHACA ESPAÑA.*
10. *Ensayo de Traccion. Ensayo, Grafica, Formulas, Problemas. (n.d.).* Retrieved July 20, 2023, from <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
11. *¿Qué es el ángulo de contacto? - atria Innovation. (n.d.).* Retrieved July 19, 2023, from <https://www.atriainnovation.com/que-es-el-angulo-de-contacto/>

12. *Tester Tech Tips, Paper Series #001: Scott Type Internal Bond Test - Industrial Physics.* (n.d.). Retrieved July 16, 2023, from <https://industrialphysics.com/knowledgebase/articles/tester-tech-tips-paper-series-001-scott-type-internal-bond-test/>
13. *¿Qué es la prueba de desgarro de Elmendorf y el método de prueba? - Testex.* (n.d.). Retrieved July 16, 2023, from <https://www.testertextile.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-es-la-prueba-de-desgarro-de-Elmendorf-y-el-m%C3%A9todo-de-prueba%3F/>
14. *Resistencia al desgarro - Principio del péndulo (Elmendorf) - EUROLAB.* (n.d.). Retrieved July 16, 2023, from <https://www.laboratuvar.com/es/tekstil-testleri/fiziksel-testler/yirtilma-mukavemeti-sarkac-prensibi-elmendorf>
15. Mexpolimeros. (n.d.). *Plastificante - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos.* Retrieved July 11, 2023, from <https://www.mexpolimeros.com/plastificante.html>
16. *PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AIRE.* (2013).
17. *Análisis de la Tensión Interfacial Entre Dos Fluidos Inmiscibles con el Uso de Cuatro Surfactantes (Catiónico, No-Iónico), de la Arena Productora U Inferior del Campo Pindo.* (n.d.). Retrieved April 8, 2023, from <https://www.redalyc.org/journal/6887/688772224003/html/#B3>
18. A., F. (2009). *Tensión superficial en los líquidos*, Curso interactivo de física. Universidad de Granada.
19. R., A. (2005). *Tensión Interfacial.* Universidad de los andes, facultad de ingeniería - Escuela de ingeniería química - Lab. Formulación, interfaces, Reología y procesos.
20. Méndez, Á. (2011). *Emulsión Pickering | La Guía de Química.* <https://quimica.laguia2000.com/propiedades/emulsion-pickering>
21. *Glicerol.* (n.d.). Retrieved April 8, 2023, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Glicerol.html>
22. Lafuente, G. (2017). *“GLICEROL: SÍNTESIS Y APLICACIONES” Autor: Gustavo Lafuente Aranda Tutora: María del Pilar Cornago Ramírez FACULTAD DE CIENCIAS DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA Y BIO-ORGÁNICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA.*

23. *Propiedades AAGG.* (n.d.). Retrieved April 7, 2023, from <https://biomodel.uah.es/model2/lip/acgr-prop.htm>
24. Carrero, I., & Herráez, A. (n.d.). *Ceras.* Retrieved April 7, 2023, from <https://biomodel.uah.es/model2/lip/ceras.htm>
25. *Cera.* (n.d.). Retrieved April 7, 2023, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Cera.html>
26. *Productos de la colmena secretados por las abejas: Cera de abejas, jalea real y veneno de abejas.* (n.d.). Retrieved April 6, 2023, from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772005000100006
27. Vit, P. (2005). Productos de la colmena secretados por las abejas: Cera de abejas, jalea real y veneno de abejas. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 36(1), 35–42. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772005000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
28. Fernández, C. (2016). *Nanocelulosa, la clave para fabricar papel más resistente y ecol.* <https://nordeste.conicet.gov.ar/nanocelulosa-la-clave-para-fabricar-papel-mas-resistente-y-ecologico/>
29. Gómez Pajuelo, Antonio. (n.d.). *LA CERA DE ABEJA, CONTROL Y FACTORES DE CALIDAD.* Retrieved April 6, 2023, from www.mieldemalaga.com/asociacion/jornadas/ponencias/texto04-4.pdf
30. *Cera de Abeja: Para qué sirve, Propiedades y Dónde comprarla.* (n.d.). Retrieved April 3, 2023, from <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/belleza/articulo/cera-de-abeja-para-que-sirve-propiedades-y-donde-comprarla-49564.html>
31. *Cera de Abeja: Para qué sirve, Propiedades y Dónde comprarla.* (n.d.). Retrieved April 3, 2023, from <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/belleza/articulo/cera-de-abeja-para-que-sirve-propiedades-y-donde-comprarla-49564.html>

ANEXOS

ANEX I – RESULTATS DE WVTR

A continuació, es presenten totes les taules corresponents a l'assaig de TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA, a partir de les quals s'han obtingut les gràfiques presentades anteriorment. Amb això, es busca una millor comprensió de les gràfiques vistes anteriorment, així com clarificar d'on s'obtenen els pendents.

