

Resum

El projecte neix de la necessitat de millora de l'actual sistema de desgreixatge de pell animal durant els processos d'adob en la indústria de l'adoberia.

Totes les pells, sigui quin sigui el seu origen, tenen una certa quantitat de greix natural que, si no s'extragués, dificultaria enormement els processos d'adob i acabat de les pells.

Actualment, el procés de desgreixatge s'efectua mitjançant sistemes aquosos amb l'ús de tensioactius. Aquest mètode provoca un elevat grau de contaminació en les aigües residuals de la indústria de l'adoberia.

L'objectiu del projecte és estudiar la viabilitat del disseny d'una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió, a partir de la substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a agent extractor del procés.

Per tal de determinar les millors condicions d'operació del nou procés proposat, es realitzen un seguit d'experiments a nivell de planta pilot. Es descriu la planta pilot, l'execució dels experiments, les condicions d'extracció estudiades i l'anàlisi dels resultats obtinguts.

A continuació es realitza el disseny de la planta industrial d'extracció de greix, utilitzant el simulador Hysys. Es presenten els diagrames de procés, els balanços de matèria i energia, el dimensionat dels equips, les previsions temporals d'execució dels processos i les avaluacions econòmica i mediambiental, així com una comparació en aquests termes entre la tecnologia convencional de desgreixatge i l'alternativa proposada.

El projecte s'acaba amb les següents conclusions:

- El disseny d'una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió és viable, tant econòmica com mediambientalment
- El nou procés proposat implica una inversió inicial elevada, així com una formació tècnica dels treballadors, però a mig i a llarg termini serà menys costosa i més sostenible que la tecnologia convencional
- La implantació del nou procés de desgreixatge no implica una modificació de la resta d'operacions a les quals és sotmesa la pell durant el procés global d'adob

Finalment, en forma d'annexos es presenta una explicació del tractament complet que rep la pell, els mètodes analítics utilitzats durant el projecte, els càlculs experimentals, la simulació detallada de la planta dissenyada i els càlculs mediambientals i econòmics del projecte.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
1.1. Glossari de mots	7
1.2. Glossari de símbols	9
1.3. Glossari d'abreviatures	10
2. PREFACI	13
2.2. Origen del projecte	13
2.3. Motivació	13
2.4. Requeriments previs	13
3. INTRODUCCIÓ	15
3.1. Objectius del projecte	15
3.2. Abast del projecte	15
4. SITUACIÓ ACTUAL	17
4.1. Característiques de la pell animal	17
4.2. Motivació del procés de desgreixatge	19
4.3. Problemes derivats del greix natural	20
4.4. Tecnologia convencional: desgreixatge aquós amb tensioactius	21
4.5. Problemes de qualitat per desgreixatge insuficient	23
4.5.1. Eflorescència grassa	23
4.5.2. Taques de greix	24
4.5.3. Arrugues de greix	24
4.6. El cas de l'empresa Santiago Fatjó, S. L.	24
4.6.1. Característiques del procés	26
4.6.2. Equips	27
5. ALTERNATIVA PROPOSADA: DESGREIXATGE AMB GAS DENS (CO₂)	29
5.1. Substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent	29
5.2. Fluids supercrítics: característiques i aplicacions	30
5.3. Tecnologia d'extracció supercrítica	32
5.3.1. Introducció	32
5.3.2. Avantatges i inconvenients	33



5.3.3.	Variables de procés	33
5.3.4.	Elecció del solvent d'extracció.....	34
5.3.5.	Aplicacions	35
5.3.6.	Aplicació al desgreixatge de pells	35
6.	EXPERIMENTACIÓ EN PLANTA PILOT _____	37
6.1.	Dispositiu experimental.....	37
6.2.	Tractament de mostres i procediment operatiu.....	39
6.2.1.	Determinació del contingut d'aigua de la pell	40
6.2.2.	Determinació del contingut de greix de la pell	41
6.2.3.	Determinació del rendiment d'extracció	41
6.3.	Estudi de les condicions de funcionament: condicions subcrítiques versus condicions supercrítiques	42
6.4.	Disseny d'experiments.....	43
6.4.1.	Consideracions prèvies	43
6.4.2.	Variables de disseny.....	43
6.4.3.	Resultats obtinguts	44
6.4.4.	Estudi de les condicions òptimes d'extracció.....	45
6.5.	Estudi de la relació entre el temps i el rendiment d'extracció	46
7.	DISSENY D'UNA PLANTA D'EXTRACCIÓ DE GREIX DE PELL ANIMAL AMB DIÒXID DE CARBONI A PRESSIÓ _____	49
7.1.	Introducció	49
7.2.	Característiques del procés.....	49
7.2.1.	Matèries principals	50
7.2.2.	Serveis	51
7.2.3.	Operacions físiques	51
7.3.	Simulació amb Hysys	52
7.3.1.	Consideracions	52
7.3.2.	Diagrama de flux.....	53
7.3.3.	Balanços	54
7.4.	Previsions temporals. Diagrama de Gantt	56
7.5.	Equips	59
7.5.1.	Dipòsit de diòxid de carboni	59
7.5.2.	Mesclador.....	59
7.5.3.	Grup de fred i condensador.....	60
7.5.4.	Bomba.....	60
7.5.5.	Intercanviadors de calor	61
7.5.6.	Extractors	62



7.5.7.	Regulador de pressió	64
7.5.8.	Separador ciclònic.....	65
7.5.9.	Canonades	66
7.5.10.	Altres accessoris	66
8.	ANÀLISI MEDIAMBIENTAL	69
8.1.	Anàlisi mediambiental de la tecnologia convencional	69
8.2.	Anàlisi mediambiental de l'alternativa proposada	71
8.3.	Comparació de tecnologies	72
8.3.1.	Valoració d'impactes	72
8.3.2.	Índexs de sostenibilitat.....	73
8.3.3.	Petjada ecològica.....	80
9.	ANÀLISI ECONÒMICA	83
9.1.	Anàlisi econòmica de la tecnologia convencional	83
9.1.1.	Inversió	83
9.1.2.	Costos de fabricació.....	85
9.1.3.	Vendes	87
9.1.4.	Valor actual net. Període de retorn de la inversió	88
9.2.	Anàlisi econòmica de l'alternativa proposada	88
9.2.1.	Inversió	89
9.2.2.	Costos de fabricació.....	90
9.2.3.	Vendes	94
9.2.4.	Valor actual net. Període de retorn de la inversió	94
9.3.	Comparació de tecnologies	95
	CONCLUSIONS	97
	AGRAÏMENTS	99
	BIBLIOGRAFIA	101
	Referències bibliogràfiques.....	101
	Bibliografia complementària.....	103





1. Glossari

1.1. Glossari de mots

Col·lecció de mots i explicació del seu significat:

adob	Conjunt de les operacions d'adobar pells.
adobar	Donar a les pells o els cuirs el tractament o els tractaments adequats per tal de transformar-los en una matèria que, a més de no ésser putrescible, posseeixi les propietats i l'aspecte necessaris per a l'aplicació pràctica a què vagin destinats.
adobament	Adobatge.
adobatge	En l'adob de les pells, procés d'estabilització del col·lagen.
adoberia	Establiment destinat a adobar pells.
col·lagen	Escleroproteïna animal que és el principal component del teixit conjuntiu, on forma un conjunt d'estructures (fibres col·làgenes) i de substància amorfa (substància col·làgena).
crupó	Peça de la pell després de suprimir-ne o separar-ne els trossos corresponents.
cuir	Pell adobada, caracteritzada pel gruix o la seva duresa, o bé pell en brut sense adobar, de bestiar gros. <i>Cuir artificial, sintètic. Cuir natural.</i>
cuïro	Cuir.
derma	Capa inferior de la pell, de la qual constitueix la part més important i el substrat d'on l'epidermis i els annexos cutanis obtenen el nodriment.
desencalcinament	Procés que consisteix en retirar la calç de la pell per tal d'evitar problemes d'absorció en l'adobatge posterior.
desgreixar	Netejar de greix.
desgreixatge	Operació de desgreixar les pells a fi d'evitar una absorció irregular de l'adob i un acabat poc homogeni.



despiquelatge	Procés que consisteix en fer augmentar el pH de la pell que prèviament havia estat piquelada.
enranciment	Oxidació dels greixos naturals de les pells que produeix un principi d'adob a l'oli en els llocs on hi ha l'excés de greix.
epidermis	Capa exterior de la pell, situada damunt el derma, que cobreix tota la superfície de l'organisme.
extracció	Procés de transferències de matèria entre dues fases immiscibles basat en les diferències de solubilitat de les substàncies, que permet la separació de mescles sòlides, líquides o dissoltes mitjançant llur tractament amb un solvent.
falda	Part de la pell d'un animal que correspon al centre i a la part superior de les potes.
liposoluble	Soluble en greixos i olis.
llana	Pèl de les ovelles.
napa	Pell d'ovella, cabra o boví, generalment adobada amb sals de crom, tenyida amb penetració completa del colorant, de plena flor, suau i sense dividir.
ovella	Mare del xai.
pell	Pell d'un animal separada del cos destinada a ésser emprada en guanteria, en confecció, en pellisseria i, com a pell fina, en sabateria; les altres pells són anomenades <i>cuir</i> .
	pell adobada Pell que ha estat sotmesa a un procés d'adob.
	pell de tripa Pell que passa o ha acabat de passar pel procés de ribera i és a punt d'ésser adobada.
	pell en brut Pell que, després d'escorxat l'animal, ha estat sotmesa només a un tractament de conservació abans d'ésser treballada en l'adoberia.
piquelatge	Procés que consisteix en fer disminuir el pH de la pell amb la finalitat de poder-la conservar durant setmanes o mesos abans de ser adobada.



rendiment	Operació a la qual són sotmeses les pells per tal d'eliminar-ne la matèria proteica interfibril·lar i la calç que encara contenen en el derma per conferir-los així una flexibilitat que faciliti l'adob i fer-les més fines, més llises, més netes pel costat de flor i més suaus al tacte.
ribera	Secció o sala d'una adoberia (la primera on són tractades i treballades les pells) dins la qual passa aigua corrent.

1.2. Glossari de símbols

Col·lecció de símbols i explicació del seu significat:

A	Àrea de transferència de calor [m ²]
D	Diàmetre [m]
E	Eficiència [adimensional]
L	Longitud [m]
m	Massa per unitat de temps [kg/h]
P	Pressió [Pa]
P_c	Pressió crítica [Pa]
Q	Cabal [m ³ /h]
Q_e	Energia per unitat de temps [kJ/h]
r	Radi [m]
S	Superfície [m ²]
S_t	Tensió [Pa]
t	Temps [s]
T	Temperatura [K]
T_c	Temperatura crítica [K]



u	Velocitat [m/s]
U	Coefficient de transferència de calor [kJ/h·m ² ·°C]
V	Volum [m ³]
W	Potència [kW]
λ	Calor de vaporització [kJ/kg]
ΔT	Interval de temperatures [°C]
η	Rendiment [%]

1.3. Glossari d'abreviatures

Col·lecció d'abreviatures i explicació del seu significat:

CFC	Clorofluorocarburs
DQO	Demanda química d'oxigen
EDAR	Estació depuradora d'aigües residuals
E_{elèctrica}	Energia elèctrica
GN	Gas natural
IA	Índex d'aigua
IC	Índex de contaminació
IE	Índex d'energia
IIE	Índex d'incendi i explosió o índex Dow
IM	Índex de matèria
IT	Índex de toxicitat
MES	Matèries en suspensió



MI	Matèries inhibidores
MO	Matèries oxidables
N	Nitrogen
P	Fòsfor
SOL	Sals solubles
TOC_D	Compostos orgànics totals dissolts





2. Prefaci

2.2. Origen del projecte

El projecte neix de la necessitat de millora de l'actual sistema de desgreixatge de pell animal durant els processos d'adob en la indústria de l'adoberia. Actualment, diverses empreses del sector ja han mostrat el seu interès en l'estudi de mètodes més sostenibles que els actuals.

2.3. Motivació

Totes les pells, sigui quin sigui el seu origen, tenen una certa quantitat de greix natural que, si no s'extragués, dificultaria enormement els processos d'adob i acabat de les pells. L'actual procés de desgreixatge s'efectua mitjançant sistemes aquosos amb l'ús de tensioactius, que provoquen un elevat grau de contaminació en les aigües residuals, a més dels costos derivats de la depuració d'aquestes aigües i el pagament d'un impost ecològic, anomenat cànon de l'aigua, sobre l'ús i la càrrega contaminant abocada.

Per tant, la necessitat de desgreixar les pells per a poder-les adobar i les mancances que presenta el sistema actual de desgreixatge defineixen la motivació per a realitzar el projecte.

2.4. Requeriments previs

Els requeriments principals per a poder dur a terme el projecte eren dos: el de disposar d'una planta pilot amb tecnologia d'extracció supercrítica i el de trobar una empresa que subministrés les pells necessàries per als experiments a realitzar en la planta pilot.

La planta pilot utilitzada ha estat la que hi ha al departament d'Enginyeria Química de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Per la seva banda, l'empresa Santiago Fatjó, S. L., situada al Polígon Industrial Malloles de Vic, ha estat l'empresa col·laboradora i referent de la tecnologia convencional de desgreixatge al llarg de tot el projecte, aportant informació diversa i subministrant pells de xai i d'ovella, provinents de diferents països europeus, per a poder-hi realitzar els experiments corresponents.





3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

Els objectius del projecte són els següents:

- Analitzar el sistema actual de desgreixatge de pell animal i determinar-ne les mancances
- Proposar una alternativa de procés més sostenible, basada en la substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent
- Dissenyar una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió i estudiar-ne la seva viabilitat
- Comparar des dels punts de vista econòmic i mediambiental la tecnologia convencional i l'alternativa proposada

3.2. Abast del projecte

El projecte abasta un estudi preliminar sobre el sistema actual de desgreixatge de pell animal, la proposició d'una alternativa, el disseny d'una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió i una comparació de les dues tecnologies descrites en termes econòmics i mediambientals.

Queden fora de l'abast del projecte les operacions anteriors i posteriors al desgreixatge durant els processos d'adob de les pells, centrant-se d'aquesta manera en la millora de l'acció de desgreixar les pells.





4. Situació actual

4.1. Característiques de la pell animal

La pell constitueix el revestiment dels animals superiors. És una substància heterogènia i sovint és coberta per pèl o llana. Està formada per tres capes successives: l'epidermis o zona papil·lar, que és la més superficial; la zona reticular; i la derma o endodermis, que és la capa més profunda i està en contacte amb la carn, el greix i els vasos sanguinis. La figura 4.1 mostra les diferents capes de la pell explicades:

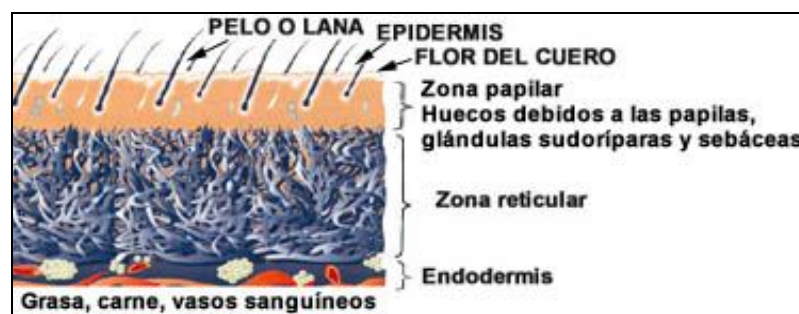


Fig. 4.1 – Capes successives de la pell animal [6]

La pell respon als canvis fisiològics de l'animal i, per tant, és un indicador de la seva edat, el sexe, la dieta, el medi ambient que l'envolta i el seu estat de salut.

L'estructura histològica de la pell és diferent d'un animal a un altre, així com també d'una zona del cos a una altra del mateix individu. No obstant, dins d'una mateixa espècie, tot i que no hi ha estructures idèntiques a causa de les diferents zones de procedència, races i condicions de cria, l'estructura de la pell és molt semblant per als bovins, ovins i equins.

Les pells ovines constitueixen el cas del qual s'ocupa el projecte, ja que són les pells que majoritàriament es tracten a l'empresa Santiago Fatjó, S. L. [8], l'empresa que ha servit de referència de la tecnologia actual de desgreixatge al llarg de tot el projecte.

Així, en el cas dels ovins les pells de més qualitat són les que tenen una quantitat de llana menor. En general, les millors pells en la indústria de l'adoberia s'obtenen d'animals joves, mentre que dels animals vells només se n'obtenen cuirs de qualitat regular.



El cuir oví es pot utilitzar per a: vestimenta (el seu preu és inferior al de la napa vacuna), plaques (cobriment de seients), format lliure (catifes i altres), etc.

Normalment la pell dels ovins és fina, flexible, extensible i d'un color rosat, tot i que en certes races també hi pot haver pigmentació més fosca. La pell fresca de l'animal està constituïda per zones bastant diferenciades, sobretot pel què fa a gruix i compacitat. Es poden distingir tres grans parts, tal com s'aprecia en la figura 4.2:

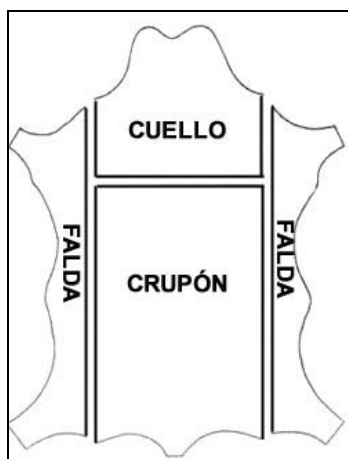


Fig. 4.2 - Parts de la pell [6]

El crupó correspon a la part de la pell de la regió dorsal i lumbar de l'animal. És la part més homogènia, tant en gruix com en estructura dèrmica, la més compacta i valuosa. El seu pes aproximat representa el 45% del pes total de la pell.

El coll correspon a la pell del cap i el coll de l'animal. El seu gruix i la seva compacitat són irregulars i d'estructura fofa. El coll presenta moltes arrugues, que seran més pronunciades com més vell sigui l'animal. El seu pes aproximat representa el 25% del pes total de la pell.

Les faldes corresponen a la pell que cobreix el ventre i les potes de l'animal. Són les parts més irregulars i fofes. El seu pes aproximat representa el 30% del pes total de la pell.

Per tant, la pell d'un animal en general i la d'un oví en particular no és una estructura homogènia, sinó que les seves propietats varien en funció de la zona de procedència, l'edat de l'individu, l'entorn, la superfície i el gruix de la pròpia pell, etc.



4.2. Motivació del procés de desgreixatge

Totes les pells, sigui quin sigui el seu origen, tenen una certa quantitat de greix natural que, si no s'extragués, dificultaria enormement els processos d'adob i acabat de les pells, a més d'incrementar el risc d'aparició de taques o erupcions en els productes acabats. Per tant, el procés de desgreixatge en la indústria de l'adoberia és un dels més importants i delicats, ja que la presència de greix en les pells confeccionades és del tot indesitjable.

El greix natural no és evidentment el mateix ni en totes les espècies animals ni en tots els animals d'una mateixa espècie. La quantitat de greix en la pell depèn de diversos factors: l'origen geogràfic, l'alimentació, el sistema de cria, etc. La distribució del greix en la pell no és tampoc regular ni en gruix ni en superfície, tal com es pot observar a continuació en les figures 4.3 i 4.4, respectivament:

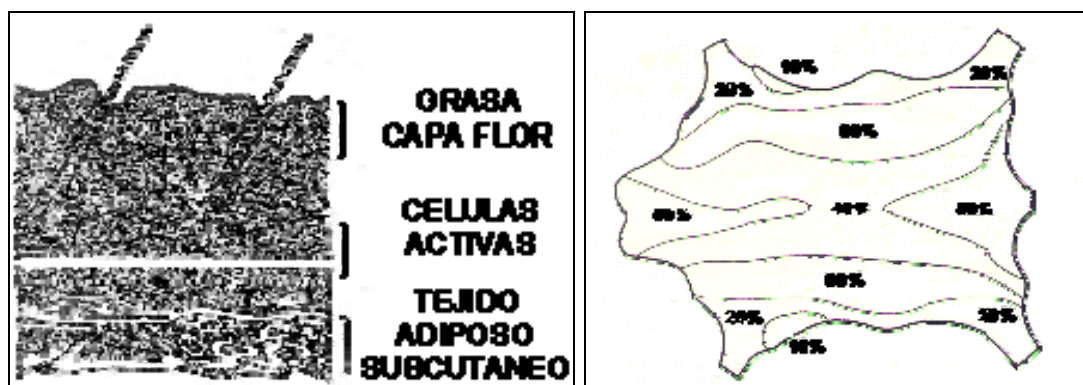


Fig. 4.3 – Distribució en gruix [6]

Fig. 4.4 – Distribució en superfície [6]

La distribució en gruix del greix en la pell està formada per tres capes diferents: una primera capa flor; una capa intermèdia on hi ha les cèl·lules actives; i una capa més interior on es troba el teixit adipós subcutani. Pel que fa a la distribució del greix en superfície, es pot observar en l'esquema següent que la major part del greix natural es concentra en les zones centrals de la pell i, més concretament, en el coll i la culata.

Per tant, el greix no està distribuït uniformement ni en gruix ni en superfície, fet que dificulta el desgreixatge de les pells que, abans de ser adobades, han de tenir un contingut en greix aproximat inferior al 2% (valor que s'ha considerat acceptable perquè una pell pugui ser adobada satisfactòriament, sense l'aparició de defectes per un desgreixatge insuficient) [8].



4.3. Problemes derivats del greix natural

Si no es porta a terme un bon desgreixatge de la pell, els problemes que poden sorgir són molt variats: des de problemes derivats del recobriment greixós que tenen les fibres fins a altres del propi greix natural no eliminat.

Els problemes derivats del recobriment greixós són l'obtenció de pells crues i dures, ja que el greix no és miscible en aigua i no existeix un contacte adient entre el bany aquós (medi normal d'adobatge) i la fibra. Per tant, no es pot dur a terme un procés d'adobatge normal i les pells finals no tenen una bona aparença.

Altres problemes derivats d'un mal desgreixatge són les reaccions que es poden produir entre els productes del procés d'adobatge i el propi greix restant en la pell. Aquestes reaccions donen lloc a l'aparició de taques fosques en la pell, que no poden ser eliminades en rentats posteriors.

D'altra banda, també poden sorgir problemes durant el procés de tinció de la pell, ja que alguns colorants són liposolubles, és a dir, que es dipositen més allà on hi ha més greix i, per tant, queden taques en la pell.

Com a problemes derivats del propi greix natural no eliminat, tenen lloc enranciments (amb les corresponents males olors), reescalfaments de les piles de pells (en alguns casos fins a l'autoignició) i taques.

A més, com a conseqüència de la presència del greix en la pell, es pot produir una migració d'àcids grassos a la superfície de la pell, que cristal·litzen donant lloc a un vel blanquinós. La seva presència és fàcilment comprovable, ja que en acostar una font de calor a la superfície de la pell, el vel blanquinós es fon i desapareix momentàniament. Al cap d'una estona, però, torna a fer-se visible.

El problema més greu de tots els explicats és aquest últim, perquè la majoria de cops no es detecta a fàbrica i apareix més tard, quan les condicions de temperatura i humitat són adients. El problema s'agreuja quan es detecta en pells acabades o, fins i tot, ja confeccionades.



4.4. Tecnologia convencional: desgreixatge aquós amb tensioactius

El desgreixatge és un procés que es realitza en les pells amb la finalitat d'eliminar el greix natural que porten. Normalment té lloc després del despiquetatge i abans de l'adobament, essent possible però no habitual en d'altres punts del procés global d'adob.

Cal tenir en compte que no tota la pell conté la mateixa quantitat de greix i que, en una mateixa pell, hi ha zones amb més greix que altres. El contingut en greix de la pell depèn, entre d'altres factors, del país d'origen de l'animal. Les pells provinents de països nòrdics contenen grans quantitats de greix, mentre que les pells provinents de països africans gairebé no en contenen.

L'operació de desgreixatge es realitza sempre sobre pells ovines i porcines, que contenen entre un 10 i un 30% de greix natural sobre el pes sec de la pell. En pells bovines, que contenen entre un 2 i un 3% de greix, la major part s'elimina en altres operacions de ribera i no és necessari desgreixar-les.

Tot i que existeixen diversos mètodes tradicionals de desgreixatge, el més utilitzat actualment en el món de l'adoberia és el tractament a base de sistemes aquosos d'aigua i tensioactius. Els tensioactius són substàncies que influeixen, per mitjà de la tensió superficial, en la superfície de contacte entre dues fases; en aquest cas, entre l'aigua i el greix, que són insolubles entre sí. Els tensioactius estan formats per una part hidròfoba i una part hidròfila. La part hidròfoba s'uneix als greixos, mentre que la part hidròfila és soluble en aigua; d'aquesta manera es manté l'emulsió que permet el desgreixatge de les pells.

El mecanisme de funcionament dels tensioactius és el següent: en contacte amb l'aigua, les parts hidròfobes de les molècules individuals s'ajunten amb les parts hidròfobes dels greixos, formant bombolles en les quals les parts hidròfobes queden al centre i les parts hidròfiles a la perifèria, dissoltes en aigua. Aquestes estructures reben el nom de micel·les.

En el cas de pells ovines amb un elevat contingut en greix (igual superior al 25% sobre el pes sec de la pell), com per exemple les procedents de Nova Zelanda, sovint no n'hi ha prou amb l'ús de tensioactius i cal recórrer a l'ajuda de dissolvents.

El tractament aquós amb tensioactius sol tenir lloc en un bombo amb agitació i es realitza en diversos rentats consecutius. Primerament, s'introdueixen manualment les pells en el bombo. A continuació, s'afegeixen l'aigua i els tensioactius i s'agita el bombo durant un cert temps, al final del qual es renova l'aigua i es duu a terme un segon rentat. Aquest procediment es realitza tres o quatre vegades, la primera amb tensioactius i les restants només amb aigua.



Els principals factors que influeixen en el tractament de desgreixatge aquós amb tensioactius són: el pH, la temperatura i l'acció mecànica [17].

Pel què fa al pH, les cèl·lules grasses, amb el temps, pateixen un trencament de la seva membrana a pH molt àcids (1 – 1,5) i, per tant, la capacitat d'extracció del greix augmenta en aquestes condicions. Respecte a la temperatura, és aconsellable treballar a temperatures altes per a fluïdificar el greix a l'interior de la pell, però hi ha un límit, que són els 45 °C que la pell és capaç de suportar sense fer-se malbé [8]. Finalment, l'acció mecànica és un dels altres factors importants, ja que una bona acció mecànica afavoreix la penetració de l'agent extractor a l'interior de la pell.

El desgreixatge de pell animal mitjançant un tractament aquós amb tensioactius dona lloc a un bany residual que destaca per la seva gran càrrega contaminant. Tot i que la majoria de processos als quals és sotmesa la pell durant el seu tractament també donen lloc a banys residuals contaminants, els banys residuals de desgreixatge i adobatge són els més significatius.

Les característiques mitjanes d'un bany residual de desgreixatge d'una indústria adobera actual són les que es mostren a la taula 4.1:

BANY RESIDUAL	DQO [mg O ₂ /l]	pH	MES [mg/l]	TOC _D [mg C/l]	CLORURS [mg Cl/l]
Desgreixatge	88000	7,71	3650	13230	18327

Taula 4.1 – Característiques mitjanes d'un bany residual de desgreixatge [14]

on: DQO = Demanda química d'oxigen (quantitat d'agent oxidant consumida per les matèries reductores orgàniques i inorgàniques presents en una mostra de l'aigua problema)

MES = Matèria en suspensió

TOC_D = Compostos orgànics totals dissolts

Els elevats valors de TOC_D i DQO són deguts als greixos extrets de la pell. La matèria en suspensió està constituïda per restes de pells que es desfilen. El pH ve condicionat per l'adobament posterior al desgreixatge, que ha de ser proper a 7. Finalment, l'elevada concentració de clorurs és causada per la sal que sovint és afegida en el bany de desgreixatge per tal d'evitar l'inflament de les pells.



Per a complir dels paràmetres d'abocament establerts per la llei, les indústries adoberes haurien de depurar les seves aigües fins a l'assoliment dels següents valors (taula 4.2):

PARÀMETRE D'ABOCAMENT	VALOR ESTABLERT PER LA LLEI
DQO [mg O ₂ /l]	160
pH	5,5 – 9,5
MES [mg/l]	80
CLORURS [mg Cl ⁻ /l]	2000

Taula 4.2 – Valors dels paràmetres d'abocament establerts per la llei [3]

Per tant, el bany residual del procés de desgreixatge esdevé una problemàtica important per a les indústries adoberes actuals, que requereixen d'una estació depuradora d'aigües residuals en la mateixa planta d'adob de les pells.

4.5. Problemes de qualitat per desgreixatge insuficient

Un desgreixatge insuficient de les pells provoca una sèries de problemes de qualitat en els productes acabats. Els principals problemes que poden aparèixer es descriuen tot seguit.

4.5.1. Eflorescència grassa

Aquest problema sol aparèixer en cuirs adobats al crom i es presenta com una capa blanca de línies fines i cristal·lines o un vel lleuger. En algunes ocasions es tracta de taques esteses per tota la superfície del cuir, mentre que en d'altres només es tracta de taques puntuals.

Normalment la presència d'àcids palmític o esteàric en pells mal desgreixades és la causa de l'eflorescència grassa [6]. L'aparició d'aquestes taques es veu afavorida pels canvis de temperatura, l'elevada humitat de l'aire, una neutralització no acurada dels cuirs i l'acció dels enzims bacteriològics o fúngics. Es pot solucionar aquest defecte efectuant un desgreixatge posterior a l'aparició de les taques. També es pot realitzar una neteja de la pell fregant amb draps, a base de dissolvents de greixos, benzines o altres derivats del petroli. Tot i això, no es pot assegurar que després d'aquests tractaments les taques no tornin a sortir.



4.5.2. Taques de greix

Es tracta de taques desiguals de greix, olioses i fosques. La majoria corresponen a secrecions de substàncies grasses líquides, no eliminables perquè anteriorment han format sabons de greix insolubles per reacció amb la calç, sals de crom, etc.

4.5.3. Arrugues de greix

Es presenten en tipus de pell d'ovella de llana fina i en algunes de llana gruixuda, sobretot en la zona del coll i les espatlles. Visualment s'observen en la pell ja adobada unes ratlles intenses, paral·leles entre sí i perpendiculars a la línia del llom, en els dos costats de la pell i de forma simètrica. Les arrugues provoquen un enduriment de les parts de pell afectades.

4.6. El cas de l'empresa Santiago Fatjó, S. L.

L'empresa Santiago Fatjó, S. L. [8], situada al Polígon Industrial Malloles de Vic, és l'empresa de referència de la tecnologia convencional al llarg de tot el projecte. La seva activitat consisteix en tractar, principalment, pells d'ovella, xai i cabra.

Del total de la seva producció, un 90% de les pells són tractades només fins al procés de piquelatge, ja que els corresponents clients així ho demanen. El 10% restant són també desgriexades i adobades. És precisament aquest 10% i, més concretament, el desgriexatge que se'ls aplica, l'objecte d'estudi d'aquest apartat.

A continuació (figura 4.5) s'observa un esquema del procés global d'adob de les pells, en el qual s'emmarca el procés de desgriexatge. Així es visualitza d'una forma clara l'abast del projecte, que es concreta en la millora del sistema actual de desgriexatge (part ombrejada de l'esquema) i no en les operacions anteriors ni posteriors a aquest.

El tractament d'adob complet que rep la pell està descrit detalladament en l'annex A (Tractament complet que rep la pell).



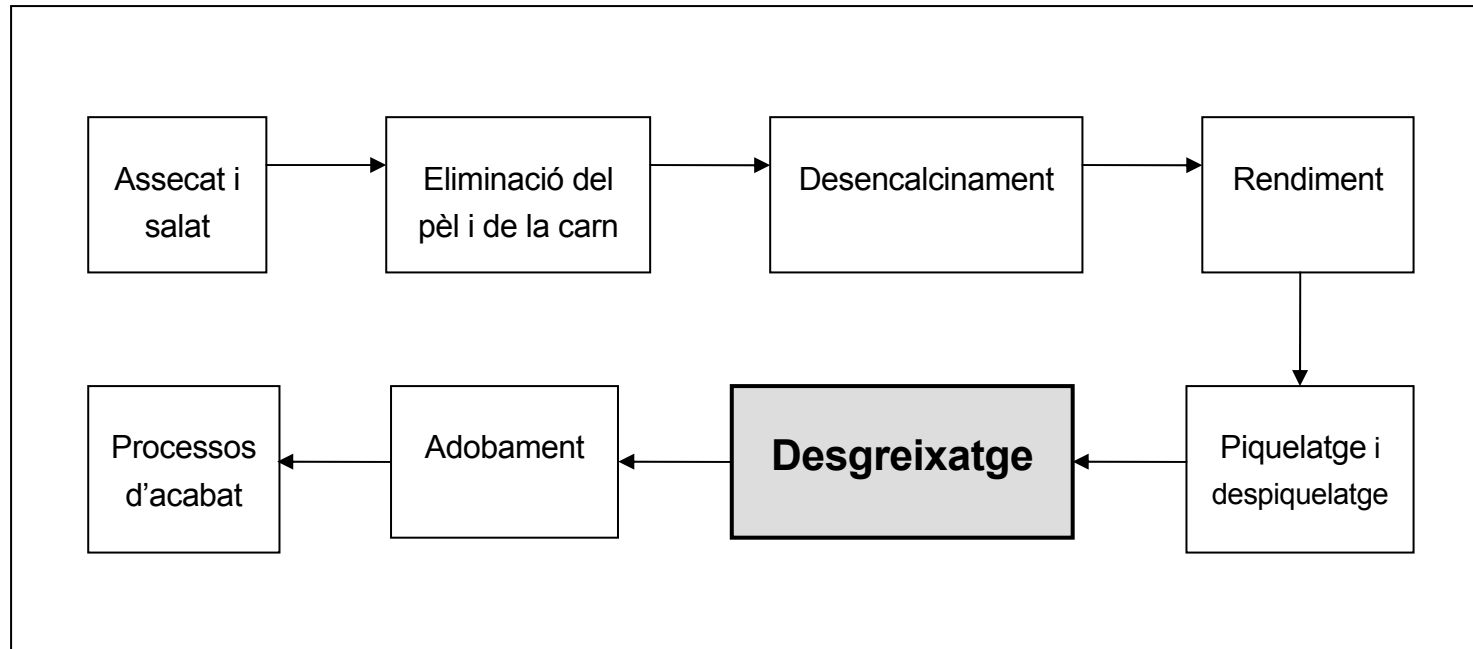


Fig. 4.5 – Desgreixatge de les pells dins del procés global d'adob

4.6.1. Característiques del procés

L'empresa Santiago Fatjó, S. L. desgreixa les pells mitjançant un tractament aquós amb tensioactius, que consisteix en dur a terme el següent procediment:

La pell s'introdueix en un bombo, així com l'aigua i els tensioactius necessaris per a dur a terme el desgreixatge. El bombo està equipat amb agitació mecànica, que facilita l'extracció dels greixos de la pell. L'aigua del procés ha estat prèviament escalfada fins als 35 – 40 °C, ja que un augment de la temperatura afavoreix també la millor extracció dels greixos. Tot i això, cal no sobrepassar mai els 45 °C, perquè llavors la pell es fa malbé. Tot seguit s'agita el bombo durant un cert temps, al final del qual es renova l'aigua. Es torna a agitar i així successivament fins al final del procés.

En general, la recepta que s'utilitza normalment a l'empresa per a desgreixar les pells en cada rentat és la que s'observa en la taula 4.3:

TEMPS	MATÈRIA	QUANTITAT	METODOLOGIA
0 minuts	Pell	600 unitats	Es posen les pells, l'aigua i el tensioactiu dins del bombo i s'agita durant 30 minuts.
	Aigua	1,5 m ³	
	Tensioactiu	2,4 kg	
30 minuts	Aigua	1,5 m ³	Es renova l'aigua i s'agita durant 30 minuts més.
60 minuts	Aigua	1,5 m ³	Es renova l'aigua i s'agita durant 30 minuts més.

Taula 4.3 – Recepta del desgreixatge de l'empresa Santiago Fatjó, S. L. [8]

L'empresa Santiago Fatjó, S. L. desgreixa unes 23000 pells a l'any, que corresponen al 10% de la seva producció total (el 90% restant són piquelades però no desgreixades). Per tant, sabent que es desgreixen 600 pells en cada rentat, es determina el nombre de rentats anuals que s'efectuen a l'empresa, que és de 38 rentats/any (aproximadament).

A més, sabent les quantitats d'aigua i tensioactiu que es consumeixen en cada rentat, se'n determinen els consums per pell:

$$(4,5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O} / 1 \text{ rentat}) \cdot (1 \text{ rentat} / 600 \text{ pells}) = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{pell}$$

$$(2,4 \text{ kg tensioactiu} / 1 \text{ rentat}) \cdot (1 \text{ rentat} / 600 \text{ pells}) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg tensioactiu}/\text{pell}$$



El bany residual de desgreixatge que s'obté de cada rentat és enviat a una estació depuradora d'aigües residuals, situada en la mateixa planta de tractament. La DQO (demanda química d'oxigen) inicial del bany residual (88000 mg O₂/l) es rebaixa fins als 250 mg O₂/l aproximadament, valor encara superior a l'establert per la llei (160 mg O₂/l) [3].

Per tant, les característiques del procés de desgreixatge que es duu a terme a l'empresa Santiago Fatjó, S. L. impliquen elevats consums d'aigua, així com uns costos de depuració associats i el pagament d'un impost ecològic anomenat cànon de l'aigua segons l'ús i la càrrega contaminant abocada. A més, les característiques del procés impedeixen la recuperació del greix de la pell, producte aprofitable per a d'altres sectors industrials com el farmacèutic o el cosmètic.

Altres inconvenients de la tecnologia convencional de desgreixatge són les fortes olors que se'n deriven perquè, tot i que la pròpia pell ja fa mala olor, el bany residual de desgreixatge que se n'obté i el seu posterior tractament també en són els causants.

No obstant, la tecnologia convencional de desgreixatge aquós amb tensioactius és un sistema de contrastada eficàcia i el temps de procés que requereix no és elevat.

4.6.2. Equips

Els equips dels quals disposa l'empresa Santiago Fatjó, S. L. per a dur a terme el procés de desgreixatge aquós amb tensioactius són els següents:

Dipòsit d'aigua

El dipòsit d'aigua, a més d'abastir normalment la planta, serveix de tanc d'emmagatzematge per tal de prevenir qualsevol discontinuïtat en la producció. És cilíndric, d'acer inoxidable i amb una capacitat mínima per a abastir la planta durant dos rentats:

$$(2 \text{ rentats}) \cdot (4,5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{rentat}) = 9 \text{ m}^3$$

Dipòsit de tensioactiu

El dipòsit de tensioactiu, igual que el dipòsit anterior, a més d'abastir normalment la planta, serveix de tanc d'emmagatzematge per tal de prevenir qualsevol discontinuïtat en la producció. És cilíndric, d'acer inoxidable i amb una capacitat per a abastir la planta durant dos rentats:

$$(2 \text{ rentats}) \cdot (2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ tensioactiu}/\text{rentat}) = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$



Bombo amb agitació

El bombo on té lloc el procés de desgreixatge té una capacitat de 3,5 m³ i és d'acer inoxidable. Té una potència d'agitació de 30 kW i està obert per dalt per a poder-hi introduir les pells. A més, disposa d'un sistema d'escalfament elèctric de l'aigua.

Bomba (enllaç bombo – EDAR)

La bomba permet bombejar el bany residual de desgreixatge des del bombo fins a l'estació depuradora d'aigües residuals de la mateixa planta. Té una potència d'1 kW i és d'acer inoxidable, centrífuga i radial.

Estació depuradora d'aigües residuals (EDAR)

El bany residual de desgreixatge és enviat per la bomba a l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR), que està situada en la mateixa planta de tractament. L'aigua circula per gravetat a través de les diferents unitats de l'EDAR.

El desbast és el primer tractament al qual se sotmet el bany residual. En aquesta unitat se separa la matèria grossa de la resta, mitjançant unes reixes que retenen la brutícia sòlida (desbast de greixos). Tot seguit, el bany residual és remogut amb aire en l'homogeneïtzador, abans de passar al tamís, que separa la matèria fina de la resta. Unes reixes més estretes que les del desbast retenen les partícules petites.

Després dels processos de separació, es realitza un tractament fisicoquímic del bany residual. En la primera unitat, s'addiciona un polielectròlit a l'aigua per tal de desestabilitzar els greixos i altres contaminants que pugui portar. En una segona unitat, s'addiciona un compost fèrric a l'aigua que té una acció floculant sobre els greixos del bany residual. Finalment, en la tercera unitat de tractament fisicoquímic, s'addiciona calç a l'aigua per tal de regular el pH.

Tota la matèria contaminant no desitjable flocula en el decantador, gràcies a l'acció dels agents afegits anteriorment. Es formen els fangs, que van cap a la línia de fangs de la planta depuradora, i així se separen de l'aigua, que retorna al riu i continua el seu cicle.



5. Alternativa proposada: desgreixatge amb gas dens (CO₂)

En l'apartat anterior s'ha observat la problemàtica de l'ús de l'aigua en el desgreixatge de pells, ja que el bany residual que se'n deriva és altament contaminant i costós de depurar. Per tant, a partir de la millora desitjada per a la tecnologia de desgreixatge aquós amb tensioactius, es proposa una alternativa que consisteix en desgreixar les pells mitjançant l'extracció del greix amb un gas dens, el diòxid de carboni.

A continuació es descriuen detalladament els fonaments teòrics de l'alternativa proposada, que passa per la substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent del procés i l'aplicació dels fluids supercrítics en general i el diòxid de carboni en particular als processos d'extracció.

5.1. Substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent

L'alternativa que es proposa al desgreixatge aquós amb tensioactius passa per substituir l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent del procés. El diòxid de carboni és un gas dens que es pot utilitzar com a agent d'extracció en condicions properes al punt crític, ja siguin subcrítics o supercrítics.

El diòxid de carboni, també anomenat biòxid de carboni, òxid de carboni (IV) i anhídrid carbònic, és un gas de fórmula química CO₂. Les seves molècules són lineals i apolars i estan formades per dos àtoms d'oxigen i un de carboni. Una de les seves peculiaritats és que a pressió atmosfèrica no es troba en fase líquida; el sòlid sublima directament a la fase gasosa.

El diòxid de carboni és un dels gasos d'efecte hivernacle [19]. Els gasos anomenats d'efecte hivernacle retenen l'escalfor del sol que la Terra reflecteix, contribuint així a mantenir estable la temperatura del planeta. No obstant, un excés d'aquests gasos provoca un escalfament global del planeta, fenomen conegut amb el nom d'efecte hivernacle. En conseqüència, les emissions de diòxid de carboni produïdes per l'activitat industrial no són desitjables per a la salut del planeta. En el cas del projecte, caldrà estudiar quina quantitat de diòxid de carboni es requereix per a dur a terme l'alternativa proposada i en quina mesura contribueix a un escalfament global del planeta.



En general, les característiques principals del diòxid de carboni són les que s'observen tot seguit en la taula 5.1:

GENERALITATS	
Nom	Diòxid de carboni
Fórmula	CO ₂
Aparença	Gas incolor
PROPIETATS	
Massa molecular	44,01 kg/kmol
Punt de fusió	Liqua sota grans pressions a -57 °C
Punt d'ebullició	Sublima a -78 °C
Punt crític	31 °C i 73 bar
Densitat	1,6 · 10 ⁻³ kg/m ³ (sòlid); 1,98 kg/m ³ (gas a 25 °C)
Solubilitat	1,45 · 10 ⁻³ kg/kg H ₂ O
RISCS	
Ingestió	Pot causar irritació, nàusees, vòmits i hemorràgies
Inhalació	Produeix hiperventilació i asfíxia a llarg termini
Pell	Pot fer mal a la pell en forma de gel sec

Taula 5.1 – Característiques principals del diòxid de carboni [9]

El diòxid de carboni és un gas amb una temperatura crítica de 31 °C i una pressió crítica de 73 bar. A continuació es descriuen les característiques dels fluids supercrítics, entre els quals hi ha el diòxid de carboni, i les seves aplicacions.