Taula 54. Resultats obtinguts del WVTR pel paper en Blanc

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
BLANC	0	86,75	81,04	82,69	17258,32	16122,44	16451,41
	30	86,87	81,16	82,81	17281,70	16145,59	16474,37
	64	86,98	81,27	82,92	17303,29	16168,07	16496,25
	92	87,09	81,38	83,02	17325,21	16189,26	16516,60
	123	87,20	81,48	83,12	17346,99	16210,79	16536,48
	154	87,30	81,57	83,22	17367,70	16228,69	16555,48
	188	87,41	81,68	83,32	17389,27	16250,54	16575,19
	214	87,50	81,77	83,41	17407,89	16266,79	16594,03
	248	87,61	81,86	83,51	17428,88	16286,29	16613,81

Taula 55. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 5 + 10% BW + 1% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F3 - 1	F3 - 2	F3 - 3	F3 - 1	F3 - 2	F3 - 3
1%	0	83,26	81,91	81,56	16564,79	16295,28	16225,19
	30	83,34	81,98	81,66	16580,52	16309,68	16244,87
	60	83,42	82,05	81,75	16595,94	16323,59	16263,57
	90	83,49	82,12	81,8	16611,42	16337,71	16282,29
	120	83,56	82,18	81,91	16623,04	16348,24	16296,13

Taula 56. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F2 - 1	F2 - 2	F2 - 3	F2 - 1	F2 - 2	F2 - 3
0,8%	0	79,5806	83,4443	95,9741	15832,06	16600,72	19093,44
	30	79,6701	83,5458	96,0682	15849,86	16620,91	19112,16
	60	79,7494	83,6351	96,1480	15865,64	16638,67	19128,04
	94	79,8408	83,7366	96,2395	15883,82	16658,87	19146,24
	120	79,9131	83,8172	96,3113	15898,21	16674,90	19160,52
	163	80,0158	83,9296	96,4197	15918,64	16697,26	19182,09

Taula 57. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 10 + 10% BW+ 1% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F5	F6 - 1	F6 - 2	F5	F6 - 1	F6 - 2
1%	0	86,36	91,21	87,41	17181,47	18146,1901	17389,07
	30	86,44	91,32	87,52	17197,17	18168,0739	17410,97
	60	86,51	91,41	87,61	17210,66	18186,0783	17429,14
	90	86,58	91,51	87,70	17224,62	18204,69943	17447,72
	120	86,64	91,58	87,78	17236,64	18219,75947	17462,44

Taula 58. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,5% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F11 - 1	F11 - 2	F11 - 3	F11 - 1	F11 - 2	F11 - 3
0,5%	0	91,01	89,91	96,40	18106,54	17887,34	19177,73
	38	91,12	90,01	96,49	18127,69	17907,80	19195,60
	65	91,20	90,09	96,55	18143,09	17922,48	19208,31
	90	91,26	90,15	96,60	18154,82	17933,82	19218,18
	120	91,33	90,21	96,66	18168,75	17947,07	19229,84
	150	91,40	90,28	96,72	18182,92	17960,50	19241,67

Taula 59. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,6% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F7 - 1	F7 - 2	F7 - 3	F7 - 1	F7 - 2	F7 - 3
0,6%	0	91,97	97,11	88,50	18297,61	19319,50	17605,78
	38	92,10	97,21	88,62	18321,76	19339,33	17630,65
	65	92,18	97,28	88,71	18339,58	19354,06	17648,65
	90	92,25	97,34	88,78	18353,29	19365,50	17662,64
	120	92,33	97,41	88,86	18369,07	19378,77	17678,87
	150	92,41	97,48	88,95	18385,16	19392,53	17695,38