5.2. Fluids supercrítics: característiques i aplicacions

L'estat supercrític d'un fluid es defineix com l'estat d'un element, compost o mescla que es troba per sobre de la seva pressió crítica (P_c) i la seva temperatura crítica (T_c), però per sota de la pressió requerida per a solidificar-lo. No obstant, aquest últim terme de la definició és normalment omès, ja que la pressió requerida per a solidificar un fluid supercrític és, en general, impracticablement elevada.



El punt crític d'un fluid correspon a la màxima pressió i màxima temperatura a la qual la substància pot existir com a vapor i líquid en equilibri, tal com s'observa en la figura 5.1:

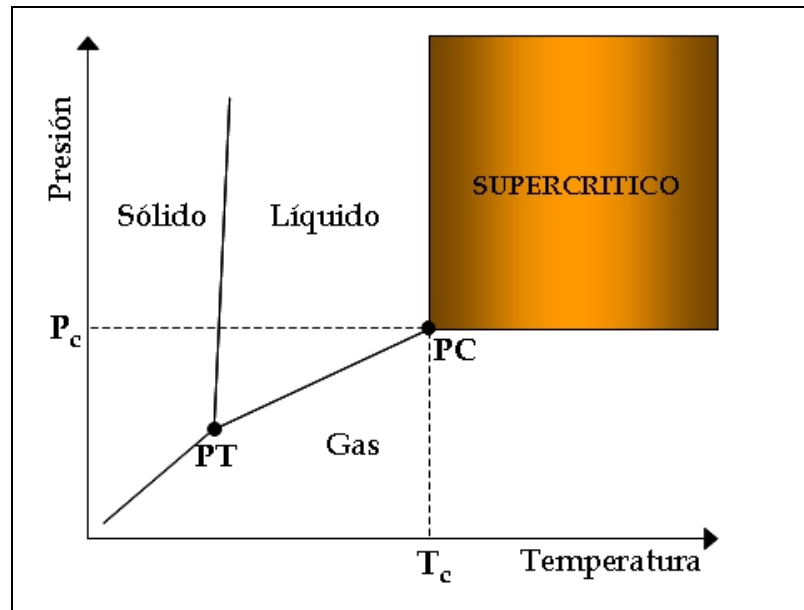


Fig. 5.1 – Estat supercrític d'un fluid [21]

Les propietats d'un fluid supercrític varien considerablement depenent de la pressió i la temperatura, però en general tenen valors intermedis entre els dels líquids i els dels gasos. Tot i això, aquestes propietats, en particular la densitat, són molt sensibles a petits canvis en la pressió i la temperatura prop del punt crític.

La densitat d'un fluid supercrític és, aproximadament, dos ordres de magnitud superior a la dels gasos, però també és gairebé la meitat que la d'un líquid. La viscositat i la difusivitat són altament dependents de la pressió i la temperatura, però es pot observar que un fluid supercrític té menor viscositat i major difusivitat que un líquid.

La densitat del fluid supercrític (semblant a la dels líquids) permet utilitzar-los com a solvents de diferents substàncies, ja que els nivells de dissolució obtinguts són molt majors als esperats considerant el comportament dels gasos ideals. Per tant, la temperatura i la pressió poden ser utilitzades com a variables de control de la solubilitat i la separació d'un solut.

En canvi, els valors de la difusivitat i la viscositat, que són propietats de transport, indiquen que la difusió d'un compost serà molt més ràpida en un fluid supercrític que en un líquid, així, un fluid supercrític serà més eficient que un líquid a causa de la seva capacitat de penetració en les estructures poroses.



La propietat més important d'un fluid supercrític (i la que més els diferencia dels líquids) és la seva ajustabilitat: petites variacions en la pressió i la temperatura poden provocar modificacions en les propietats passant de ser quasi gas a quasi líquid.

Quant a la seva aplicabilitat com a medis o solvents de reacció, els fluids supercrítics es consideren molt útils degut al seu gran poder solvent de diversos líquids i sòlids, especialment quan es troben comprimits a densitats properes a les dels líquids. Els fluids supercrítics poden dissoldre gasos com l'hidrogen, l'oxigen i el monòxid de carboni.

El diòxid de carboni és considerat el fluid supercrític per excel·lència degut a les seves propietats: no és tòxic, té una elevada inèrcia química, no és inflamable, etc. Tot i això, en determinades ocasions pot no ser la millor opció, ja que la temperatura i la pressió necessàries per a dur a terme la mescla reaccionant a l'estat supercrític són bastant elevades (degut a la baixa solubilitat del diòxid de carboni en els greixos i olis). També són fluids supercrítics de gran importància el propà, el dimetilèter i l'età.

5.3. Tecnologia d'extracció supercrítica

5.3.1. Introducció

L'extracció supercrítica és una tècnica de separació de recent desenvolupament que es basa en la utilització, com a agent separador, d'un fluid inert en condicions supercrítiques.

En estat supercrític, el solvent presenta un comportament singular en les seves propietats termodinàmiques i de transport. Així, el fluid supercrític es comporta en part com un gas i en part com un líquid. S'utilitzen, per tant, aquestes singularitats per a finalitats extractives.

L'extracció amb fluids supercrítics és una operació unitària híbrida que utilitza els avantatges de la destil·lació i l'extracció líquida conjuntament. En comparació amb d'altres tècniques més convencionals, ofereix una flexibilitat elevada a partir de les variables pressió, temperatura, selecció del solvent i possibilitat d'incorporació de cosolvents. Petits canvis de temperatura i pressió en la regió crítica produeixen grans canvis en la densitat del solvent i, per tant, en el seu poder de dissolució.

A més de l'augment de la capacitat de dissolució, un altre gran avantatge d'aquesta tècnica és la facilitat de recuperació del solvent, variant les condicions de pressió i temperatura, és a dir, reduint la densitat del solvent en estat gasós.



5.3.2. Avantatges i inconvenients

Els avantatges de la tecnologia d'extracció supercrítica respecte a d'altres tècniques més convencionals són els següents:

- Existeixen moltes opcions per a controlar la selectivitat, que és extremadament sensible a variacions de pressió, temperatura i selecció del solvent
- L'extracte està pràcticament lliure de solvent residual. El solvent pot ser recuperat amb mínimes pèrdues
- Es poden extreure components d'elevat punt d'ebullició a temperatures relativament baixes
- Operar a temperatures baixes permet que els compostos sensibles a la calor no es deteriorin durant els processos d'extracció
- Es poden aconseguir separacions que no són possibles mitjançant altres tècniques
- Generalment, els solvents adients per a l'extracció supercrítica solen ser barats
- S'utilitzen com a solvents normalment gasos inerts, no inflamables
- El solut difon més ràpidament a través d'un solvent supercrític degut a les seves bones propietats de transport (difusivitats diversos ordres de magnitud superiors a les dels líquids)

No obstant, també existeixen alguns inconvenients:

- Necessitat de treballar a altes pressions, la qual cosa provoca reticències en la indústria per raons de seguretat i pels elevats costos d'inversió que comporta
- Falta de dades de disseny de l'extracció, que repercuteixen en el dimensionat dels equips

5.3.3. Variables de procés

Les variables de procés que més influeixen sobre la capacitat extractora del solvent són: la pressió i la temperatura d'extracció, la densitat i el cabal de solvent i la possible existència d'un o més cosolvents d'extracció.



Pel què fa a la pressió, en les condicions de procés de l'extracció supercrítica la capacitat del solvent, en general, augmenta amb la pressió, a temperatura constant. Per tant, la quantitat d'extracte romanent, després d'un mateix període d'extracció i una mateixa temperatura, disminueix exponencialment amb la pressió.

L'efecte de la temperatura sobre la solubilitat és més complex, ja que tenen lloc dos efectes antagònics: d'una banda, si augmenta la temperatura augmenta la pressió de vapor el solut, tendint a incrementar la solubilitat; d'altra banda, la densitat del solvent disminueix i provoca que també ho faci la solubilitat. En general, per tant, si la pressió no és baixa, l'augment de temperatura provoca un major cabal d'extracció.

El cabal de solvent és el paràmetre més important a determinar, una vegada fixades les condicions d'extracció (pressió, temperatura i solvent). A cabals baixos de solvents, la quantitat d'extracte romanent en el sòlid és elevada després d'un cert temps d'extracció. En un rang intermedi de cabals de solvent, la influència sobre la quantitat extreta és molt gran, però a cabals majors el contingut d'extracte romanent sembla aproximar-se a un límit. A més, el cabal de solvent no pot ser discutit sense tenir en compte consideracions econòmiques.

Un augment de la densitat del solvent produeix un augment del cabal d'extracció, a temperatura constant. La densitat és responsable de la capacitat del solvent, ja que la solubilitat d'un compost augmenta en augmentar la densitat.

Sovint és corrent afegir al fluid supercrític un component addicional, anomenat cosolvent o modificador. Això es realitza amb la finalitat d'imposar propietats en el solvent que cap dels components té per ell mateix. Es pretenen aconseguir millores com ara: l'augment del poder solvent del fluid supercrític i del factor de separació; i l'augment de la dependència de la temperatura i la pressió del poder solvent.

Degut a l'augment del poder extractor d'un solvent, una càrrega determinada en la fase gasosa es pot aconseguir a pressions considerablement menors. Per la seva banda, l'augment de la dependència de la temperatura i la pressió del poder solvent permet regeneracions del solvent a partir de canvis mínims de temperatura i pressió.

5.3.4. Elecció del solvent d'extracció

Els possibles solvents supercrítics abracen un ampli interval de temperatures d'extracció i varien considerablement en mida i polaritat, essent en ocasions més convenient la utilització de mesclures que de components purs. La majoria dels possibles solvents supercrítics són productes econòmicament assequibles.



Molts gasos (età, etè, trifluorometà, diòxid de carboni, hexafluorur de sofre, òxid nítrós, propà, propè, metanol, etc.) es poden utilitzar com a possibles solvents supercrítics. Tots ells presenten una temperatura crítica relativament baixa, la qual cosa provoca una obtenció mínima de residus en el solvent a baixa temperatura i un menor deteriorament dels components termosensibles.

Tot i això, existeixen algunes limitacions, entre les quals destaquen: l'elevat preu d'alguns solvents (hexafluorur de sofre, halocarburs); la inestabilitat (òxid nítrós); la inflamabilitat i el perill de formació de mesclures explosives (età, etè, propà); i raons ecològiques (halocarburs).

El diòxid de carboni és el solvent utilitzat en la majoria de les aplicacions, ja que té unes propietats que el fan especialment adient per a la tècnica de l'extracció supercrítica: és un bon solvent de molts productes orgànics; la seva solubilitat mútua amb l'aigua és petita; la seva volatilitat és relativament elevada en comparació amb els extractes orgànics; té una viscositat baixa, uns coeficients de difusió elevats i una entalpia de vaporització petita; el seu punt crític és accessible; no és tòxic ni inflamable; té un cost baix i és de fàcil disponibilitat.

5.3.5. Aplicacions

Les aplicacions de l'extracció supercrítica són diverses i van des de plantes industrials de petites dimensions fins a simplement patents de procés. Algunes de les més importants són: obtenció de productes naturals i alimentaris; separació d'hidrocarburs pesats; regeneració de carbó actiu, adsorbents, filtres i catalitzadors; separació i purificació de productes químics; obtenció d'aigua potable a partir d'aigua de mar; extracció de solvents, monòmers o oligòmers en processos de polimerització; cromatografia de fluids supercrítics.

5.3.6. Aplicació al desgreixatge de pells

L'aplicació de la tecnologia d'extracció supercrítica al desgreixatge de pells és l'alternativa que es proposa a la tecnologia convencional actual. El diòxid de carboni, com a solvent del procés, és un fluid supercrític amb unes característiques adients segons els criteris descrits de selecció d'un solvent d'extracció.

Prèviament a l'experimentació en planta pilot s'ha estudiat la possible existència d'un cosolvent en el procés d'extracció. Aquesta, però, s'ha limitat quant a temperatura degut als 40 °C que la pell pot suportar, com a màxim, sense fer-se malbé [8].



Si la mescla extractora resultant té una temperatura crítica inferior als 40 °C, és possible realitzar experiments en condicions subcrítiques i supercrítiques sense superar aquest límit. Però si la mescla extractora resultant té una temperatura crítica de 40 °C o superior, només es poden dur a terme experiments en condicions subcrítiques.

S'han calculat les condicions crítiques de possibles mescles extractores mitjançant el mètode de Chueh – Prausnitz [21] i els resultats que s'han obtingut són els següents (taula 5.2):

Mescla	Fracció molar (cosolvent)	Pc (bar)	Tc (°C)
CO ₂ / Dietilèter	0,05	81,19	47,70
	0,10	86,23	62,62
	0,20	87,97	88,23
CO ₂ / Etanol	0,05	90,73	52,26
	0,10	104,18	71,67
	0,20	121,62	105,72
CO ₂ / Metanol	0,05	90,15	47,63
	0,10	103,34	63,40
	0,20	122,17	92,64
CO ₂ / Acetona	0,05	94,98	53,60
	0,10	110,87	73,73
	0,20	127,92	107,98

Taula 5.2 – Mescles crítiques calculades segons Chueh – Prausnitz [21]

De les dades de la taula s'observa que cap de les mescles plantejades té una temperatura crítica inferior als 40 °C. Per tant, s'ha escollit el diòxid de carboni com a solvent del procés d'extracció sense l'existència de cap cosolvent.

Quant a les condicions de funcionament, cal determinar si l'aplicació de la tecnologia d'extracció supercrítica al desgreixatge de pells és més favorable en condicions de funcionament subcrítiques o supercrítiques. S'ha vist en apartats anteriors que petits canvis de pressió i temperatura al voltant del punt crític d'un gas poden provocar grans canvis en els resultats del procés d'extracció.

La determinació de les condicions de funcionament i la influència de les variables de procés sobre el rendiment d'extracció, s'ha estudiat mitjançant la realització d'una sèrie d'experiments a nivell de planta pilot, que es presenten tot seguit en el següent apartat.



6. Experimentació en planta pilot

Per a dur a terme l'experimentació en planta pilot, cal conèixer-ne els paràmetres més importants, les variables de procés, etc. També cal determinar com es calcula el rendiment del procés, així com el contingut d'aigua i el contingut de greix de les mostres de pell.

A partir dels coneixements anteriors, es realitza un disseny d'experiments del tipus 2^n (on n correspon al número de variables), un estudi previ sobre les condicions de funcionament del procés (subcrítiques versus supercrítiques) i un estudi posterior sobre l'afectació del temps en el rendiment d'extracció.

Tots els càlculs detallats de l'experimentació en planta pilot es poden consultar a l'annex C (Càlculs experimentals).

6.1. Dispositiu experimental

A continuació (figura 6.1) es pot observar una fotografia del dispositiu experimental utilitzat per a dur a terme l'experimentació del procés en planta pilot:



Fig. 6.1 – Dispositiu experimental de la planta pilot



El dispositiu experimental de la planta pilot consta de diferents unitats de procés [5], en les quals tenen lloc les següents operacions:

El diòxid de carboni contingut en la bombona és subministrat al capçal de la bomba en estat líquid i a la seva pressió de vapor. La bomba comprimeix el fluid fins a la pressió de treball de l'extractor i, posteriorment, aquest és escalfat fins a la temperatura de treball de l'extractor mitjançant un bescanviador de calor. El diòxid de carboni passa a través de l'extractor, on prèviament s'hi ha col·locat la pell, i arrossega el greix que aquesta conté. Tot seguit, el corrent format pel diòxid de carboni i el greix extret passa al separador, del qual se n'obté el diòxid de carboni per caps i el greix per cues.

L'extractor de la planta pilot, que és la unitat on té lloc l'extracció en sí del greix de la pell, es pot observar amb més precisió en les següents fotografies (figures 6.2 i 6.3):

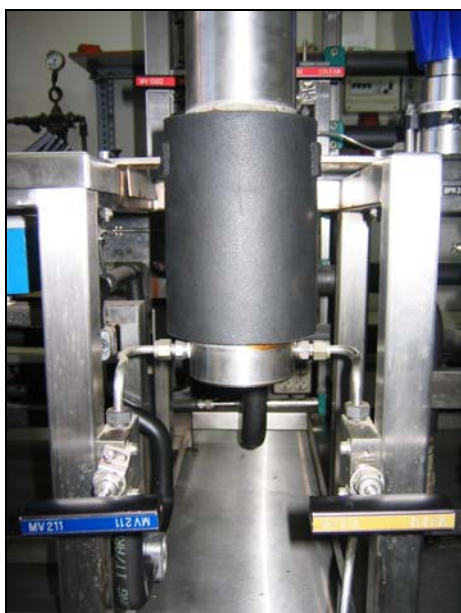


Fig. 6.2 – Vista exterior de l'extractor de la planta pilot



Fig. 6.3 – Vista interior de l'extractor de la planta pilot

El cos extractor està constituït per un espai cilíndric en el qual la pell és introduïda prèviament a la posada en marxa del dispositiu experimental. L'exterior del cos extractor està calorifugat per tal de mantenir constant la temperatura de treball. La vàlvula blava que s'observa en la figura 6.2 dona entrada al diòxid de carboni a l'extractor, mentre que la vàlvula groga de la dreta de la figura és de seguretat per a descàrrega de la pressió si fos necessari.



6.2. Tractament de mostres i procediment operatiu

Les mostres utilitzades per a tota l'experimentació en planta pilot corresponen a pell de xai d'Islàndia. Les pells provinents de països nòrdics contenen quantitats superiors de greix degut a les condicions ambientals en què creixen els animals. Aquesta característica fa que siguin òptimes per a l'experimentació, ja que permeten una determinació del rendiment del procés de desgreixatge amb un marge d'error inferior.

L'experimentació en planta pilot s'ha dut a terme en un interval de temps curt (deu dies aproximadament) per tal d'evitar la possible degradació de la matèria primera. A més, totes les mostres s'han mantingut a la nevera a 4 °C de temperatura abans de ser tractades. De la mateixa manera, una vegada realitzats cadascun dels experiments, les mostres s'han congelat i etiquetat convenientment. Mitjançant aquest procediment descrit, s'ha garantit un tractament igualitari de totes les mostres, evitant així possibles contaminacions, degradacions o alteracions de les mateixes.

Els continguts inicials d'aigua i greix de la pell de xai islandès s'han determinat per a una mostra representativa de tota la pell. Els resultats obtinguts s'han acceptat com a valors de partida de tota l'experimentació. Per a descartar que no es tracta d'un supòsit equivocat, s'han repetit les proves i s'ha comprovat que els resultats obtinguts han estat els mateixos.

La pell de xai islandès, provinent de l'empresa Santiago Fatjó, S. L., ha arribat al laboratori piquelada, a un pH aproximat de 3,5. El piquelatge consisteix en fer disminuir el pH de la pell amb la finalitat de poder-la conservar durant setmanes o mesos sense fer-se malbé abans de ser desgreixada i adobada.

Per tant, abans de realitzar un experiment s'ha despiquelat la mostra de pell, és a dir, se li ha fet augmentar el pH fins a assolir un valor de 7. El despiquelatge consisteix en posar la pell en un bany de formiat i, de mica en mica, anar-hi afegint bicarbonat, que fa augmentar el pH. El bany de formiat esmorteix l'efecte del bicarbonat i evita que la pell s'esquinci.

Un cop despiquelada i prèviament a l'extracció, s'ha assecat la mostra a l'estufa fins a obtenir el contingut d'aigua establert per a l'experiment en concret. A continuació, la mostra a desgreixar s'ha dividit en tres parts. La primera s'ha guardat al congelador immediatament després de l'extracció (cal tenir en compte que una pell desgreixada s'ha d'adobar, piquelar o congelar per evitar el seu deteriorament posterior). Una segona part s'ha col·locat a l'estufa després de l'extracció per tal de conèixer el contingut d'aigua final de la mostra de pell. Finalment, la tercera part s'ha tractat en un aparell Soxhlet [1] per tal de determinar el contingut de greix final de la mostra de pell.



Tot seguit es descriu com s'han efectuat les determinacions dels continguts d'aigua i greix de la pell, així com el rendiment d'extracció. Els càlculs detallats d'aquestes determinacions es poden consultar a l'annex C (Càlculs experimentals).

6.2.1. Determinació del contingut d'aigua de la pell

Per a determinar el contingut d'aigua de la pell, s'ha suposat que és el mateix tant en gruix com en superfície. A la realitat no varia gaire, per tant, es pot considerar una suposició vàlida.

El contingut d'aigua inicial de la pell de xai islandès, sense haver-li realitzat cap tipus de tractament, és del 56% en pes. A partir d'aquest valor, si es desitja una mostra de pell per a realitzar un experiment amb un contingut d'aigua inferior, caldrà assecar-la a l'estufa durant un cert temps.

El contingut d'aigua d'una mostra de pell en funció del temps passat a l'estufa a 70 °C es mostra en la figura 6.4:

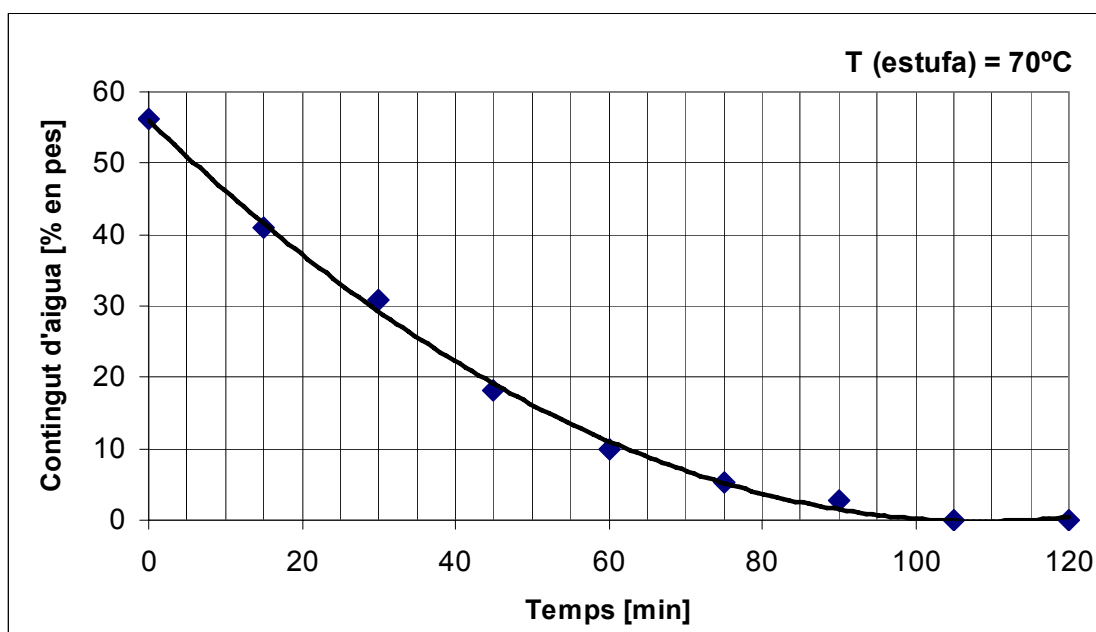


Fig. 6.4 – Contingut d'aigua de la pell en funció del temps a l'estufa a 70 °C



6.2.2. Determinació del contingut de greix de la pell

Per a determinar el contingut de greix de la pell, s'ha suposat que aquest és el mateix tant en gruix com en superfície. Tot i que a la realitat el contingut de greix de la pell varia en gruix i en superfície, s'ha fet aquest supòsit per tal de simplificar els càlculs.

El contingut de greix inicial de la pell de xai islandès, sense haver-li realitzat cap tipus de tractament, és del 14% en pes. Per a determinar el contingut final de greix d'una mostra de pell desgreixada en la planta pilot, s'ha utilitzat la norma la norma ISO 4048:1977 [1]. Aquesta norma dóna la metodologia per a determinar les matèries grasses i altres matèries d'un cuir solubles en diclorometà.

El principi del mètode és l'extracció contínua, amb diclorometà, d'una mostra de cuir preparat. L'operació té lloc en un extractor Soxhlet, amb un matràs d'extracció de capacitat convenient i un refrigerant. Després d'un mínim de 30 passades del dissolvent, es destil·la el diclorometà del matràs que conté l'extracte.

L'extracte obtingut és assecat en una estufa, mantinguda a 102 °C aproximadament, durant quatre hores. Es deixa refredar durant 30 minuts i es pesa. Per diferència de pes entre el matràs amb el greix extret i el matràs buit, s'obté la quantitat de greix que contenia la mostra de pell analitzada. Per tant, el contingut de greix es calcula segons l'equació (Eq. 6.1):

$$\text{Contingut de greix}_{\text{inicial}} [\%] = \frac{(\text{Pes matràs}_{\text{inicial}} [\text{kg}]) - (\text{Pes matràs}_{\text{final}} [\text{kg}])}{(\text{Pes mostra}_{\text{inicial}} [\text{kg}])} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Les normes ISO 2418:2002, ISO 4044:1977 i ISO 4048:1977 [1], que descriuen els procediments per a localitzar, preparar i tractar les mostres de pell per a determinar-ne el contingut de greix, estan descrites detalladament en l'annex B (Mètodes analítics).

6.2.3. Determinació del rendiment d'extracció

El rendiment d'extracció (η) de cadascun dels experiments realitzats s'ha calculat a partir de l'equació (Eq. 6.2):

$$\eta [\%] = \frac{(\text{Contingut de greix inicial} [\%]) - (\text{Contingut de greix final} [\%])}{(\text{Contingut de greix inicial} [\%])} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 6.2})$$



6.3. Estudi de les condicions de funcionament: condicions subcrítics versus condicions supercrítics

Abans de realitzar el disseny d'experiments, s'han fet algunes proves per a determinar quines són les millors condicions de funcionament: condicions subcrítics o condicions supercrítics.

El punt crític del diòxid de carboni, que és el solvent del procés, es troba en els 31 °C de temperatura i els 73 bar de pressió. Partint d'aquestes dades, s'han realitzat quatre experiments: dos en condicions de funcionament subcrítics i dos en condicions de funcionament supercrítics.

Els quatre experiments s'han realitzat sota les mateixes condicions de contingut d'aigua inicial de la pell (56%), contingut de greix inicial (14%), temps d'extracció (1 h) i cabal de diòxid de carboni (1 l/h). S'han variat les pressions i les temperatures per tal d'aconseguir condicions de funcionament subcrítics o supercrítics, tal com s'observa en la taula 6.1:

NÚM. EXPERIMENT	TEMPERATURA [°C]	PRESSIÓ [bar]	CONDICIONS	RENDIMENT [%]
1	40	120	Supercrítics	75,8
2	40	100	Supercrítics	57,2
3	30	100	Subcrítics	82,6
4	30	80	Subcrítics	37,5

Taula 6.1 – Condicions supercrítics versus subcrítics

Els valors de temperatura estudiats han estat de 30 °C i 40 °C (el màxim de 40 °C que la pell pot suportar sense fer-se malbé és el valor limitant superior). Pel què fa a les pressions, s'han estudiat els valors de 120, 100 i 80 bar. Els rendiments d'extracció s'han calculat segons l'equació (Eq. 6.2).

Per a explicar els resultats de la taula, cal dir que primerament s'han realitzat els experiments 2 i 3. S'han comparat els rendiments obtinguts per a condicions de funcionament subcrítics (30 °C, 100 bar) i supercrítics (40 °C, 100 bar). Els valors de la taula mostren que en condicions subcrítics de funcionament s'obté un rendiment molt més elevat (82,6% respecte a 57,2%).



Per tal d'esbrinar si augmentant la pressió en condicions supercrítiques es podria assolir un rendiment igual o millor que el 82,6% obtingut en condicions subcrítiques, s'ha realitzat l'experiment 1 (40 °C, 120 bar). S'ha comprovat que l'augment de pressió dona lloc a un augment del rendiment d'extracció, però no s'aconsegueix assolir un rendiment més elevat que l'obtingut en condicions subcrítiques.

A partir dels resultats anteriors, s'ha decidit optar per les condicions subcrítiques de funcionament. S'ha provat de disminuir la pressió fins als 80 bar (experiment 4), però el rendiment d'extracció ha caigut fins al 37,5%. Per tant, cal mantenir la pressió a 100 bar per a obtenir un rendiment de més del 80% en condicions subcrítiques de funcionament.

6.4. Disseny d'experiments

6.4.1. Consideracions prèvies

S'ha realitzat un disseny d'experiments factorial amb les variables a dos nivells. Aquest és un dels sistemes més utilitzats en la indústria i és del tipus 2^n , on n correspon al número de variables que intervenen en l'experimentació. Els valors corresponents als dos nivells es codifiquen assignant al nivell baix el valor - i al nivell alt el valor +. La difusió industrial dels dissenys 2^n es basa en els següents motius: proporcionen una excel·lent relació entre l'esforç experimental i la informació obtinguda; són senzills de construir, realitzar i interpretar; i són fàcils de combinar entre ells per a obtenir dissenys més complexos.

Cal recordar que el disseny d'experiments s'ha realitzat en condicions subcrítiques de funcionament, segons les conclusions extretes en l'apartat anterior.

6.4.2. Variables de disseny

S'ha realitzat el disseny d'experiments a partir de la variació de tres variables: la pressió d'extracció, el cabal de diòxid de carboni i el contingut d'aigua inicial de la pell. Per tant, el número d'experiments ve donat per l'equació (Eq. 6.3):

$$\boxed{\text{Núm. Experiments} = 2^n = 2^3 = 8} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

on: n = número de variables



En la taula 6.2 es mostren els nivells estadístics del disseny d'experiments:

VARIABLES	NIVELL BAIX (-)	NIVELL ALT (+)
Pressió d'extracció [bar]	100	120
Cabal de diòxid de carboni [l/h]	1	2
Contingut d'aigua inicial de la pell [%]	20	60

Taula 6.2 – Nivells estadístics del disseny d'experiments [13]

No s'ha considerat la variació de la temperatura ni del temps d'extracció en aquest disseny d'experiments.

Pel què fa a la temperatura, el màxim de 40 °C que la pell pot suportar sense fer-se malbé és el valor limitant superior. D'altra banda, un augment de temperatura dóna lloc a un augment del rendiment d'extracció [15]. És per això que s'ha pres la decisió de mantenir-la fixa a 30 °C (temperatura superior a l'ambiental, la qual cosa afavoreix un augment del rendiment, però sense arribar al límit indicat). A més, temperatures de 40 °C combinades amb pressions de 100 i 120 bar donen lloc a condicions de funcionament supercrítiques, que no són favorables per a l'obtenció de rendiments d'extracció elevats, com s'ha observat en l'apartat anterior.

Quant al temps d'extracció, s'ha fixat un interval de temps d'una hora per a totes les proves incloses en el disseny d'experiments. La variable temps i la seva influència sobre el rendiment d'extracció, no inclosa en aquest disseny d'experiments, s'analitza en apartats posteriors.

6.4.3. Resultats obtinguts

Els resultats obtinguts del disseny d'experiments es poden consultar a la taula 6.3, que es troba a la pàgina següent.

Cal recordar que tots els experiments s'han realitzat a partir de mostres de pell de xai islandès, amb un contingut inicial de greix del 14% en pes, a 30 °C de temperatura i amb un temps d'extracció d'una hora de durada.



Núm. Experiment	Pressió d'extracció [bar]	Cabal de CO ₂ [l/h]	Contingut d'aigua inicial [%]	Contingut d'aigua final [%]	Contingut de greix final [%]	Rendiment d'extracció [%]
1	120	1	20	19,7	1,8	87,1
2	100	2	56	58,4	2,6	81,4
3	120	1	56	57,1	2,8	80,0
4	100	1	56	59,4	2,4	82,9
5	100	1	20	19,4	2,2	84,3
6	120	2	56	59,0	2,5	82,1
7	120	2	20	19,6	6,4	54,3
8	100	2	20	19,6	6,6	52,9

Taula 6.3 – Resultats obtinguts del disseny d'experiments

(Temperatura d'extracció = 30 °C; Temps d'extracció = 1 h; Contingut de greix inicial = 14%)

6.4.4. Estudi de les condicions òptimes d'extracció

A partir dels resultats obtinguts, s'ha dut a terme un tractament estadístic [13] per a determinar l'efecte de cadascuna de les variables en el rendiment d'extracció, sota condicions subcrítics de funcionament. Aquest tractament estadístic, realitzat amb el programa informàtic Minitab per part de la Marta Masferrer [16], ha donat lloc a les següents conclusions:

- Un augment de la pressió dóna lloc a un augment del rendiment d'extracció. Per tant, la pressió de 120 bar és més favorable per a aconseguir elevats rendiments que la pressió de 100 bar.
- En condicions subcrítics de funcionament, un augment del contingut d'aigua inicial de la pell dóna lloc a un augment del rendiment d'extracció (contràriament al procés supercrític, en el qual el rendiment augmenta en disminuir el contingut inicial d'aigua de la pell [15]). Per tant, un contingut d'aigua inicial de la pell del 56% és més favorable per a aconseguir un bon rendiment que el del 20%.
- El cabal més favorable depèn de quin sigui el contingut d'aigua inicial de la pell. Si el contingut d'aigua inicial de la pell és del 20%, un cabal més petit dóna lloc a un rendiment d'extracció més elevat. Si el contingut d'aigua inicial de la pell és del 56%, el cabal pràcticament no afecta al rendiment.



Per tant, segons les conclusions anteriors el millor rendiment d'extracció s'aconsegueix amb la combinació següent (taula 6.4):

VARIABLES	NIVELL	VALOR
Pressió d'extracció [bar]	Alt (+)	120
Cabal de diòxid de carboni [l/h]	Baix (-)	1
Contingut d'aigua inicial de la pell [%]	Alt (+)	56

Taula 6.4 – Combinació òptima de variables

A partir de les condicions òptimes d'extracció determinades per a la planta pilot, es podran calcular les condicions òptimes d'extracció per al disseny d'una planta a nivell industrial.

6.5. Estudi de la relació entre el temps i el rendiment d'extracció

El temps d'extracció no és una variable considerada en el disseny d'experiments de l'aparat anterior. És per això que s'han realitzat paral·lelament una sèrie de proves que il·lustren la relació entre el rendiment i el temps d'extracció, deixant inalterades, en aquest cas, la resta de variables (pressió d'extracció, cabal de diòxid de carboni i contingut d'aigua inicial).

S'han realitzat quatre proves en les mateixes condicions de pressió d'extracció (120 bar), cabal de diòxid de carboni (2 l/h) i contingut d'aigua inicial (56%). Només s'han variat els temps d'extracció, que han estat de 15, 30, 45 i 60 minuts. Pel què fa al rendiment, s'ha calculat de la mateixa forma que en apartats anteriors (Eq. 6.2), sabent que el contingut de greix inicial és del 14%. Els resultats obtinguts es mostren en la taula 6.5:

NÚM. EXPERIMENT	1	2	3	4
TEMPS D'EXTRACCIÓ [min]	15	30	45	60
CONTINGUT DE GREIX FINAL [%]	3,4	1,6	1,4	1,2
RENDIMENT D'EXTRACCIÓ [%]	75,5	88,4	89,9	91,2

Taula 6.5 – Rendiments obtinguts en funció del temps



Els resultats obtinguts es poden representar segons la figura 6.5:

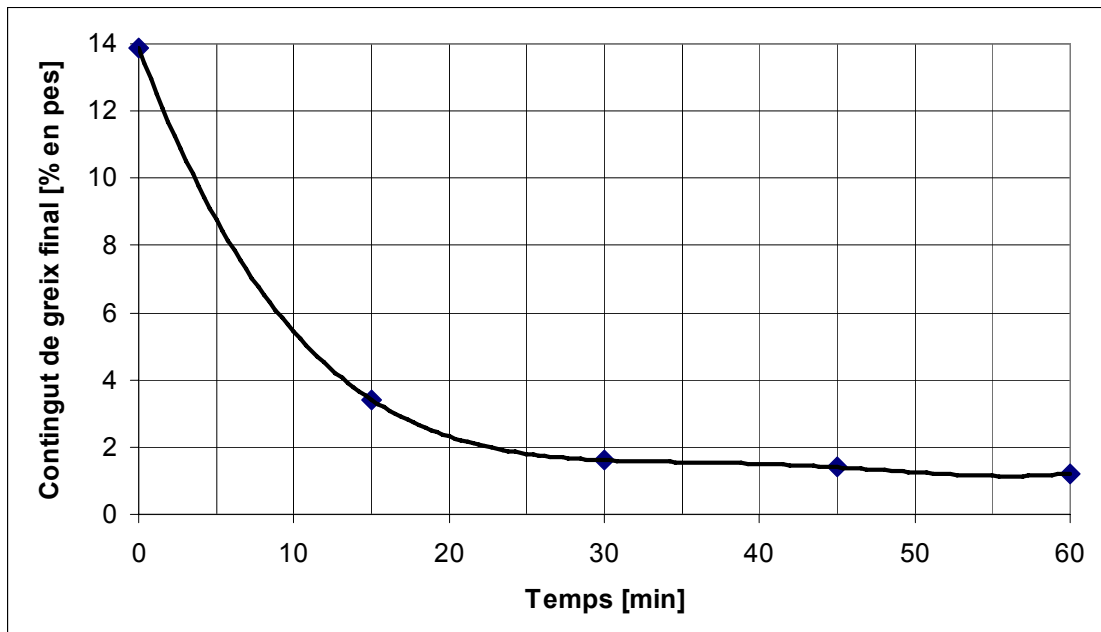


Fig. 6.5 – Contingut de greix final versus temps d'extracció

A partir dels resultats obtinguts es pot calcular el temps necessari per a obtenir una mostra de pell amb un contingut de greix inferior al 2%, que és el valor que s'ha considerat acceptable perquè una pell pugui ser adobada satisfactòriament, sense l'aparició de defectes per un desgreixatge insuficient [8]. Aquest període de temps, tal com s'observa en la figura, és d'uns 22 minuts aproximadament.





7. Disseny d'una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió

7.1. Introducció

A partir dels resultats obtinguts de l'experimentació en planta pilot, s'ha decidit realitzar el disseny d'una planta industrial d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió. Els elevats rendiments aconseguits i el bon funcionament de l'extracció a nivell de planta pilot han motivat el disseny a escala industrial.

Per tal de poder establir comparacions posteriors, tant en termes econòmics com mediambientals, s'ha dissenyat una planta d'extracció de greix de pell animal amb un volum de producció anual idèntic al de l'empresa Santiago Fatjó, S. L. (23000 pells/any), l'empresa de referència de la tecnologia convencional de desgreixatge.

Pel què fa a les condicions de funcionament del procés (pressió i temperatura d'extracció, cabal de diòxid de carboni, temps d'extracció, etc.), s'han determinat a partir de les condicions òptimes d'extracció calculades de l'experimentació en planta pilot.

Quant a la simulació del procés industrial, s'ha utilitzat el simulador Hysys 2.4 (programa per a la simulació de plantes químiques). Pel fet de tractar-se d'una simulació, cal tenir en compte que és impossible descriure el procés real amb absoluta exactitud.

Una vegada realitzada la simulació del procés a escala industrial, s'han determinat les previsions temporals d'execució de les activitats mitjançant un diagrama de Gantt i s'han dimensionat els equips necessaris per a la construcció de la planta.

7.2. Característiques del procés

Les característiques generals del procés inclouen una descripció de les matèries principals que hi intervenen, els serveis que es requereixen i les operacions físiques que es duen a terme (l'extracció del greix i la separació posterior d'aquest del solvent del procés).



7.2.1. Matèries principals

Les matèries principals que intervenen en el procés proposat són:

- La pell, que conté el greix a extreure. Per a la simulació amb Hysys del procés, s'ha considerat el greix en sí com el corrent d'entrada a l'extractor i no la totalitat de la pell, ja que la seva composició global és molt complexa. A més, aquesta consideració simplifica la introducció de dades en el simulador i no afecta al resultat de l'extracció. Les característiques del greix introduïdes en el simulador són les següents:

Pes molecular = 800 kg/kmol

Temperatura d'ebullició normal = 487 °C

Densitat = 900 kg/m³

Aquestes propietats [22] corresponen a la lanolina, un dels principals components del greix de la pell de xai, que és la pell amb la qual s'han realitzat les proves en la planta pilot i es realitza el disseny de la planta industrial.

- El diòxid de carboni, que és el solvent del procés. El seu consum és petit, ja que es recircula després d'una d'extracció i es reutilitza en la següent. Per tant, només cal reposar les pèrdues de diòxid de carboni que es produeixen a través del separador del procés.

Pel què fa a les característiques del diòxid de carboni, no s'ha hagut d'introduir cap propietat del gas en el simulador, ja que aquest és un dels tants compostos que estan descrits en la base de dades del propi Hysys.

Els consums per extracció de matèries principals, tant de pell com de diòxid de carboni, són:

Consum de pell = 10 kg pell/extracció

Consum de diòxid de carboni = $5,872 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂/extracció

Els càlculs detallats dels consums de matèries principals es pot consultar a l'annex C (Càlculs experimentals).



7.2.2. Serveis

Els serveis que intervenen en el procés proposat són:

- Per al condensador, una mescla d'etilenglicol i aigua (al 50% en pes), que permet la condensació del diòxid de carboni abans de ser bombejat cap a l'extractor. La mescla d'etilenglicol i aigua passa dels -20 als -5 °C, mentre que el diòxid de carboni, que arriba al condensador a la seva pressió de vapor i a uns 50 °C aproximadament, surt condensat a una temperatura de -4 °C.
- Per als intercanviadors de calor, existeixen dues opcions:
 - 1) Vapor d'aigua a 1 bar de pressió i produït en una caldera, que permet l'escalfament del diòxid de carboni (abans de l'extracció) i el diòxid de carboni més el greix (després de l'extracció).
 - 2) Corrent elèctric, que realitza les mateixes funcions però permet la no utilització de vapor d'aigua en el procés i, per tant, la inexistència d'una caldera.

Els consums dels serveis es calcularan a partir dels resultats del balanç energètic de la simulació amb Hysys.

7.2.3. Operacions físiques

Les operacions físiques que tenen lloc durant el procés són:

- L'extracció del greix de la pell mitjançant diòxid de carboni a 120 bar i 30 °C, amb un rendiment d'extracció del 80%. Els experiments realitzats en la planta pilot han permès determinar les millors condicions d'extracció per a dur a terme la simulació amb Hysys, a nivell industrial, de l'alternativa proposada.
- La separació del greix del diòxid de carboni per a la recirculació d'aquest últim i el tractament del primer. El diòxid de carboni i el greix que surten de l'extractor són expandits a 57,2 bar i escalfats a 50 °C, condicions en les quals es produeix una millor separació del greix del diòxid de carboni [15].



7.3. Simulació amb Hysys

7.3.1. Consideracions

L'alternativa proposada al desgreixatge aquós amb tensioactius (tecnologia convencional) passa per substituir l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent del procés. Es proposa una operació d'extracció en condicions subcrítics, en la qual el diòxid de carboni arrossega el greix que conté la pell. El greix i el diòxid de carboni són separats posteriorment. El greix extret s'envia a tractar (residu) i el diòxid de carboni es recircula per a ser reutilitzat en la següent operació d'extracció. D'aquesta forma només cal reposar les pèrdues de diòxid de carboni i es consumeix molt poc solvent.

La simulació amb Hysys d'aquesta alternativa no és exacta ni completa, ja que hi ha aspectes del procés que són molt difícils de simular. El corrent d'entrada a l'extractor, en la simulació del procés, està constituït per greix i no per la totalitat dels components de la pell. Aquesta simplificació no afecta al resultat final de l'extracció i ajuda a simplificar la introducció de dades en el programa.