Taula 60. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F6 - 1	F6 - 2	F6 - 3	F6 - 1	F6 - 2	F6 - 3
0,8%	0	83,50	82,60	80,71	16611,22	16433,56	16057,08
	30	83,66	82,75	80,86	16643,83	16463,19	16086,78
	60	83,76	82,83	80,95	16663,12	16478,50	16104,29
	90	83,77	82,83	80,95	16664,70	16478,21	16104,97
	120	83,86	82,90	81,03	16682,50	16493,07	16119,93
	150	84,01	83,04	81,17	16712,46	16520,28	16148,06
	210	84,10	83,12	81,24	16730,73	16535,52	16162,66
	280	84,28	83,27	81,40	16767,33	16566,08	16194,11
	400	84,57	83,52	81,65	16824,53	16615,70	16244,31

Taula 61. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 10% BW + 1% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F1 - 1	F1 - 2	F1 - 3	F1 - 1	F1 - 2	F1 - 3
1%	0	80,79	78,75	83,34	16073,52	15667,13	16580,52
	30	80,99	78,90	83,49	16112,85	15697,25	16610,01
	60	81,10	78,99	83,57	16134,13	15713,57	16624,73
	90	81,11	78,99	83,56	16137,22	15714,58	16623,44
	120	81,19	79,07	83,63	16152,00	15730,02	16636,76
	150	81,34	79,21	83,76	16181,48	15757,53	16663,92
	210	81,44	79,29	83,82	16202,83	15773,29	16675,66
	280	81,67	79,45	83,97	16247,93	15805,24	16705,76
	400	82,05	79,71	84,22	16324,18	15858,48	16755,49

Taula 62. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 20% BW + 0,8% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F4 - 1	F4 - 2	F6	F4 - 1	F4 - 2	F6
0,8%	0	81,95	81,75	84,49	16303,34	16262,81	16808,04
	30	82,02	81,82	84,57	16317	16277,45	16823,67
	60	82,08	81,89	84,64	16330,15	16291,28	16838,45
	90	82,15	81,96	84,71	16343,72	16305,26	16853,49
	120	82,20	82,01	84,77	16353,65	16315,69	16864,75

Taula 63. Resultats obtinguts del WVTR pel paper amb TEMPO 15 + 20% BW + 1% CNFs

CNFs	TEMPS (min)	PES (g)			g/m ²		
		F1 - 1	F1 - 2	F1 - 3	F1 - 1	F1 - 2	F1 - 3
1%	0	92,83	91,51	91,62	18468,76	18205,53	18226,68
	30	92,93	91,59	91,72	18488,21	18222,21	18246,3
	60	93,01	91,66	91,80	18504,07	18235,81	18262,15
	90	93,10	91,73	91,88	18520,74	18250,08	18278,77
	120	93,16	91,80	91,95	18534,15	18262,04	18292,14

ANEX II – MICROSCOPIA / SEM

A nivell d'aclariment visual, a continuació es presenten un seguit d'imatges on s'aprecia a escala de microscopia les partícules de cera d'abella en les emulsions, corresponents a una concentració de cera d'abella del 10%.