A més, s'ha simulat un sol extractor per al procés, però realment en el disseny de la planta industrial n'hi ha dos, que funcionen en paral·lel i seguint els temps marcats pel diagrama de Gantt corresponent, realitzat en apartats posteriors.

Un dels aspectes menys concretats de la simulació amb Hysys de l'alternativa proposada ha estat la representació de l'energia necessària per a escalfar el diòxid de carboni abans de l'extracció i el diòxid de carboni més el greix extret abans de la separació, és a dir, els intercanviadors de calor. Aquest fet es deu a la doble possibilitat de resolució que existeix: la producció de vapor mitjançant una caldera o l'escalfament elèctric. Aquestes dues possibles alternatives s'estudiaran a fons en l'annex E (Anàlisi mediambiental) i l'annex F (Anàlisi econòmica), per tal de decidir quina de les dues és la més òptima.

Finalment, s'ha simulat en continu només la part del procés corresponent a l'extracció en sí, que dura 45 minuts, i no tot el procés, que és discontinu i engloba la càrrega, la pressurització, l'extracció, la despressurització i la descàrrega de l'extractor. No s'han simulat, per tant, les operacions de càrrega i descàrrega ni les pressuritzacions i despressuritzacions que tenen lloc abans i després d'una extracció.



7.3.2. Diagrama de flux

El diagrama de flux realitzat amb Hysys és el següent (figura 7.1):

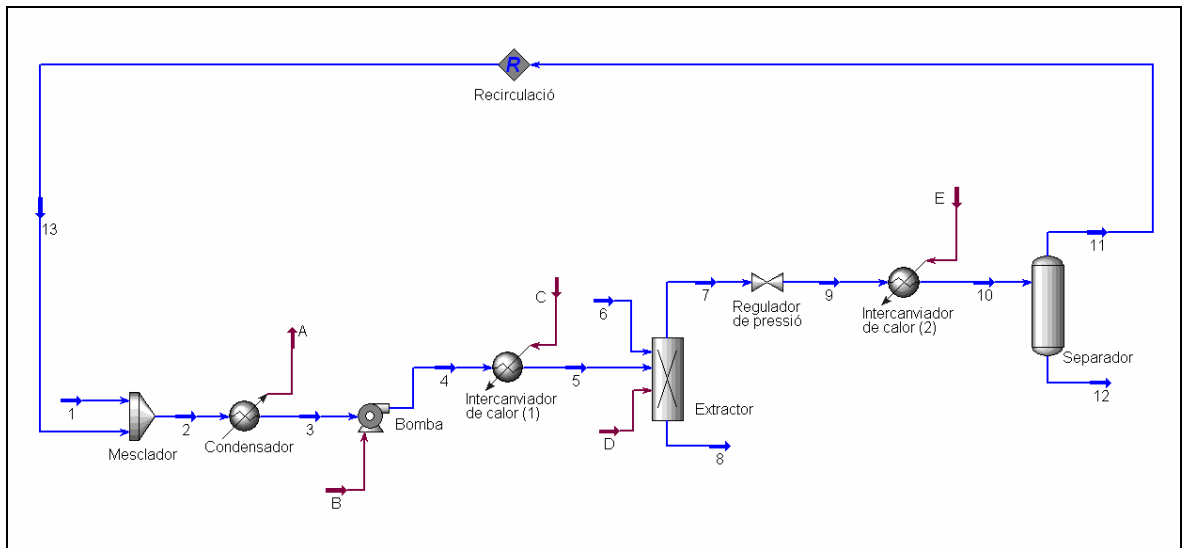


Fig. 7.1 – Diagrama de flux realitzat amb Hysys de l'alternativa proposada [12]

El diòxid de carboni nou es barreja en un mesclador amb el diòxid de carboni que prové de la recirculació, donant lloc a un corrent amb una temperatura de gairebé 50 °C i una pressió de 57,2 bar. Tot seguit, el diòxid de carboni procedent del mesclador és condensat fins als -4 °C, en un condensador que opera amb una mescla d'aigua i etilenglicol al 50% en massa.

Una bomba centrífuga eleva de pressió del diòxid de carboni fins als 120 bar, que és la pressió de treball de l'extractor. A continuació, el diòxid de carboni és escalfat fins als 30 °C, temperatura de treball de l'extractor. En aquest punt, el solvent ja es troba en les condicions de pressió i temperatura adients per a poder realitzar l'extracció.

Prèviament a l'inici del procés, s'ha col·locat la pell dins l'extractor. El diòxid de carboni passa a través de l'extractor per entremig de la pell, on té lloc un procés d'arrossegament del greix a causa de l'acció del diòxid de carboni i el mateix vapor d'aigua que conté la pell.

El diòxid de carboni i el greix extret són expandits fins als 57,2 bar, pressió de treball del separador. Tot seguit són escalfats fins als 50 °C, que és la temperatura de treball del separador, unitat en la qual té lloc la separació del greix del diòxid de carboni. El greix, que s'obté per cues, s'envia a una planta de tractament de residus (està contaminat amb una mica de diòxid de carboni), mentre que el diòxid de carboni, que s'obté per caps, es recircula per a ser utilitzat de nou en la següent operació d'extracció.



A continuació s'observa un resum de les unitats de procés que formen part de la simulació (taula 7.1) i els corresponents corrents d'entrada i sortida de cada unitat:

UNITAT	CORRENT D'ENTRADA	CORRENT DE SORTIDA
Mesclador	1, 13	2
Condensador	2	3, A
Bomba	3, B	4
Intercanviador de calor (1)	4, C	5
Extractor	5, 6, D	7, 8
Regulador de pressió	7	9
Intercanviador de calor (2)	9, E	10
Separador	10	11, 12
Recirculació	11	13

Taula 7.1 – Corrents i unitats de procés [12]

7.3.3. Balanços

A continuació es presenten els balanços calculats a partir de la simulació. La taula 7.2 mostra les composicions de cadascun dels corrents de matèria del procés i la taula 7.3 presenta els resultats del balanç d'energia. La figura 7.2, situada a la pàgina següent, presenta la matriu de corrents del procés, que inclou el balanç de matèria.

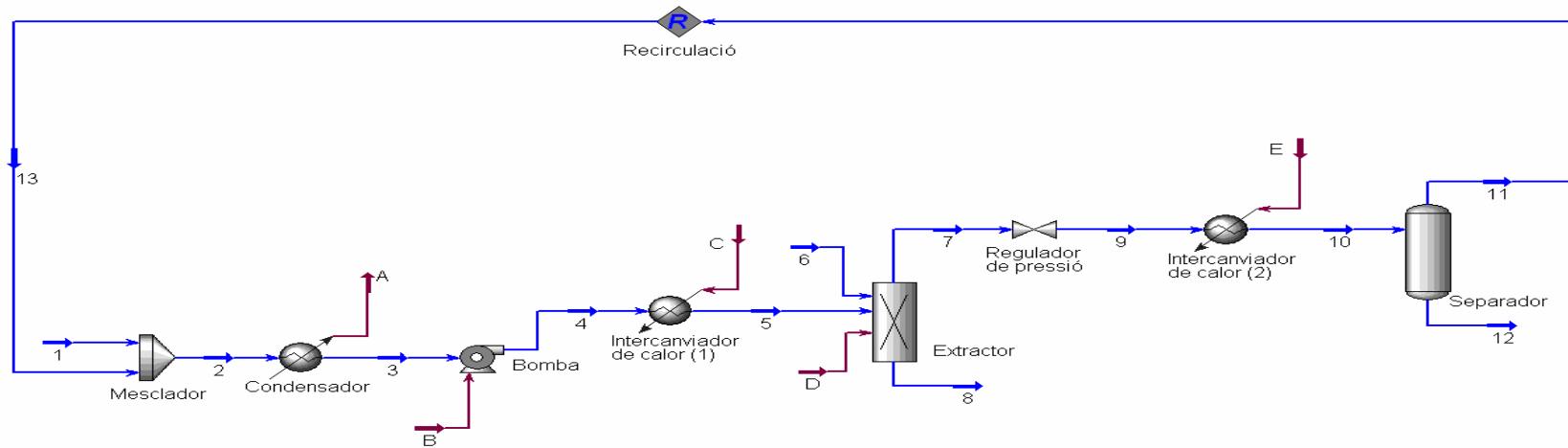
NÚM. CORRENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FRACCIÓ MOLAR (CO ₂)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,99	0,00	0,99	0,99	1,00	0,49	1,00
FRACCIÓ MOLAR (GREIX)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,01	1,00	0,01	0,01	0,00	0,51	0,00

Taula 7.2 – Composició dels corrents

NÚM. CORRENT	A	B	C	D	E
FLUX DE CALOR [kJ/h]	4484,0	135,3	1166,0	85,3	3137,0

Taula 7.3 – Balanç d'energia





Núm. corrent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fracció de vapor	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	$6,36 \cdot 10^{-2}$	0,99	1,00	0,00	1,00
Temperatura [°C]	25,00	49,85	-4,00	1,94	30,00	30,00	30,00	30,00	19,98	50,00	50,00	50,00	50,00
Pressió [bar]	57,20	57,20	57,20	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	57,20	57,20	57,20	57,20	57,20
Flux molar [kmol/h]	$1,78 \cdot 10^{-3}$	0,36	0,36	0,36	0,36	$2,32 \cdot 10^{-3}$	0,36	$4,67 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,36	0,36	$3,61 \cdot 10^{-3}$	0,36
Flux màssic [kg/h]	$7,83 \cdot 10^{-2}$	15,76	15,76	15,76	15,76	1,85	17,24	0,37	17,24	17,24	15,69	1,56	15,69
Flux volum. [m³/h]	$9,49 \cdot 10^{-5}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$	$2,07 \cdot 10^{-2}$	$4,15 \cdot 10^{-4}$	$2,07 \cdot 10^{-2}$	$2,07 \cdot 10^{-2}$	$1,90 \cdot 10^{-2}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-2}$
Flux de calor [kJ/h]	-707	-141630	-146114	-145978	-144812	-3644	-147635	-736	-147635	-144498	-140928	-3569	-140923

Fig. 7.2 – Diagrama de flux de la simulació i matriu de corrents

A partir de les dades introduïdes en la simulació i els resultats dels balanços corresponents, es determinen els paràmetres d'operació més significatius del procés simulat (taula 7.4):

Pes mig per pell	0,80 kg pell/pell
Nombre de pells per extracció	12 – 13 pells/extracció
Pes mig per extracció	10 kg pell/extracció
Contingut inicial de greix de la pell	14%
Rendiment d'extracció	80%
Consum horari de CO₂	$7,83 \cdot 10^{-2}$ kg CO ₂ /h
Temps d'extracció	45 min/extracció
Consum de CO₂ per extracció	$5,872 \cdot 10^{-2}$ kg CO ₂ /extracció
Balanç energètic global	2,5 kW

Taula 7.4 – Paràmetres més significatius de la simulació

Els números presentats en la taula anterior mostren que, segons la simulació realitzada del procés proposat, és possible desgreixar 10 kg de pell aproximadament en 45 minuts, obtenint rendiments d'extracció del 80% i una bona separació del greix del diòxid de carboni.

A més, el consum de diòxid de carboni del procés és molt reduït ($7,83 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂/h), ja que si es compara el valor del consum amb el valor del cabal total de desgreixatge, que és de 15,76 kg CO₂/h, es comprova que el consum de diòxid de carboni no representa ni el 0,5% del diòxid de carboni total que s'utilitza per al procés de desgreixatge.

7.4. Previsions temporals. Diagrama de Gantt

En aquest apartat es realitza un estudi preliminar de la previsió temporal de la producció. Es pretén reduir el temps total de producció instal·lant dues unitats d'extracció i aprofitant part de la pressió d'una unitat a l'altra.

S'ha considerat el cas de disposar de quatre extractors, però la inversió que això requeriria, tot i reduir-se encara més el temps total de producció, seria massa elevada.



Primer de tot, cal tenir en compte que la velocitat d'extracció és la mateixa tant per a la planta pilot com per a la planta industrial. Allò que varia és el temps per arribar a la saturació de diòxid de carboni en l'extractor, que serà més gran per a l'extractor de la planta industrial. És a dir, caldrà més temps per a omplir i buidar l'extractor de diòxid de carboni en el cas de la planta industrial que en el cas de la planta pilot.

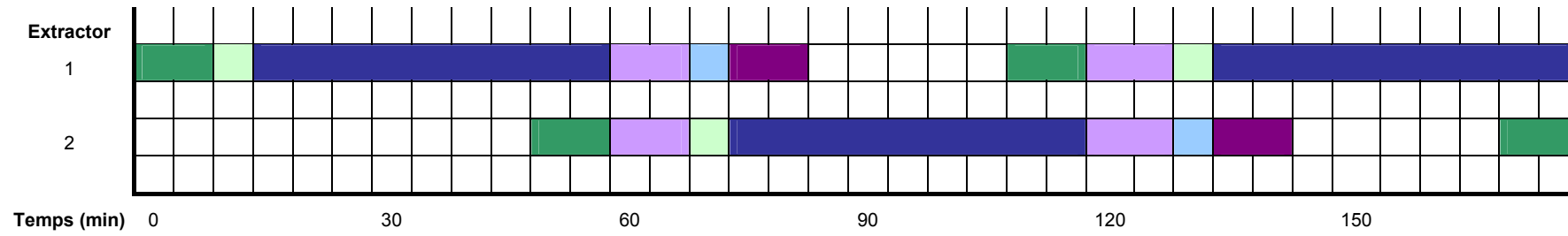
Com que es disposa de dues unitats d'extracció, és possible d'avançar algunes operacions d'una extracció posterior mentre s'està completant l'extracció actual. El diagrama de Gantt per a un temps d'extracció de 45 minuts (temps considerat suficient per a arribar a la saturació de diòxid de carboni en l'extractor de la planta industrial) es presenta a la pàgina següent (figura 7.3).

A partir del diagrama de Gantt presentat, s'observa que el fet de disposar de dos extractors permet de reduir el temps total de producció diària. Els dos extractors no extreuen alhora sinó que es van alternant, de forma que quan el segon està començant a extreure el primer ja s'està descarregant i quan el segon està acabant d'extreure el primer s'està tornant a carregar.

La pressió d'un extractor s'aprofita en l'altre; és per això que els extractors estan comunicats, per a possibilitar l'equilibri de pressions entre ells. Després de l'equilibri de pressions, l'extractor que ha acabat d'extreure es despressuritza, mentre que l'altre es pressuritza per a procedir a la següent extracció.

Tenint en compte que es desgreixen entre 12 i 13 pells en cada extracció i que es realitzen 4 extraccions per extractor i per dia, el temps total de producció és de 8,42 hores, durant les quals tenen lloc 8 extraccions i es desgreixen un total de 100 pells (80 kg aproximadament).





Llegenda

Càrrega	
Pressurització	
Extracció	
Equilibri de pressions	
Despressurització	
Descàrrega	

Condicions

Extractors	2
Longitud extractor (m)	1,00
Diàmetre extractor (m)	0,16
Volum extractor (m ³)	0,02
Pes mig/pell (kg)	0,80
Pells/extracció	12 – 13
Pes mig/extracció (kg)	10
Extraccions/extractor-dia	4
Extraccions/dia	8
Pells/dia	100
Pes mig/dia (kg)	80
Temps total (h)	8,42

Fig. 7.3 – Diagrama de Gantt de la planta dissenyada

7.5. Equips

En aquest apartat es presenten les dades més rellevants del dimensionat dels equips de la planta industrial dissenyada. Els càlculs detallats (longituds, diàmetres, gruixos, etc.) es presenten en l'annex D (Simulació amb Hysys de l'alternativa proposada).

7.5.1. Dipòsit de diòxid de carboni

El dipòsit de diòxid de carboni, a més d'abastir normalment la planta, servirà de tanc d'emmagatzematge per tal de prevenir qualsevol discontinuïtat en la producció. El diòxid de carboni contingut en el dipòsit estarà a la seva pressió de vapor.

El dipòsit serà d'acer inoxidable i tindrà capacitat per a abastir la planta durant un mes aproximadament. Constarà d'un tanc cilíndric vertical d'1 m de diàmetre per 2,5 m d'alçada i un sostre cònic de 0,3 m d'alçada:

Capacitat mínima necessària: $(64,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dia CO}_2) \cdot (30 \text{ dies}) = 1,94 \text{ m}^3$

Capacitat real del tanc: $V = \pi \cdot (1/2)^2 \cdot [2,5 + (0,3/3)] = 2 \text{ m}^3$

El dipòsit serà de lloguer i cada mes vindrà l'empresa pertinent a renovar-lo, ja que aquest tipus d'equips requereixen un manteniment molt específic i comprar-lo no sortiria a compte (caldrà disposar d'un empleat que només es cuidés del manteniment del dipòsit).

A més, serà necessària la col·locació de vàlvules de seguretat, per evitar que el diòxid de carboni pugui escapar-se del dipòsit.

7.5.2. Mesclador

El mesclador és el recipient on té lloc la barreja del diòxid de carboni nou amb el que prové de la recirculació. Serà d'acer inoxidable i cilíndric, amb un diàmetre i una longitud de 0,3 m i un volum de 0,02 m³. Es coneixen les dimensions del mesclador a partir del cabal de diòxid de carboni que ha d'admetre, que és el mateix que el de l'extractor.



7.5.3. Grup de fred i condensador

El grup de fred produeix una mescla refrigerant d'aigua i etilenglicol al 50% en pes a -20 °C per tal de condensar el diòxid de carboni a la seva pressió de vapor. A partir de les propietats de la mescla refrigerant i les dades del diagrama de flux realitzat amb el simulador Hysys, s'obté la massa d'aigua i etilenglicol necessària per a dur a terme el procés, que és de $103,47\text{ kg/h}$.

Tenint en compte que el grup de fred s'ha de posar en marxa unes quatre hores abans que la resta d'equips que funcionen $8,5$ hores al dia, ja que necessita un cert temps per a refredar aquesta massa refrigerant fins a -20 °C , s'obté que la massa i l'energia diàries són de $1293,38\text{ kg/dia}$ i 56050 kJ/dia , respectivament.

Es determina l'àrea de transferència de calor del condensador (Eq. 7.1), que és d'acer inoxidable, a partir de les dades del diagrama de flux realitzat amb el simulador Hysys:

$$A = \frac{Q_e}{U \cdot \Delta T} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

$$A = \frac{4484\text{ kJ/h}}{(2,843\text{ kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}) \cdot (26,15\text{ °C})} = 60,31\text{m}^2$$

on: $A =$ àrea de transferència de calor [m^2]

$Q_e =$ energia per unitat de temps [kJ/h]

$U =$ coeficient de transferència de calor [$\text{kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$]

$\Delta T =$ interval de temperatures [°C]

7.5.4. Bomba

La bomba de la planta té una potència d' $1,2\text{ kW}$ (4320 kJ/h), tres vegades major que la de la planta pilot, per raons de proporcionalitat i, sobretot, perquè es tracta d'una bomba d'alta pressió. Per tant, tenint en compte el factor alta pressió, s'ha decidit que la bomba per a la planta dissenyada ha de tenir aquest nivell de potència.



7.5.5. Intercanviadors de calor

Es determina l'àrea de transferència de calor dels intercanviadors de calor, que són d'acer inoxidable, a partir de les dades del diagrama de flux (Hysys) i aplicant l'equació (Eq. 7.1):

$$\text{Intercanviador de calor (1): } A = \frac{Q_e}{U \cdot \Delta T} = \frac{1166 \text{ kJ/h}}{(0,207 \text{ kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (93,74 ^\circ\text{C})} = 60,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Intercanviador de calor (2): } A = \frac{Q_e}{U \cdot \Delta T} = \frac{3137 \text{ kJ/h}}{(0,704 \text{ kJ/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (74,56 ^\circ\text{C})} = 59,76 \text{ m}^2$$

Existeixen dues opcions d'escalfament dels intercanviadors de calor: la producció de vapor a 1 bar mitjançant una caldera o l'escalfament elèctric. Si es tria la primera opció, la massa de vapor necessària per als intercanviadors de calor es calcula segons l'equació (Eq. 7.2):

$$\boxed{m = \frac{Q_e}{\lambda}} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

on: λ = calor de vaporització [kJ/kg]

$$\text{Intercanviador de calor (1): } m = \frac{Q_e}{\lambda_{1\text{bar}}} = \frac{1166 \text{ kJ/h}}{2258 \text{ kJ/kg}} = 0,52 \text{ kg/h}$$

$$\text{Intercanviador de calor (2): } m = \frac{Q_e}{\lambda_{1\text{bar}}} = \frac{3137 \text{ kJ/h}}{2258 \text{ kJ/kg}} = 1,39 \text{ kg/h}$$

Tenint en compte que la caldera s'ha de posar en marxa una hora abans que la resta d'equips que funcionen 8,5 hores al dia, ja que necessita un cert temps per a produir el vapor, s'obté que la massa diària de vapor és de 4,9 kg/dia per a l'intercanviador de calor (1) i de 13,2 kg/dia per a l'intercanviador de calor (2).



7.5.6. Extractors

Hi ha dues unitats d'extracció, que es van alternant per a poder efectuar els processos l'un darrere l'altre, com s'ha vist anteriorment en el diagrama de Gantt. Els extractors es poden representar segons la figura 7.4:

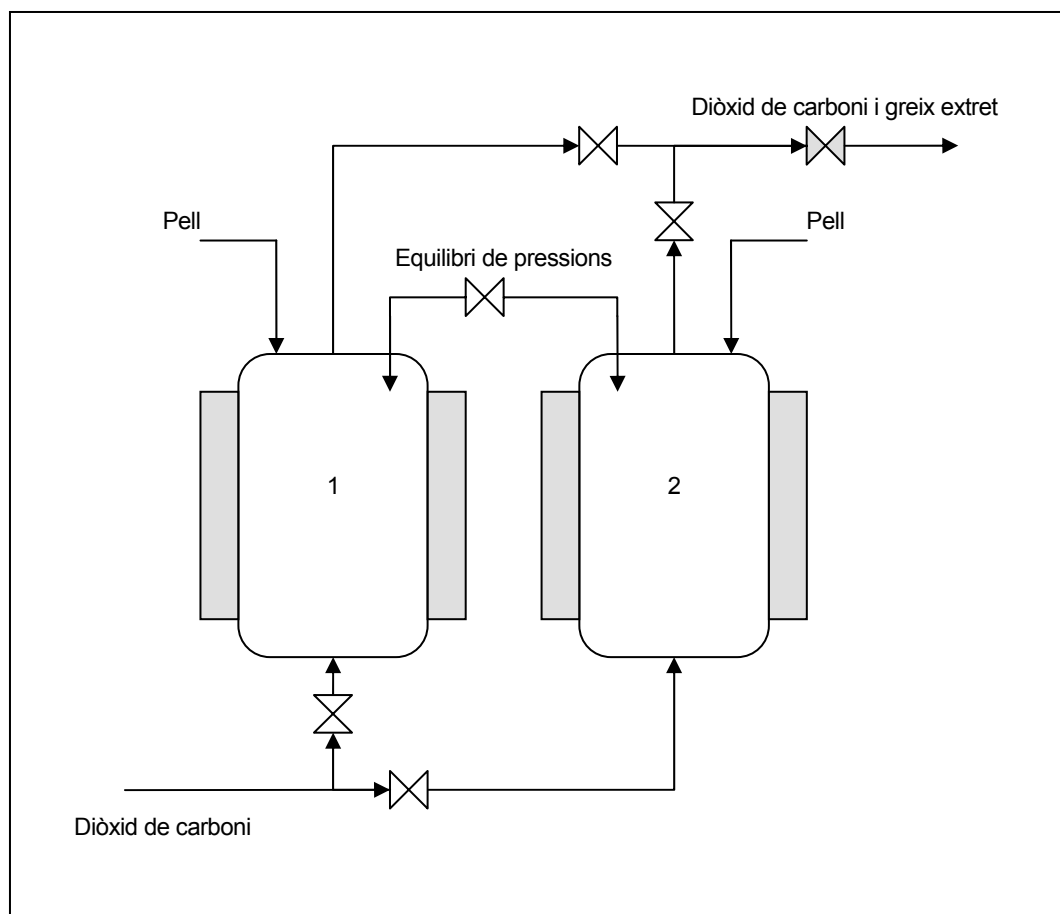


Fig. 7.4 – Representació dels dos extractors de la planta

La figura mostra els dos extractors, que estan comunicats per a possibilitar l'equilibri de pressions i calorifugats per a mantenir estable la temperatura del procés. El diòxid de carboni entra per la part inferior d'un dels extractors, que es van alternant amb l'obertura i el tancament de les vàlvules d'entrada. Per la part superior de l'extractor s'obté el diòxid de carboni més el greix extret un cop finalitzada l'extracció, mentre que la pell surt desgreixada de l'extractor. El diòxid de carboni i el greix extret passen a través d'una vàlvula d'expansió calorifugada a 70 °C aproximadament, evitant així la solidificació dels greixos i, per tant, la formació de taps en les canonades del circuit.



Es coneixen les dimensions dels dos extractors de la planta industrial, que són d'acer inoxidable, per proporcionalitat amb les de l'extractor de la planta pilot. S'ha fixat el volum de l'extractor de la planta industrial en $0,02 \text{ m}^3$, ja que en l'extractor de la planta pilot hi caben $0,1 \text{ kg}$ de pell i el seu volum és de $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$, mentre que l'extractor de la planta industrial ha de tractar 10 kg de pell, és a dir, 100 vegades més.

Coneixent les dimensions de l'extractor de la planta industrial i la velocitat del diòxid de carboni (és la mateixa que en el cas de la planta pilot), es determina el cabal de diòxid de carboni a l'extractor, que és d' $1,91 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$.

Pel què fa al gruix dels extractors, aquest es determina a partir de la fórmula corresponent (Eq. 7.3) per a recipients cilíndrics sotmesos a pressió interna [20]:

$$t = \frac{P \cdot r}{S_t \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (\text{Eq. 7.3})$$

on: t = gruix del recipient [m]

r = radi del recipient [m]

P = pressió màxima o de disseny [Pa]

S_t = tensió admissible a la temperatura de treball [Pa]

E = eficiència de les juntes [adimensional]

Per a cadascun dels extractors de la planta industrial, aquestes variables són:

$$r = 0,08 \text{ m} \quad P = 2 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad S_t = 9,32 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad E = 0,85$$

Per tant, el gruix resultant és:

$$t = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0,08}{9,32 \cdot 10^7 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2 \cdot 10^7} = 23,80 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Per a obtenir el gruix final cal sumar $1,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ al gruix calculat, ja que cal tenir en compte la corrosió [20] que patirà el recipient:

$$\text{Gruix final} = (23,80 \cdot 10^{-3}) + (1,50 \cdot 10^{-3}) = 25,30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$



Finalment, els extractors s'obren i tanquen mitjançant una tanca ràpida per a recipients sotmesos a pressió, anomenada tanca per molla. Els recipients a pressió [2] com els extractors de la planta dissenyada necessiten de tanques segures i ràpides, ja que les operacions que s'hi duen a terme són més especials i perilloses que els processos que tenen lloc a pressió atmosfèrica.

El tancament per molla és una tecnologia ràpida, segura i molt eficaç per a recipients sotmesos a altes pressions. El tancament es realitza mitjançant una junta subjectada per una molla, que s'introdueix a l'extractor envoltant el perímetre del recipient, tal com s'observa en la figura 7.5:

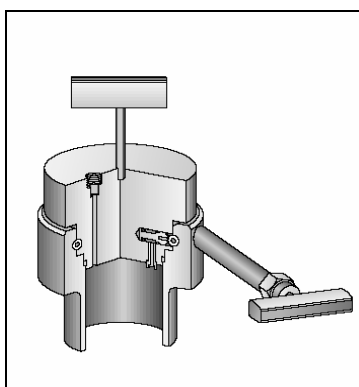


Fig. 7.5 – Tanca per molla

Quan s'introdueix la molla, la tanca ajusta gràcies a la junta, ja que aquesta fa el contacte necessari per a tancar el recipient. El mecanisme és autoblocant, és a dir, al ser sotmès a elevades pressions queda tancat encara amb més força.

7.5.7. Regulador de pressió

El regulador de pressió ha de permetre la reducció de la pressió del diòxid de carboni des dels 120 fins als 57,2 bar. No obstant, es considera que està dissenyat per a suportar pressions de fins a 200 bar. A continuació es pot observar una fotografia d'un regulador de pressió (figura 7.6), que amb les mides adjents podria correspondre al regulador de la planta industrial dissenyada.





Fig. 7.6 – Regulador de pressió

7.5.8. Separador ciclònic

Es calculen les dimensions del separador ciclònic de la planta industrial, que és d'acer inoxidable, fixant que serà 10 vegades menor que l'extractor, ja que aquesta és la proporció aproximada que hi ha entre l'extractor i el separador de la planta pilot. Per tant, el separador ciclònic de la planta industrial tindrà un volum de $2,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, amb una longitud de 0,47 m i un diàmetre de $7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Coneixent les dimensions de la canonada que enllaça l'extractor i el separador i el cabal de diòxid de carboni que hi circula (és el mateix que circula per l'extractor), es determina la velocitat del diòxid de carboni a l'entrada del separador, que és de $3,51 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

A continuació es mostra una fotografia d'un separador ciclònic (figura 7.7), que amb les mides adients podria correspondre al separador de la planta industrial dissenyada:



Fig. 7.7 – Separador ciclònic



Seguint la mateixa metodologia emprada per al cas dels extractors i mitjançant l'aplicació de l'equació (Eq. 7.3), es determina el gruix del separador de la planta industrial. Per al separador de la planta industrial, les variables radi del recipient, pressió màxima o de disseny, tensió admissible a la temperatura de treball i eficiència de les juntes són:

$$r = 0,0375 \text{ m} \quad P = 2 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad S_t = 9,32 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad E = 0,85$$

Per tant, el gruix resultant és:

$$t = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0,0375}{9,32 \cdot 10^7 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2 \cdot 10^7} = 11,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Per a obtenir el gruix final cal sumar $1,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ al gruix calculat, ja que cal tenir en compte la corrosió [20] que patirà el recipient:

$$\text{Gruix final} = (11,16 \cdot 10^{-3}) + (1,50 \cdot 10^{-3}) = 12,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

7.5.9. Canonades

Les canonades principals de la instal·lació són d'acer inoxidable i han de poder suportar una pressió màxima de 200 bar, ja que aquest valor és el que poden suportar, com a màxim, l'extractor i el separador de la planta industrial. Les canonades, per tant, han de tenir un cert gruix de paret per a poder suportar aquests valors de pressió. Segons les consideracions descrites, s'han escollit canonades que suportin 200 bar de pressió i tinguin un diàmetre exterior de $18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ i, per tant, un gruix de $1,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

7.5.10. Altres accessoris

Altres accessoris de la planta industrial dissenyada són les vàlvules de seguretat que hi ha d'haver abans i després dels principals recipients sotmesos a altes pressions. També cal tenir en compte que la recirculació ha d'incorporar una vàlvula antiretorn per tal d'evitar que el diòxid de carboni torni enrere i entri al separador. Tot això es pot observar en la figura 7.8, que es troba a la pàgina següent.



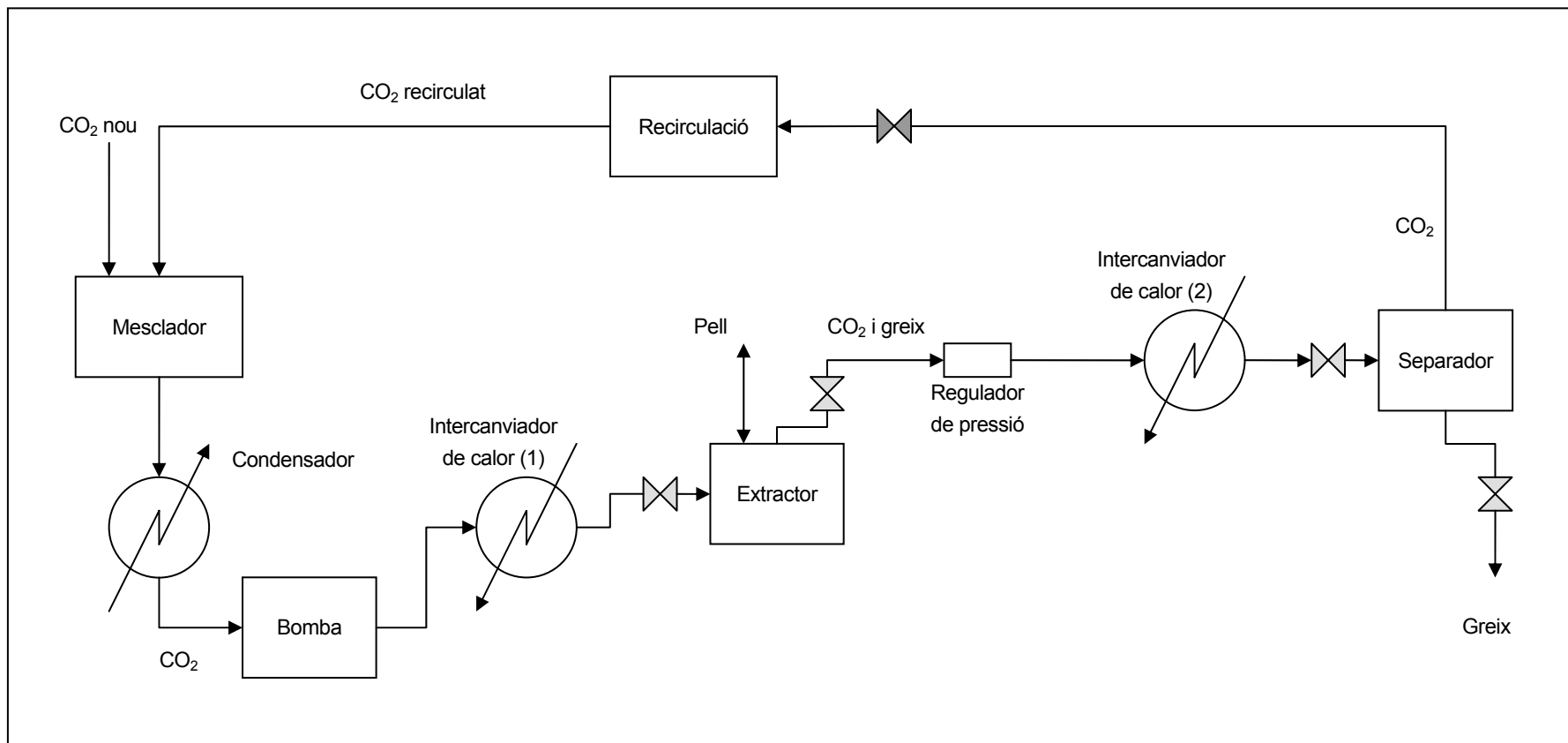


Fig. 7.8 – Diagrama de blocs de la planta amb vàlvules de seguretat i vàlvula antiretorn a la recirculació



8. Anàlisi mediambiental

En aquest apartat es realitza una anàlisi mediambiental tant de la tecnologia convencional com de l'alternativa proposada. Es descriu la problemàtica de cadascuna de les dues alternatives, que en el cas de la tecnologia convencional rau bàsicament en l'ús industrial de l'aigua i les conseqüències que comporta (costos de depuració i cànon de l'aigua), mentre que en el cas de l'alternativa proposada l'aspecte mediambiental més rellevant és l'emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera, un dels principals gasos d'efecte hivernacle.

8.1. Anàlisi mediambiental de la tecnologia convencional

La tecnologia convencional és altament contaminant degut al bany residual de desgreixatge que se n'obté. Els tensioactius utilitzats són biodegradables i no tòxics, però aquests, juntament amb el greix de la pell, formen una emulsió en aigua que dona lloc al bany residual de desgreixatge. Aquest bany té unes característiques fisicoquímiques molt negatives, especialment pel que fa a DQO (demanda química d'oxigen), amb un valor mitjà a la sortida del procés de desgreixatge de 88000 mg O₂/l [14].

La preservació de l'aigua com a bé natural està provocant que cada vegada es restringeixin i es penalitzin més els abocaments i les contaminacions d'aigües. És per això que l'avaluació mediambiental de la tecnologia convencional pot ser molt negativa en un futur proper.

Les aigües residuals del procés de desgreixatge actual tenen una doble penalització mediambiental: per una banda, cal depurar-les; per l'altra, cal pagar un impost per haver-les generat, el cànon de l'aigua.

Pel que fa a la depuració del bany residual de desgreixatge, la mateixa indústria adobera es veu obligada a tenir una depuradora instal·lada en la mateixa planta. La DQO inicial del bany (88000 mg O₂/l) es rebaixa fins als 250 mg O₂/l aproximadament, valor encara superior a l'establert per la llei, que és de 160 mg O₂/l [3]. Avui, el cost promig de depuració d'aquestes aigües a l'empresa Santiago Fatjó, S. L. és d'1 €/m³ [8], tot i que en els propers anys es veurà incrementat considerablement.

Quant al cànon de l'aigua, és un impost de naturalesa ecològica sobre l'ús i la càrrega contaminant abocada pels diferents usuaris de l'aigua. Serveix per a cobrir els costos dels serveis del cicle de l'aigua: depuradores, embassaments, dessalinitzadores, prevenció de la contaminació, regeneració de l'aigua, inspecció i control de les aigües, etc.



El cànon té un fort component ecològic i per això grava l'ús real o potencial de l'aigua i la contaminació que, un cop utilitzada, es pugui produir. Es calcula segons l'equació (Eq. 8.1):

$$\text{Cànon de l'aigua [€]} = \text{Base imposable [m}^3\text{]} \cdot \text{Tipus de gravamen [€/m}^3\text{]} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

La base imposable està constituïda pel volum d'aigua consumit. El tipus de gravamen, per als usos industrials, resulta de la suma d'un tipus de gravamen general, corresponent a l'ús, i un tipus de gravamen específic, corresponent a la contaminació (Eq. 8.2):

$$\text{Tipus de gravamen} = \text{Tipus de gravamen general} + \text{Tipus de gravamen específic} \quad (\text{Eq. 8.2})$$

Els valors vigents dels tipus i paràmetres de contaminació del cànon de l'aigua per a l'any 2006 per als usuaris industrials i assimilables són els següents:

- Tipus de gravamen general: 0,1091 €/m³
- Tipus de gravamen específic, que es pot determinar segons un dels següents sistemes:
 - 1) Tarifació per volum: 0,4277 €/m³
 - 2) Tarifació individualitzada per mesurament directe de l'ús i de la càrrega contaminant abocada (taula 8.1):

PARÀMETRES DE CONTAMINACIÓ	PREU DELS PARÀMETRES
Matèries en suspensió (MES)	0,3305 €/kg
Matèries oxidables (MO)	0,6611 €/kg
Sals Solubles (SOL)	5,2892 €/Sm ³ .cm
Matèries inhibidores (MI)	7,8408 €/kequitox
Nitrogen (N)	0,5019 €/kg
Fòsfor (P)	1,0039 €/kg

Taula 8.1 - Tarifació individualitzada del gravamen específic [11]

Degut a la gran càrrega contaminant del bany residual de desgreixatge, el cànon de l'aigua a l'empresa Santiago Fatjó, S. L., calculat segons els paràmetres anteriors, és d'1,4 €/m³.



Quant a emissions atmosfèriques, s'emet una certa quantitat de diòxid de carboni equivalent a la producció d'energia elèctrica per a l'agitació i calefacció del bombo, el funcionament de la bomba i l'ús del corrent elèctric en general.

Pel què fa a la generació de residus, s'obtenen els fangs tractats en l'estació depuradora d'aigües residuals de la mateixa planta, així com restes de pell, embalatges i residus generats com a conseqüència del manteniment dels equips.

Respecte a l'ús de tensioactius en el desgreixatge aquós, els que s'utilitzen en l'empresa Santiago Fatjó, S. L. són biodegradables i no són tòxics. Per tant, la problemàtica mediambiental de la tecnologia convencional rau bàsicament en l'aigua i les conseqüències del seu ús com a solvent del desgreixatge de pells.

8.2. Anàlisi mediambiental de l'alternativa proposada

L'alternativa proposada passa per substituir l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent del procés de desgreixatge. Per tant, en aquest cas no existeix la problemàtica mediambiental de l'ús industrial de l'aigua. Tot i que se n'utilitza una certa quantitat per a determinats serveis del procés (escalfament i/o refredament de corrents), aquesta és reutilitzada i el seu consum és mínim (només degut a petites pèrdues o parades de manteniment).

L'aspecte mediambiental més rellevant de l'alternativa proposada de desgreixatge amb gas dens és l'emissió que es produeix de diòxid de carboni a l'atmosfera. No obstant, no es tracta d'emissions considerables, ja que la major part del gas és recirculat i reutilitzat en la següent operació de desgreixatge.

El diòxid de carboni, que és un dels principals gasos d'efecte hivernacle, en concentracions òptimes contribueix al manteniment de la temperatura del planeta, però en excés provoca un escalfament global de la Terra. En conseqüència, les emissions de diòxid de carboni produïdes per l'activitat industrial no són desitjables per a la salut del planeta. En el cas del projecte, la tecnologia de desgreixatge amb diòxid de carboni dens no produeix emissions significatives del gas.

La quantitat de diòxid de carboni emès a l'atmosfera per la planta industrial dissenyada és exactament de 53,25 kg/dia. Aquest valor, que és mínim, no es veu afectat per l'aplicació del protocol de Kyoto [18], ja aquest no penalitza les emissions de diòxid de carboni que estiguin relacionades amb tecnologies innovadores o instal·lacions utilitzades per a la investigació, desenvolupament i experimentació de nous processos, com és el cas del projecte.



Si tot i això es consulta l'annex I de la Directiva 2003 – 87 – CE [7], que regula les activitats afectades pel protocol de Kyoto, s'observa que les indústries obligades a pagar per emetre gasos d'efecte hivernacle han de tenir produccions diàries de diverses tones com a mínim. Per tant, queda descartada la penalització mediambiental per emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera, ja que aquesta, per a la planta dissenyada, és mínima.

Pel què fa a la generació de residus, aquesta és mínima, ja que la reutilització tant del diòxid de carboni com de l'aigua, l'etilenglicol i el vapor fa que només es generin residus com ara restes de pell, embalatges o residus generats com a conseqüència del manteniment dels equips.

8.3. Comparació de tecnologies

8.3.1. Valoració d'impactes

Per tal de conèixer les repercussions sobre el medi que pot tenir el projecte, s'ha realitzat una valoració d'impactes, que inclou: la salut humana, els efectes socials i culturals, el consum de recursos naturals i hídrics, l'impacte paisatgístic, el trànsit rodat, la generació de residus, l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, el soroll i les olors.

Quant als impactes sobre la salut humana, l'efecte és mínim, ja que el solvent del procés proposat, el diòxid de carboni, no és tòxic a nivell local. L'única precaució que cal tenir és la de ventilar bé la instal·lació on es duu a terme el procés. El diòxid de carboni només és tòxic quan n'hi ha més d'un 8% a l'atmosfera, que té afectació sobre les persones pel desplaçament de l'oxigen que comporta.

Pel què fa als efectes socials i culturals, l'efecte que pot tenir el projecte també és mínim. Es requereix un treballador menys que en el cas de la tecnologia convencional, però aquests han de tenir una formació tècnica superior.

Respecte al consum de recursos naturals i hídrics, el projecte proposat té un efecte positiu sobre el medi, ja que el consum d'aigua es redueix dràsticament, consumint-se només per a serveis i reutilitzant-se per a cada nova operació.

L'impacte paisatgístic que pot causar el projecte és mínim, ja que l'alternativa de desgriatge proposada es podria dur a terme en la mateixa planta de tractament ja existent per a la tecnologia convencional, substituint-la. Per tant, tot l'impacte paisatgístic que pot produir una empresa en l'entorn on s'ubica ja ha tingut lloc; el projecte no n'afegeix més.



Quant al trànsit rodat, l'efecte és el mateix que el ja existent per a l'empresa que utilitza la tecnologia convencional de desgreixatge. La producció anual de l'alternativa proposada és la mateixa que l'actual.