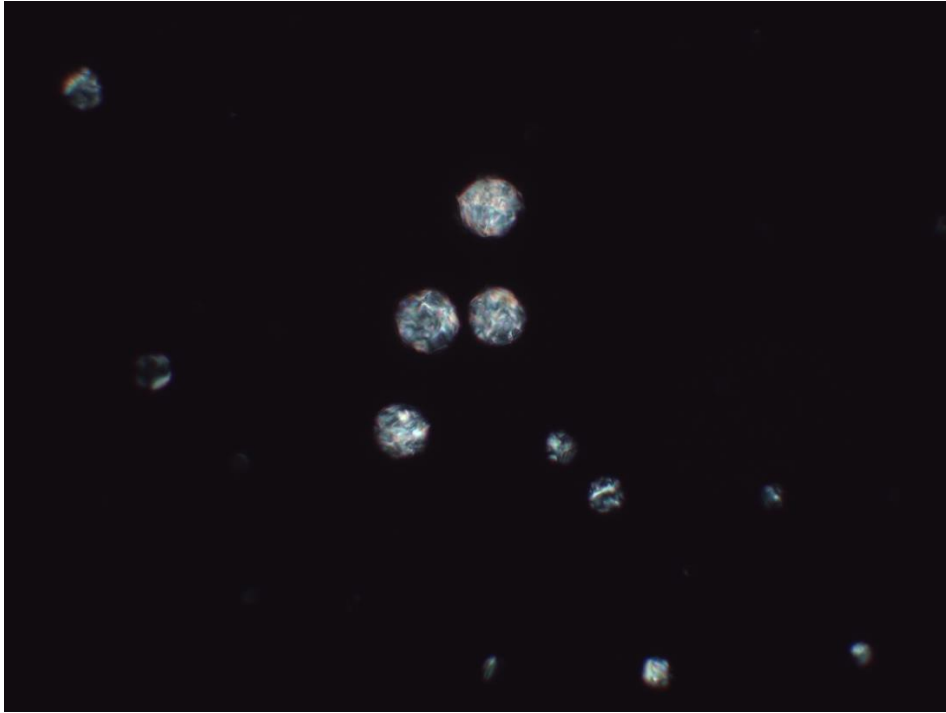


Figura 33. Microscopia TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs

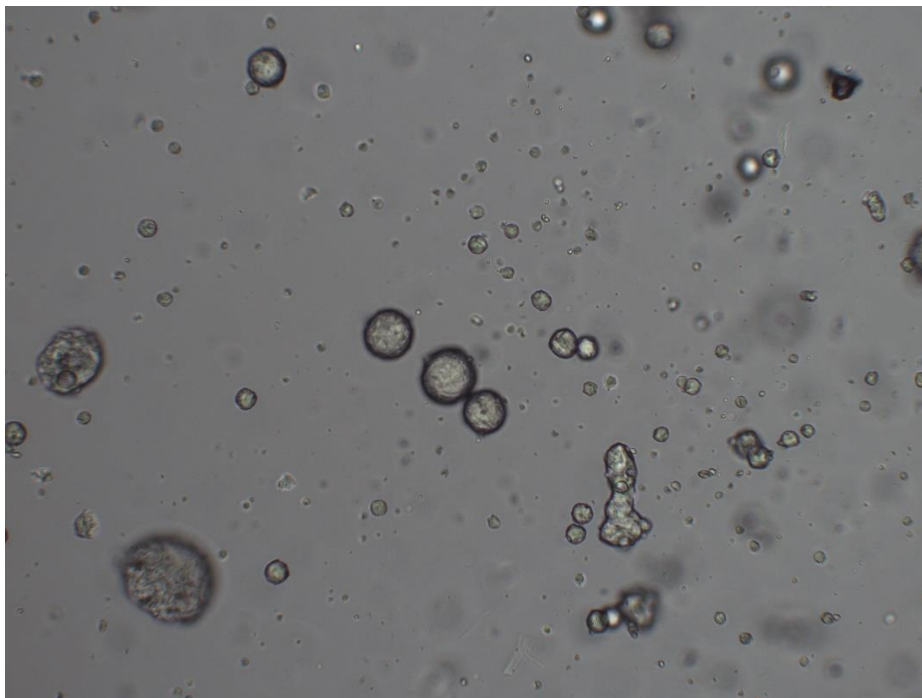


Figura 34. Microscopia TEMPO 10 + 10% BW + 0,8% CNFs

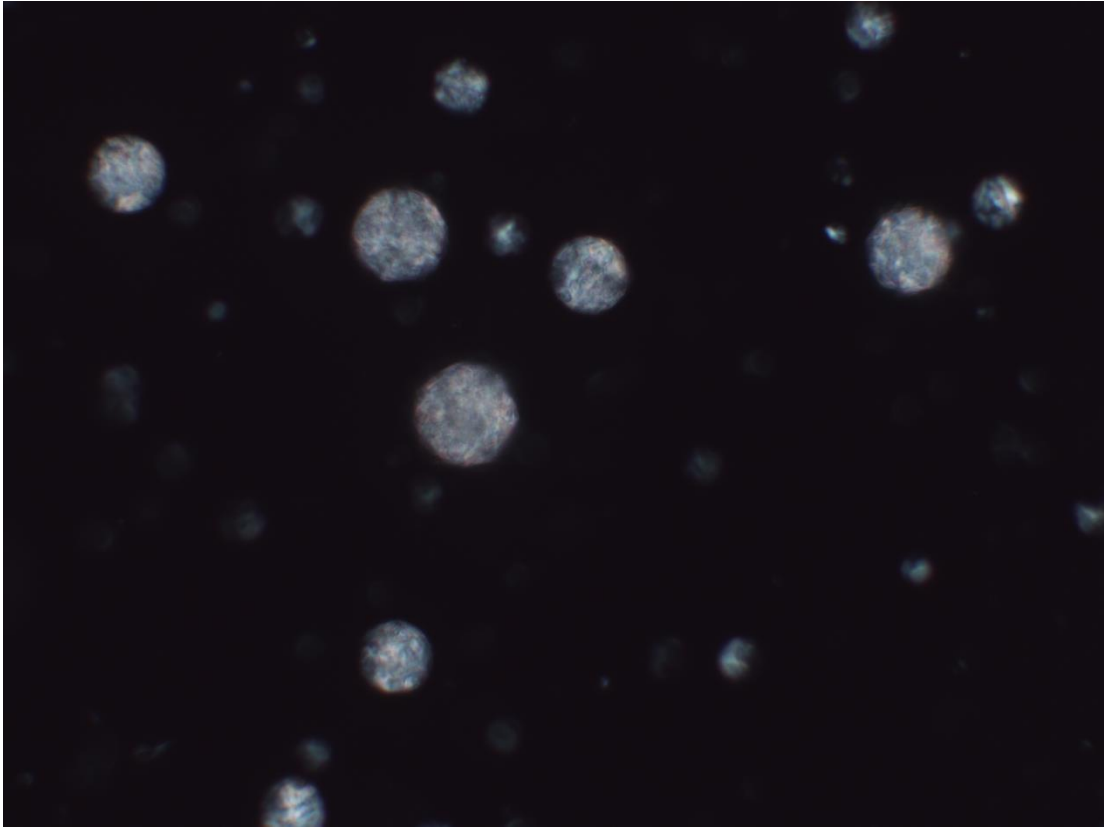


Figura 35. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs

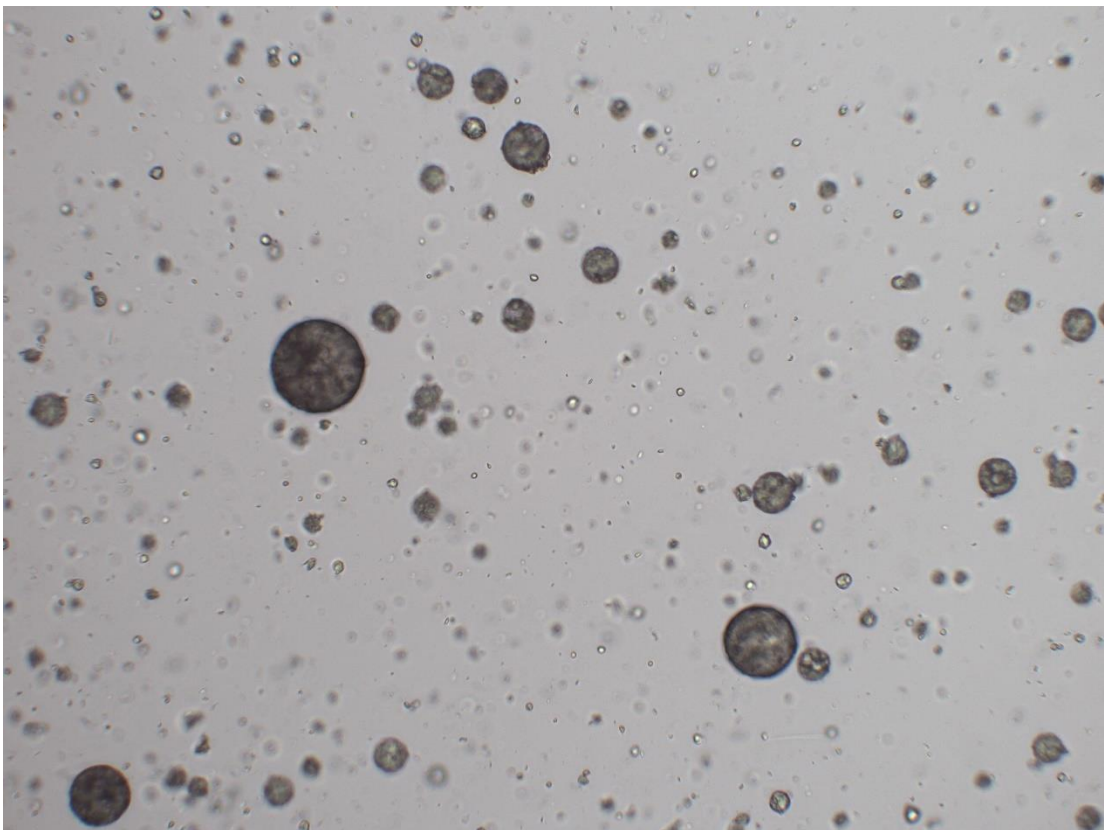


Figura 36. Microscopia TEMPO 15 + 10% BW + 0,8% CNFs

A més, també s'introdueixen imatges del Microscopi electrònic d'escombrada (SEM) de la superfície del paper després d'aplicar el recobriment sobre el paper. Es poden apreciar les nanofibres presents en l'emulsió, juntament amb les partícules de cera d'abella.