Pel què fa a la generació de residus, s'ha observat que n'hi ha alguns que no canvien, com les restes de pell, els embalatges o els residus generats com a conseqüència del manteniment dels equips. No obstant, en el cas de la tecnologia convencional es produeixen també els fangs residuals de la depuradora, mentre que en el cas de l'alternativa proposada són els greixos obtinguts en el separador els residus que cal enviar a tractar.

L'emissió de gasos d'efecte hivernacle és major per a l'alternativa proposada, tot i que no es tracta de quantitats significatives, com s'ha pogut comprovar anteriorment. A més, cal dir que en el cas de la tecnologia convencional també s'emet una certa quantitat de gasos d'efecte hivernacle degut a la producció d'energia elèctrica. Per tant, l'impacte del projecte és baix, ja que l'energia elèctrica generada en la planta actual de desgreixatge es pot aprofitar per a l'alternativa proposada. D'aquesta manera l'únic impacte afegit sobre el medi és l'emissió directa de diòxid de carboni a l'atmosfera, que és molt petita.

Respecte al soroll, el projecte té un impacte positiu, ja que la nova tecnologia és molt menys sorollosa que l'actual bombo de desgreixatge, que en rodar produeix un soroll d'uns 60 – 65 decibels aproximadament. El diòxid de carboni, en canvi, fa un soroll gairebé imperceptible en passar per entremig de la pell durant l'extracció del greix.

Finalment, respecte a les olors, la tecnologia de desgreixatge amb diòxid de carboni a pressió no genera males olors a banda de la pròpia olor que fan les pells, ja que el greix residual es tanca en recipients fins que el recull l'empresa de tractament. L'ús de la tecnologia convencional, en canvi, genera olors desagradables tant en el desgreixatge en sí com en la depuració del bany residual que se n'obté.

8.3.2. Índexs de sostenibilitat

La metodologia de Bridges o de la sostenibilitat [4] engloba els interessos mediambientals, però també els socials i econòmics. Aquesta metodologia es basa en el càlcul dels anomenats índexs de sostenibilitat, que són els següents:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1) Índex de matèria | 2) Índex d'energia |
| 3) Índex d'aigua | 4) Índex de toxicitat |
| 5) Índex de contaminació | 6) Índex d'incendi i explosió o índex Dow |



A partir del càlcul dels índexs de sostenibilitat per a la tecnologia convencional i l'alternativa proposada, es poden comparar consums, impactes, etc. Com més baix resulta ser el valor d'un índex, més sostenible és el procés; és a dir, genera més valor amb menys impacte.

Els càlculs detallats dels índexs de sostenibilitat es poden consultar a l'annex E (Anàlisi mediambiental).

Tots els índexs es calculen per unitat de massa de producte excepte l'índex d'incendi i explosió, que oscil·la entre els valors de 0 i 300. Per tant, els cinc primers índexs de sostenibilitat es poden calcular segons l'equació (Eq. 8.3):

$$\text{Índex } \lambda = \frac{\text{Quantitat consumida o emesa de A}}{\text{Quantitat obtinguda de producte acabat}} \quad (\text{Eq. 8.3})$$

on: λ = índexs 1 a 5

A = matèria, energia, aigua, substàncies tòxiques o gasos d'efecte hivernacle

A continuació es descriuen els sis índexs de sostenibilitat, quins paràmetres inclouen i com se'n veuen afectades les dues tecnologies, la convencional i la proposada:

Índex de matèria (IM)

L'índex de matèria (IM) es defineix com els quilograms gastats de matèries principals (no convertits en producte útil o no utilitzats per a les reaccions) per quilogram de producte obtingut.

En el cas de la tecnologia convencional, les matèries principals són l'aigua i el tensioactiu, mentre que per a l'alternativa proposada és el diòxid de carboni, l'encarregat de dur a terme el procés d'extracció del greix.

Índex d'energia (IE)

L'índex d'energia (IE) es defineix com la massa de gas natural consumida per quilogram de producte obtingut.



És una mesura del combustible net consumit per a produir les necessitats de calor i potència del procés. A més, reflexa les millores d'un procés, com per exemple l'optimització en la recuperació de la calor, la integració energètica, l'eficiència en la generació de vapor o potència, etc.

L'índex d'energia inclou el gas natural, el fueloil, l'electricitat i el vapor. La conversió d'energia elèctrica a gas natural i la conversió d'energia a massa vénen donades per les relacions: 0,92 kJ gas natural = 1 kJ energia elèctrica; 52000 kJ gas natural = 1 kg gas natural.

En el cas de la tecnologia convencional, l'energia elèctrica és l'única forma energètica del procés, mentre que per a l'alternativa proposada cal tenir en compte la producció de vapor (en cas d'escalfar els intercanviadors de calor mitjançant aquesta opció), l'energia elèctrica i l'energia necessària per al cicle de refrigeració.

Índex d'aigua (IA)

L'índex d'aigua (IA) es defineix com la massa d'aigua consumida per quilogram de producte obtingut, excloent-ne l'aigua de la pluja, ja que aquesta dependrà molt de la zona on estigui ubicada la planta.

En el cas de la tecnologia convencional, el consum d'aigua és molt elevat, ja que és el solvent del procés de desgreixatge, mentre que per a l'alternativa proposada només es consumeix aigua per a serveis de la planta industrial dissenyada.

Índex de toxicitat (IT)

L'índex de toxicitat (IT) es defineix com la massa de substàncies tòxiques consumida per quilogram de producte obtingut.

En la tecnologia convencional de desgreixatge aquós amb tensioactius, l'única substància susceptible de ser tòxica és el tensioactiu, però es considera que és biodegradable perquè la majoria dels que s'utilitzen avui en la indústria adobera ho són. Per tant, l'índex de toxicitat per a la tecnologia convencional és nul. Pel que fa a l'alternativa proposada de desgreixatge amb gas dens, l'únic solvent del procés és el diòxid de carboni i no és tòxic a nivell local. Per tant, l'índex de toxicitat per a l'alternativa proposada també és nul.



Índex de contaminació (IC)

L'índex de contaminació (IC) es defineix com la massa de gasos d'efecte hivernacle emesa per quilogram de producte obtingut. Inclou les emissions directes de diòxid de carboni, així com la quantitat equivalent de diòxid de carboni emès en cremar el combustible necessari per a generar energia. Per tant, les emissions de diòxid de carboni resultants de la generació d'electricitat i la producció de vapor estan incloses en l'índex de contaminació.

Per a calcular les emissions equivalents de diòxid de carboni, es considera que s'emet 1 kg de CO₂ per cada kW · h d'energia elèctrica generat.

La tecnologia convencional emet diòxid de carboni a causa de l'energia elèctrica produïda, mentre que per a l'alternativa proposada, es contemplen les dues opcions: l'opció 1 (caldera de producció de vapor) i l'opció 2 (escalfament elèctric dels intercanviadors). L'opció 1 emet diòxid de carboni a causa de la producció de vapor en la caldera, l'energia elèctrica produïda i l'emissió directa. L'opció 2, en canvi, només emet diòxid de carboni a causa de l'energia elèctrica produïda i l'emissió directa.

Índex d'incendi i explosió (IIE o índex Dow)

L'índex d'incendi i explosió (IIE o índex Dow) serveix per a comptabilitzar la seguretat d'una instal·lació. És una de les eines més utilitzades per a l'avaluació realista del risc potencial de foc, explosió i reactivitat química dels equips de procés i el seu contingut. Els propòsits del sistema de l'índex d'incendi i explosió són:

- Quantificar, en termes realistes, el dany que es pot esperar dels potencials incidents de foc, explosió i reactivitat
- Identificar l'equip amb probabilitat de contribuir a la iniciació o a l'escalada d'un incident
- Comunicar el potencial de risc de l'IIE a la direcció de l'empresa

Tant per al cas de la tecnologia convencional com per a l'alternativa proposada, no té sentit calcular l'índex d'incendi i explosió perquè no existeixen substàncies amb risc d'incendi i explosió en cap dels dos processos.



Per tal de poder observar com s'han calculat els índexs de sostenibilitat, es presenta un exemple tot seguit, que correspon al càlcul de l'índex d'energia per a la tecnologia convencional.

La tecnologia convencional consumeix energia únicament en forma elèctrica, que s'utilitza per a l'agitació i la calefacció del bombo, el funcionament de la bomba i el corrent elèctric. Els valors energètics corresponents a cadascun d'aquests termes s'han determinat a partir dels resultats de la simulació amb Hysys i el dimensionat dels equips:

$$\frac{(1020134244 + 2253281288 + 34200000 + 330761553) \text{kJE}_{\text{elèctrica}}}{1 \text{any}} \cdot \frac{0,92 \text{kJGN}}{1 \text{kJE}_{\text{elèctrica}}} \cdot \frac{1 \text{kgGN}}{52000 \text{kJGN}} =$$

$$= 643,71 \text{kgGN/any}$$

Per tant, sabent que es desgreixen 18400 kg de pell per any (23000 pells/any de 0,80 kg cadascuna), s'aplica l'equació (Eq. 8.3) i s'obté el següent resultat:

$$IE = \frac{(643,71 \text{kgGN/any})}{(18400 \text{kgpell/any})} = 3,50 \cdot 10^{-2} \text{kgGN/kgpell}$$

La resta d'índexs calculats es troben detallats en l'annex E (Anàlisi mediambiental).

A continuació s'observen els valors obtinguts per al càlcul de tots els índexs de sostenibilitat en el cas de la tecnologia convencional i les dues opcions de l'alternativa proposada. També es mostren quins són, per a cada índex, els valors més favorables quant a la sostenibilitat. Aquest resum dels resultats obtinguts es pot consultar a la pàgina següent (taula 8.2).



Índex	Número d'índex	Tecnologia convencional	Alternativa proposada (opció 1)	Alternativa proposada (opció 2)	Quina és més favorable?
IM [kg matèria/kg pell]	1	9,38	0,67	0,67	Alternativa proposada
IE [kg GN/kg pell]	2	$3,50 \cdot 10^{-2}$	$3,28 \cdot 10^{-2}$	$3,38 \cdot 10^{-2}$	Alternativa proposada (opció 1)
IA [kg H ₂ O/kg pell]	3	9,38	0,83	0,81	Alternativa proposada (opció 2)
IT [kg subs. tòxiques/kg pell]	4	0	0	0	Ambdues
IC [kg CO ₂ /kg pell]	5	0,55	0,86	1,00	Tecnologia convencional
IIE (o índex Dow)	6	-	-	-	-

Taula 8.2 – Resultats del càlcul dels índexs de sostenibilitat

A partir de les dades de la taula, s'observa que l'índex de matèria és menor per a l'alternativa proposada. Aquest resultat indica que l'impacte per consum de matèries és major per a la tecnologia convencional i que, per tant, l'alternativa proposada consumeix menys matèria per quilogram de producte obtingut.

Pel que fa a l'índex d'energia, l'alternativa proposada és també la més favorable, ja que consumeix menys energia per quilogram de producte acabat.

Quant a l'índex d'aigua, la tecnologia convencional és la que més aigua consumeix per quilogram de producte acabat. Cal tenir en compte que any rere any la legislació esdevé més estricta pel que fa a l'ús de l'aigua. Aquest índex ja és molt important actualment i ho serà encara més en un futur no gaire llunyà.

Les dades de la taula mostren un índex de toxicitat nul per a les dues tecnologies, ja que no existeixen substàncies tòxiques ni en la tecnologia convencional ni en la proposada.

El resultat de l'índex de contaminació és més favorable per a la tecnologia convencional. Tot i això, les emissions de diòxid de carboni de l'alternativa proposada no són gaire elevades.

En general, els resultats obtinguts pels cinc índexs calculats (l'índex Dow no s'ha calculat perquè no existeixen substàncies amb risc d'incendi i explosió en cap de les dues tecnologies) es poden representar mitjançant la figura 8.1:

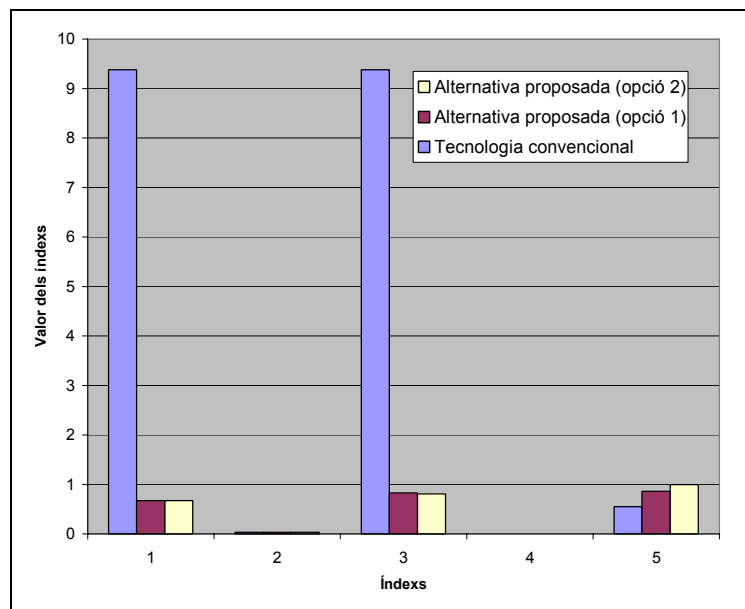


Fig. 8.1 – Comparació d'índexs de sostenibilitat



A partir de la figura anterior, s’observa que l’alternativa proposada és, en general, més sostenible que la convencional, ja que tres dels cinc índexs representats són favorables al nou procés.

8.3.3. Petjada ecològica

Els resultats obtinguts també es poden representar en forma d’una figura radial anomenada petjada ecològica, que mostra l’impacte que té cadascuna de les tecnologies segons si la petjada que queda dibuixada té una àrea més petita o més gran. Com més gran és l’àrea de la petjada ecològica, menys sostenible és el procés. Aquesta informació es pot visualitzar en la següent figura 8.2:

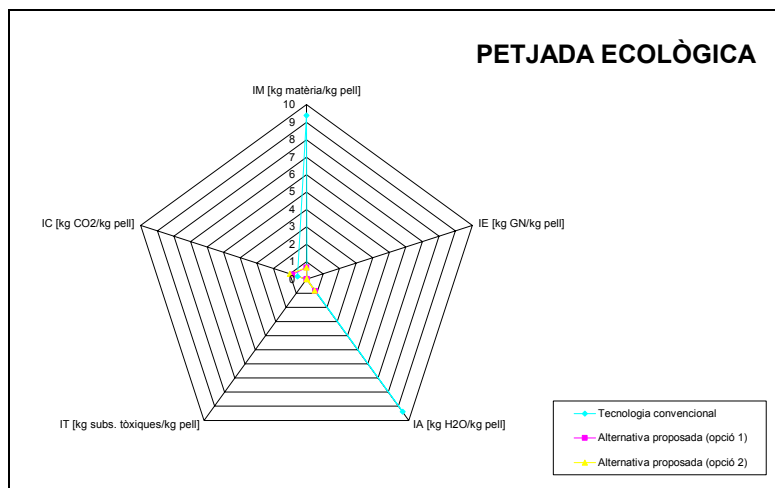


Fig. 8.2 – Petjada ecològica de les diferents tecnologies

La petjada ecològica representada en la figura 8.2 remarca que la tecnologia convencional és menys sostenible, sobretot quant a consum de matèries i, concretament, d’aigua. Pel què fa a les dues opcions de l’alternativa proposada, cap d’elles és clarament favorable o desfavorable, ja que l’opció 1 (caldera de producció de vapor) és millor quant a consum d’energia i diòxid de carboni emès i l’opció 2 (escalfament elèctric dels intercanviadors) és millor quant a consum d’aigua, mentre que per a la resta són exactament iguals. A més, les diferències de valor dels índexs són molt petites, tal com s’observa en la figura 8.3, que es troba a la pàgina següent.



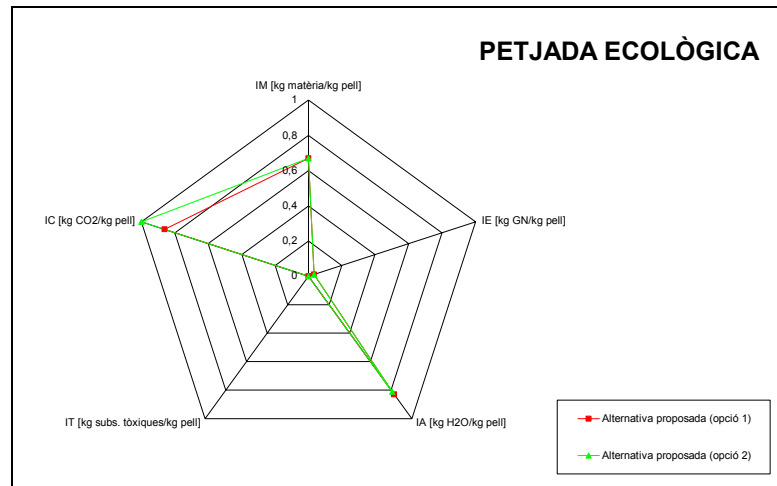


Fig. 8.3 – Petjada ecològica de les dues opcions de l'alternativa

Pel què fa als índexs de sostenibilitat calculats per a les dues tecnologies, a partir de les figures 8.1 i 8.2 de l'apartat anterior s'observa que l'alternativa proposada és, en general, més sostenible que la convencional, ja que tres dels cinc índexs representats (índex de matèria, índex d'energia i índex d'aigua) són favorables al nou procés.

Dins de l'alternativa proposada, s'ha escollit l'opció 2 (escalfament elèctric dels intercanviadors). En termes de sostenibilitat, no hi ha una opció clarament més favorable que l'altra, tal com s'ha comprovat a partir de la figura 8.3. S'ha escollit finalment l'opció 2 per dues raons: la primera és econòmica, ja que en l'annex F del projecte (Anàlisi econòmica) es demostra que és més viable aquesta opció; la segona, perquè la reducció del consum d'aigua en la indústria adobera actual és una de les principals prioritats i l'opció 2 té un índex d'aigua inferior.





9. Anàlisi econòmica

L'anàlisi econòmica d'un procés serveix per a estudiar-ne la seva viabilitat. En aquest capítol es realitza una anàlisi econòmica de les dues tecnologies presentades: la convencional, de desgreixatge aquós amb tensioactius, i l'alternativa proposada, amb diòxid de carboni dens com a solvent del procés d'extracció. Finalment, es comparen les dues tecnologies en termes econòmics i s'estudia el valor actual net i el període de retorn de cadascuna de les inversions.

Els càlculs econòmics detallats per a les dues tecnologies es poden consultar a l'annex F (Anàlisi econòmica).

9.1. Anàlisi econòmica de la tecnologia convencional

L'anàlisi econòmica de la tecnologia convencional es refereix al cas de l'empresa Santiago Fatjó, S. L. [8], que és l'empresa que ha servit de referència de la tecnologia convencional al llarg de tot el projecte.

9.1.1. Inversió

La inversió de capital inclou bàsicament l'equip. La seva determinació és complexa, ja que els equips de l'empresa Santiago Fatjó, S. L. van ser comprats fa anys i de segona mà. És per això que, en aquest aspecte, no ha estat possible consultar el cost de la inversió a l'empresa.

Per a alguns equips, s'ha consultat el cost a empreses especialitzades del sector, fabricants d'aquestes tecnologies. Per a la resta, s'ha calculat mitjançant el procediment establert en el llibre de G. D. Ulrich [23].

S'han tingut en compte els factors de material, pressió i temperatura de treball. El cost d'instal·lació s'ha obtingut considerant que l'índex CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) per a l'any 2006 és de 482. A més, s'ha pres l'equivalència $1,0 \text{ €} = 1,2 \text{ \$}$.



Per tal de poder observar com s’han determinat els costos dels equips calculats mitjançant el procediment establert en el llibre de G. D. Ulrich [23], a continuació es presenta un exemple, que correspon al càlcul del cost del bombo de desgreixatge.

El cost del bombo amb agitació s’ha calculat a partir de la figura 9.1:

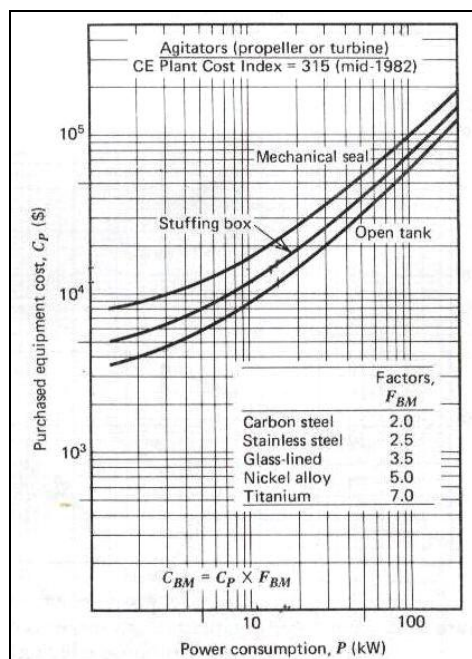


Fig. 9.1 – Cost de l’equip en funció de la potència d’agitació [23]

Escollint l’opció d’un tanc obert (ja que s’hi carreguen i descarreguen les pells), el cost resultant és el següent:

$$\text{Cost de l’equip en funció de la potència d’agitació (40 HP } \approx 30 \text{ kW)} = 2 \cdot 10^4 \text{ \$}$$

Factor multiplicador [23] del material (acer inoxidable) = 2,5

Per tant, el cost del bombo amb agitació, en euros, és el següent:

$$\text{Cost} = 2,5 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \frac{1,0}{1,2} \cdot \frac{482_{(CEPCI-2006)}}{315_{(CEPCI-1982)}} = 63756,61$$

La resta d’equips calculats mitjançant aquest procediment es troben detallats en l’annex F (Anàlisi econòmica).



En la taula 9.1 es poden observar els costos d'instal·lació dels equips, així com el cost total de la inversió per a la tecnologia convencional, tenint en compte el factor multiplicador de la inversió o de Lang:

EQUIP	COST (€)
Dipòsit d'aigua	13197,62
Dipòsit de tensioactiu	573,81
Bombo amb agitació i calefacció	63756,61
Bomba (enllaç bombo - EDAR)	15301,59
EDAR (Estació depuradora d'aigües residuals)	127513,23
Suma d'equips	220342,86
Factor de Lang	3,00
Total inversió	661028,58

Taula 9.1 – Cost de la inversió

9.1.2. Costos de fabricació

Costos de fabricació directes

Els costos de fabricació directes per a la tecnologia convencional inclouen les matèries, l'energia i els treballadors.