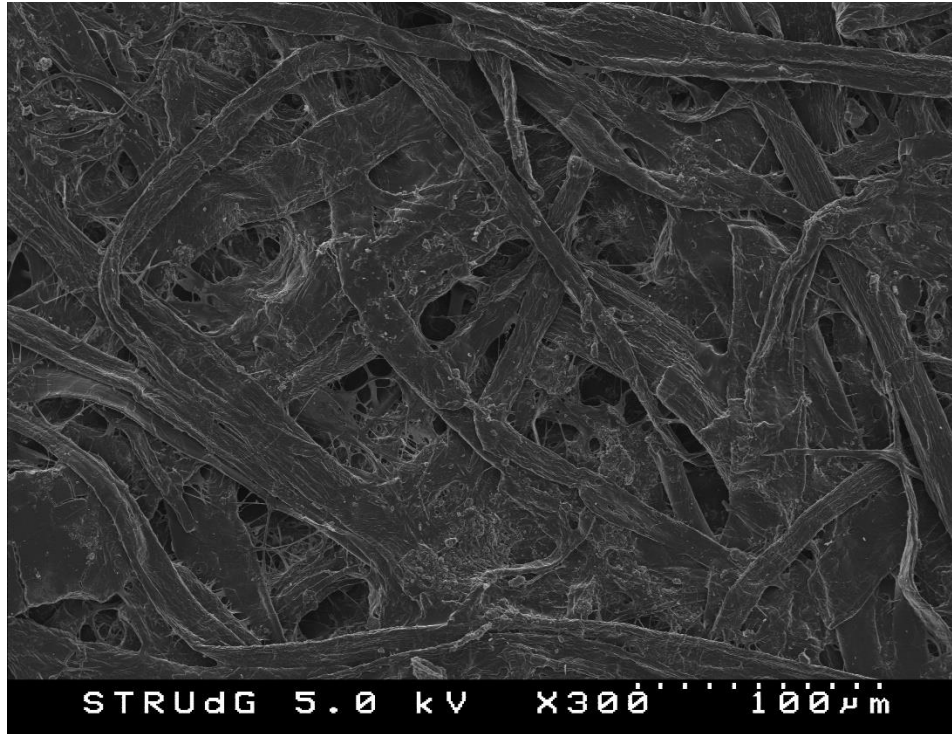


Figura 37. SEM paper en blanc

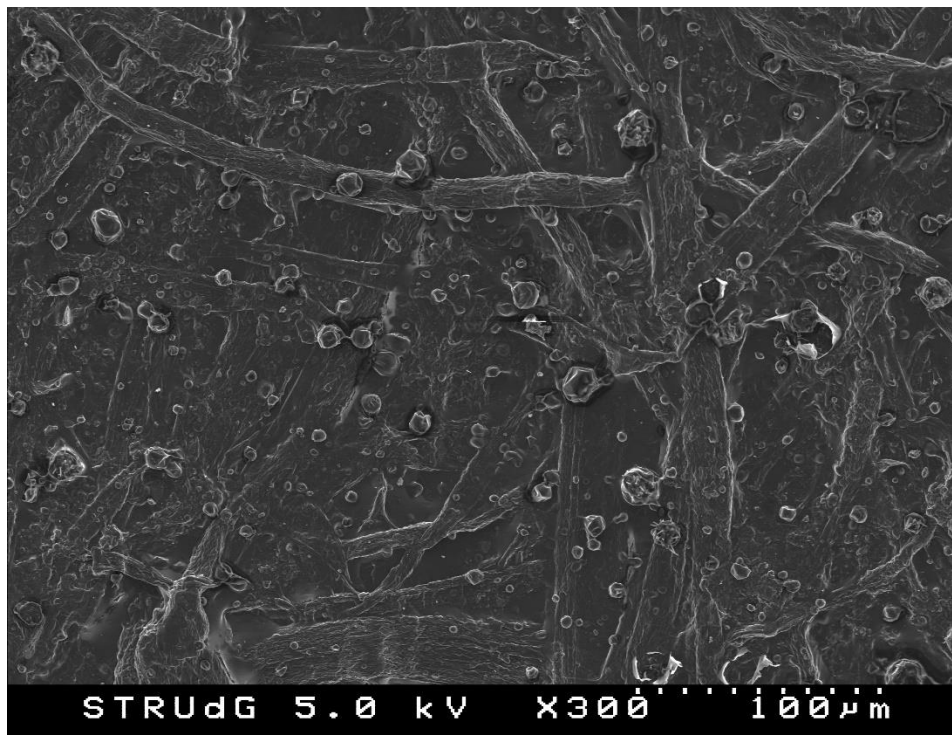


Figura 38. SEM per TEMPO 15 + 10% BW +1 % CNFs

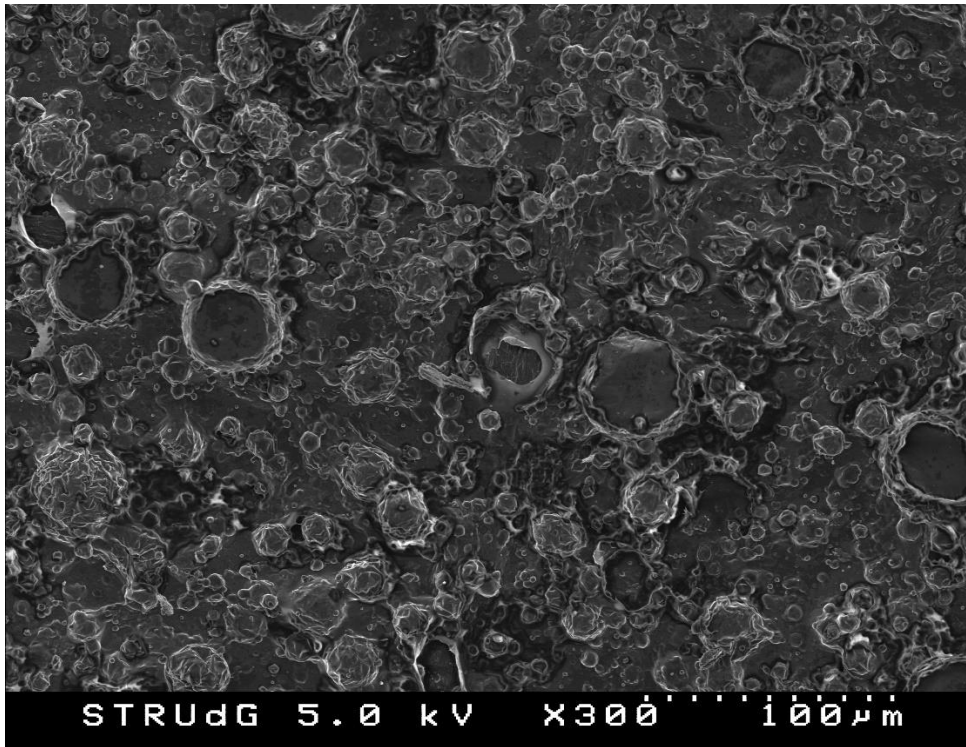


Figura 39. SEM per TEMPO 15 + 20% BW +1 % CNFs