Cost de les matèries

La matèria primera és la pell, mentre que les matèries principals per al procés són l'aigua i els tensioactius. Per tant, el cost de les matèries és el que s'observa en la taula 9.2:

MATÈRIA PRIMERA	QUANTITAT [pells/any]	COST [€/pell]	COST [€/any]
Pell	23000	5,00	115000,00
MATÈRIES PRINCIPALS	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Aigua	172500	$6,0 \cdot 10^{-4}$	103,50
Tensioactius	92	1,35	124,20
Total matèries			115227,70

Taula 9.2 – Cost de les matèries



Cost de l'energia

En aquest apartat es comptabilitza el cost de l'energia elèctrica [10] (que s'utilitza per a l'agitació i la calefacció del bombo, el funcionament de la bomba i el corrent elèctric en general), el cost de depuració del bany residual de desgreixatge i el cost del cànon de l'aigua. Per tant, el cost de l'energia és el que es mostra en la taula 9.3:

EQUIP	E. ELÈCTRICA	QUANTITAT [kJ/any]	COST [€/kJ]	COST [€/any]
Agitació bombo	380 V	10201342,44	$2,5 \cdot 10^{-5}$	255,03
Calefacció bombo	380 V	22532812,88	$2,5 \cdot 10^{-5}$	563,32
Bomba	380 V	342000,00	$2,5 \cdot 10^{-5}$	8,55
Corrent elèctric (10% dels anteriors)	380 V	3307615,53	$2,5 \cdot 10^{-5}$	82,69
EQUIP	UTILITAT	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
EDAR	Depuració aigua	172500	$1,0 \cdot 10^{-3}$	172,50
EDAR	Cànon aigua	172500	$1,4 \cdot 10^{-3}$	243,69
Total energia				1325,79

Taula 9.3 – Cost de l'energia

Cost dels treballadors

Per a calcular el nombre de treballadors, cal tenir en compte que es necessita un operari per a carregar i descarregar el bombo de pells, a més de dos operaris per a controlar el bon funcionament de la depuradora. La resta d'equips no precisen de supervisió.

Considerant que el salari anual de cada treballador és de 16800 € (14 pagues a l'any de 1200 € cadascuna) i que només hi ha un torn de 8 hores, el cost total dels treballadors és el que s'observa en la taula 9.4:

CONCEPTE	OPERARIS	TORNS	SALARI [€/any-operari]	COST [€/any]
Treballadors	3	1	16800,00	50400,00
Total treballadors				50400,00

Taula 9.4 – Cost dels treballadors



Costos de fabricació indirectes

Els costos de fabricació indirectes inclouen el manteniment, les reparacions, els impostos, les assegurances, la depreciació i les despeses generals de l'empresa. Cadascun d'aquests costos s'ha calculat com un percentatge de la inversió inicial (sense tenir en compte el factor multiplicador de Lang), prenent valors habituals en aquest tipus d'estimacions. Els costos de fabricació indirectes són els que s'observen en la taula 9.5:

CONCEPTE	COST [€/any]
Manteniment i reparacions (5% inversió)	11017,14
Impostos i assegurances (2% inversió)	4406,86
Depreciació (10% inversió)	22034,29
Despeses generals (5% inversió)	11017,14
Total costos de fabricació indirectes	48475,43

Taula 9.5 – Costos de fabricació indirectes

Per tant, la suma dels costos de fabricació totals és la que es mostra en la taula 9.6:

CONCEPTE	COST [€/any]	
Costos de fabricació directes	Cost de les matèries	115227,70
	Cost de l'energia	1325,79
	Cost dels treballadors	50400,00
Costos de fabricació indirectes	48475,43	
Total costos de fabricació	215428,91	

Taula 9.6 – Costos de fabricació

9.1.3. Vendes

El preu de venda s'ha considerat de 15 €/pell, tenint en compte que el producte acabat, en aquest cas, consisteix en una pell desgreixada però no adobada, ja que s'està avaluant una part de la planta, la que correspon al desgreixatge.



A més, també s'han inclòs en el preu final les pèrdues produïdes pel petit percentatge inevitable de productes defectuosos que s'obté. Per tant, el preu total de les vendes és el que es presenta en la taula 9.7:

CONCEPTE	QUANTITAT [pells/any]	PREU [€/pell]	PREU [€/any]
Vendes de pells	23000	15,00	345000,00
Total vendes de pells			345000,00

Taula 9.7 – Vendes de pells

9.1.4. Valor actual net. Període de retorn de la inversió

El valor actual net (VAN) d'una inversió és la diferència entre els valors actualitzats de les entrades que genera i els desemborsaments realitzats. En el cas de la tecnologia convencional, el VAN per a l'any 10 és de 135129,65 €.

El període de retorn de la inversió és el temps necessari per a recuperar la inversió inicial realitzada, és a dir, per a igualar els fluxos de caixa actualitzats amb els valors, també actualitzats, dels desemborsaments. Pel què fa a la tecnologia convencional, el període de retorn de la inversió és de 7,50 anys.

Per tant, l'anàlisi econòmica de la tecnologia convencional demostra que aquesta alternativa és viable econòmicament.

9.2. Anàlisi econòmica de l'alternativa proposada

L'anàlisi econòmica de l'alternativa proposada es refereix a la planta dissenyada de desgreixatge amb diòxid de carboni a pressió. Dins d'aquest marc, es plantegen les dues opcions pel què fa a l'escalfament dels intercanviadors de calor: o bé es produeix vapor mitjançant una caldera o bé s'escalfen elèctricament. Una de les dues solucions és econòmicament millor i, ja que mediambientalment la diferència no és molt considerable, aquest serà el criteri de decisió més determinant.



9.2.1. Inversió

El fet de tractar-se d'un procés nou, és a dir, de no existir a la realitat, ha dificultat una mica les estimacions econòmiques, tot i que s'han realitzat nombroses consultes a possibles empreses proveïdores dels equips necessaris. Per als equips els quals el seu cost no s'ha pogut consultar a cap empresa, s'han calculat mitjançant el procediment establert en el llibre de G. D. Ulrich [23].

Igualment que en el cas de la tecnologia convencional, s'han tingut en compte els factors de material, pressió i temperatura de treball. El cost d'instal·lació s'ha obtingut considerant que l'índex CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) per a l'any 2006 és de 482. A més, s'ha pres l'equivalència $1,0 \text{ €} = 1,2 \text{ \$}$.

En les taules 9.8 i 9.9 s'observen els costos d'instal·lació dels equips, així com el cost total de la inversió, per a cadascuna de les dues opcions de l'alternativa proposada, l'opció 1 (caldera de producció de vapor) i l'opció 2 (escalfament elèctric dels intercanviadors de calor):

EQUIP	COST (€)
Mesclador	22372,20
Condensador	34428,57
Bomba	20083,33
Intercanviador de calor (1)	45904,76
Intercanviador de calor (2)	34428,57
Extractors	175968,25
Regulador de pressió	1700,00
Separador ciclònic	8160,85
Grup de fred	4500,00
Caldera	25000,00
Suma d'equips	372546,53
Factor de Lang	1,50
Total inversió	558819,80

Taula 9.8 – Cost de la inversió
(opció 1: producció de vapor)

EQUIP	COST (€)
Mesclador	22372,20
Condensador	34428,57
Bomba	20083,33
Intercanviador de calor (1)	45904,76
Intercanviador de calor (2)	34428,57
Extractors	175968,25
Regulador de pressió	1700,00
Separador ciclònic	8160,85
Grup de fred	4500,00
Suma d'equips	347546,53
Factor de Lang	1,50
Total inversió	521319,80

Taula 9.9 – Cost de la inversió
(opció 2: escalfament elèctric)



9.2.2. Costos de fabricació

Costos de fabricació directes

Els costos de fabricació directes inclouen, en aquest cas, les matèries, l'energia, els treballadors i també el cost del greix residual, ja que en el nou procés s'obté un residu de greix contaminat amb una certa quantitat de diòxid de carboni. Una empresa de tractament de residus ha de recollir-lo anualment i tractar-lo per a possibles aplicacions futures en d'altres sectors industrials (com ara el farmacèutic o el cosmètic).

Cost de les matèries

La matèria primera és la pell, mentre que la matèria principal per al procés és el diòxid de carboni, que es manté en un dipòsit llogat per a tal efecte i també és comptabilitza aquí. Per tant, el cost de les matèries és el que s'observa en la taula 9.10:

MATÈRIA PRIMERA	QUANTITAT [pells/any]	COST [€/pell]	COST [€/any]
Pell	23000	5,00	115000,00
MATÈRIA PRINCIPAL	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Diòxid de carboni	12247,50	0,18	2204,55
EQUIP	CONCEPTE	COST [€/mes]	COST [€/any]
Dipòsit de diòxid de carboni	Lloguer del dipòsit	400,00	4800,00
Total matèries			122004,55

Taula 9.10 – Cost de les matèries

Cost de l'energia

El cost de l'energia varia segons l'opció escollida d'escalfament dels intercanviadors de calor de l'alternativa proposada.

Pel què fa a la producció de vapor en una caldera, el cost de l'energia inclou: l'energia tèrmica de producció de vapor; l'energia elèctrica per a la bomba, els extractors i el corrent elèctric en general; i l'energia per a produir la mescla refrigerant del condensador.

Quant a l'escalfament elèctric dels intercanviadors de calor, el cost de l'energia inclou: l'energia elèctrica per als intercanviadors de calor, la bomba, els extractors i el corrent elèctric en general; i l'energia per a produir la mescla refrigerant del condensador.



Per tant, el cost de l'energia per a cadascuna de les opcions és el que s'observa en les taules 9.11 i 9.12, respectivament:

EQUIP	E. TÈRMICA	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Intercanviador de calor (1)	Vapor d'aigua 1 bar	1128,33	0,01	11,28
Intercanviador de calor (2)	Vapor d'aigua 1 bar	3035,62	0,01	30,36
EQUIP	E. ELÈCTRICA	QUANTITAT [kJ/any]	COST [€/kJ]	COST [€/any]
Bomba	380 V	10557000	$2,5 \cdot 10^{-5}$	263,93
Extractors	380 V	208354,70	$2,5 \cdot 10^{-5}$	5,21
Corrent elèctric (10% dels anteriors)	380 V	1076535,47	$2,5 \cdot 10^{-5}$	26,91
EQUIP	UTILITAT	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Condensador	H ₂ O + EG refrigerant	297477,40	$8,0 \cdot 10^{-4}$	237,98
Total energia				575,67

Taula 9.11 – Cost de l'energia (opció 1: producció de vapor)

EQUIP	E. ELÈCTRICA	QUANTITAT [kJ/any]	COST [€/kJ]	COST [€/any]
Bomba	380 V	10557000	$2,5 \cdot 10^{-5}$	263,93
Extractors	380 V	208354,70	$2,5 \cdot 10^{-5}$	5,21
Intercanviadors de calor (1) i (2)	380 V	9402055,00	$2,5 \cdot 10^{-5}$	235,05
Corrent elèctric (10% dels anteriors)	380 V	2016740,97	$2,5 \cdot 10^{-5}$	50,42
EQUIP	UTILITAT	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Condensador	H ₂ O + EG refrigerant	297477,40	$8,0 \cdot 10^{-4}$	237,98
Total energia				792,59

Taula 9.12 – Cost de l'energia (opció 2: escalfament elèctric)

Cost del greix residual

El cost del greix residual inclou la recollida i el tractament anual del greix contaminat amb diòxid de carboni. El seu cost és el que es mostra en la taula 9.13:

CONCEPTE	QUANTITAT [kg/any]	COST [€/kg]	COST [€/any]
Recollida i tractament	2146,87	0,50	1073,43
Total greix residual			1073,43

Taula 9.13 – Cost del greix residual



Cost dels treballadors

Per a calcular el nombre de treballadors, cal tenir en compte que es necessita un operari per a controlar els serveis (intercanviadors de calor, condensador, grup de fred i caldera, si s'escau) i un operari per a controlar les variables del procés (pressió, cabal, etc.), a més de carregar i descarregar l'extractor. La resta d'equips no precisen de supervisió.

Quant al salari, s'ha de tenir en compte que el personal necessari ha de tenir una qualificació major al de la tecnologia convencional, ja que en aquest cas es treballa a pressions moderades i la tècnica de desgreixatge proposada és, en general, més complexa que la convencional. Per tant, si es considera que el salari anual de cada treballador és de 28000 € (14 pagues a l'any de 2000 € cadascuna) i que només hi ha un torn de 8 hores, el cost total dels treballadors és el que s'observa en la taula 9.14:

CONCEPTE	OPERARIS	TORNS	SALARI [€/any-operari]	COST [€/any]
Treballadors	2	1	28000,00	56000,00
Total treballadors				56000,00

Taula 9.14 – Cost dels treballadors

Costos de fabricació indirectes

Els costos de fabricació indirectes s'han calculat de la mateixa forma que en el cas de la tecnologia convencional.

Els resultats obtinguts es poden observar en les taules 9.15 i 9.16, corresponents a les diferents opcions d'escalfament dels intercanviadors de calor, respectivament:

CONCEPTE	COST [€/any]
Manteniment i reparacions (5% inversió)	18627,33
Impostos i assegurances (2% inversió)	7450,93
Depreciació (10% inversió)	37254,65
Despeses generals (5% inversió)	18627,33
Total costos de fabricació indirectes	81960,24

Taula 9.15 – Costos de fabricació indirectes (opció 1: producció de vapor)



CONCEPTE	COST [€/any]
Manteniment i reparacions (5% inversió)	17377,33
Impostos i assegurances (2% inversió)	6950,93
Depreciació (10% inversió)	34754,65
Despeses generals (5% inversió)	17377,33
Total costos de fabricació indirectes	76460,24

Taula 9.16 – Costos de fabricació indirectes (opció 2: escalfament elèctric)

Per tant, les sumes dels costos de fabricació totals per a les dues opcions de l'alternativa proposada són les que es mostren en les taules 9.17 i 9.18, respectivament:

CONCEPTE		COST [€/any]
Costos de fabricació directes	Cost de les matèries	122004,55
	Cost de l'energia	575,67
	Cost del greix residual	1073,43
	Cost dels treballadors	56000,00
Costos de fabricació indirectes		81960,24
Total costos de fabricació		261613,89

Taula 9.17 – Costos de fabricació (opció 1: producció de vapor)

CONCEPTE		COST [€/any]
Costos de fabricació directes	Cost de les matèries	122004,55
	Cost de l'energia	792,59
	Cost del greix residual	1073,43
	Cost dels treballadors	56000,00
Costos de fabricació indirectes		76460,24
Total costos de fabricació		256330,81

Taula 9.18 – Costos de fabricació (opció 2: escalfament elèctric)



9.2.3. Vendes

S'han realitzat les mateixes consideracions que en el cas de la tecnologia convencional. Per tant, el preu total de les vendes és el que es presenta en la taula 9.19:

CONCEPTE	QUANTITAT [pells/any]	PREU [€/pell]	PREU [€/any]
Vendes de pells	23000	15,00	345000,00
Total vendes de pells			345000,00

Taula 9.19 – Vendes de pells

9.2.4. Valor actual net. Període de retorn de la inversió

Dins de l'alternativa proposada, s'ha estudiat el valor actual net per a l'any 10 en les dues opcions plantejades per a l'escalfament dels intercanviadors de calor, així com el període de retorn de la inversió. La taula 9.20 mostra una comparació econòmica en aquests termes de les opcions de l'alternativa proposada:

OPCIÓ	VAN per a l'any 10 [€]	PERÍODE DE RETORN [anys]
Caldera de producció de vapor	-46448,24	> 10
Escalfament elèctric dels intercanviadors	23514,02	9,3

Taula 9.20 – Comparació econòmica de les opcions de l'alternativa proposada

Dels valors de la taula es dedueix que la millor opció és l'escalfament elèctric dels intercanviadors de calor, ja que és viable econòmicament mentre que la primera opció no.

L'escalfament elèctric no comporta una inversió tan elevada, a més de no necessitar el manteniment que requereix una caldera de producció de vapor. Per tant, per a necessitats tèrmiques no massa elevades, l'escalfament elèctric és la solució òptima.



9.3. Comparació de tecnologies

La comparació de tecnologies en termes econòmics (taula 9.21) s'estableix entre la tecnologia convencional i l'opció 2 de l'alternativa proposada (escalfament elèctric dels intercanviadors), ja que s'ha comprovat en l'apartat anterior que és la més favorable de les dues opcions plantejades per a l'alternativa proposada.

Concepte		Tecnologia convencional	Alternativa proposada (opció 2)
Cost dels equips [€]		220342,86	347546,53
Cost de la inversió [€]		661028,58	521319,80
Costos de fabricació directes	Cost de les matèries [€/any]	115227,70	122004,55
	Cost de l'energia [€/any]	1325,79	792,59
	Cost del greix residual [€/any]	-	1073,43
	Cost dels treballadors [€/any]	50400,00	56000,00
Costos de fabricació indirectes [€/any]		48475,43	76460,24
Costos de fabricació totals [€/any]		215428,91	256330,81
Vendes de pells [€/any]		345000,00	345000,00

Taula 9.21 – Comparació econòmica de les alternatives

Pel què fa al cost dels equips, aquest és major per a l'alternativa proposada. La tecnologia necessària per a una extracció amb diòxid de carboni a pressió és cara degut, sobretot, als requeriments de pressió que ha de suportar.

Tot i això, el valor de la inversió final acaba essent una mica superior per a la tecnologia convencional, ja que el factor multiplicador de la inversió o de Lang s'ha considerat de 3, mentre que per a l'alternativa proposada de 1,5. Això és degut al fet que, per a la tecnologia convencional, els costos dels equips s'han estimat de forma més aproximada que per a l'alternativa proposada, ja que els equips de l'empresa Santiago Fatjó, S. L., empresa de referència de la tecnologia convencional, van ser comprats fa anys i de segona mà.

Quant als costos de fabricació directes, el cost de les matèries és semblant per a les dues alternatives de procés. El cost de l'energia és força superior per a la tecnologia convencional, ja que la despesa d'energia elèctrica és major i, a més, el cost de depuració i cànon de l'aigua no existeixen per a l'alternativa proposada de desgreixatge amb gas dens. Tot i això, en el cas de l'alternativa proposada s'introdueix un cost nou dins dels costos de fabricació directes: el cost del greix residual que s'obté per cues en el separador ciclònic de la planta.



Per acabar, dins dels costos de fabricació directes, el cost dels treballadors és major per a l'alternativa proposada, ja que requereix d'un personal amb una formació tècnica, mentre que per a la tecnologia convencional no.

Els costos de fabricació indirectes són majors per a l'alternativa proposada perquè depenen directament del cost dels equips, i aquest és major per a l'alternativa proposada.

Els costos de fabricació totals actualment encara són majors per al cas de l'alternativa proposada, tot i que l'augment dels costos de depuració i cànon de l'aigua en els propers anys pot fer invertir aquest resultat.

Quant a vendes, s'han considerat exactament les mateixes per a les dues alternatives de procés a fi de poder establir aquestes comparacions en termes econòmics, així com també en termes mediambientals.

Finalment, si es comparen el valor actual net i el període de retorn de la inversió per a la tecnologia convencional i l'opció 2 de l'alternativa proposada (escalfament elèctric dels intercanviadors), s'observa en la taula 9.22 que avui és més viable econòmicament l'ús de la tecnologia convencional:

PROCESSOS	VAN per a l'any 10 [€]	PERÍODE DE RETORN [anys]
Tecnologia convencional	135129,65	7,5
Alternativa proposada (opció 2)	23514,02	9,3

Taula 9.22 – Comparació de VAN i període de retorn de les alternatives

De totes maneres, la depuració i el cànon de l'aigua són i seran cada dia més penalitzats i, per tant, en un futur proper el seu cost es veurà considerablement augmentat. És per això que d'aquí pocs anys l'alternativa proposada començarà a prendre força i a ser més viable que la tecnologia convencional.



Conclusions

En aquest projecte s'ha realitzat un estudi de viabilitat del procés de desgreixatge amb gas dens (CO_2) com a alternativa al desgreixatge aquós amb tensioactius, procés que es realitza en la indústria adobera actual. L'estudi ha permès determinar les condicions òptimes d'operació del procés proposat a partir d'experiments realitzats a nivell de planta pilot. Aquestes condicions s'han aplicat al disseny d'una planta d'extracció de greix de pell animal amb diòxid de carboni a pressió a escala industrial. Els resultats obtinguts demostren que el procés proposat és possible i, per tant, l'estudi que s'ha realitzat permet afirmar que el projecte és tècnicament viable.

Des del punt de vista mediambiental, el projecte millora la situació actual de la tecnologia de desgreixatge, ja que permet l'eliminació de l'aigua com a solvent del procés. L'ús industrial de l'aigua i les conseqüències que comporta (despeses de depuració i cànon) són cada dia més penalitzades per la llei. L'alternativa proposada de desgreixatge amb gas dens permet la substitució de l'aigua pel diòxid de carboni com a solvent del procés. Tot i que el projecte preveu una emissió directa de diòxid de carboni a l'atmosfera, aquesta és mínima i no significativa quant a possibles efectes sobre el medi. De fet, la quantitat emesa és tan petita que el procés no es veu afectat pel protocol de Kyoto. Per tant, el projecte és viable mediambientalment i més respectuós amb el medi que l'actual sistema.

No obstant, el projecte també presenta els seus inconvenients. En termes econòmics és més viable la tecnologia convencional actual que l'alternativa proposada, ja que aquesta última requereix d'equipament més modern i precís, personal amb una formació tècnica superior, costos de fabricació més elevats... Tot i això, la tendència a l'augment dels costos de depuració i cànon de l'aigua poden invertir aquesta situació; la despesa derivada de l'ús industrial de l'aigua s'incrementa dia a dia per la problemàtica mediambiental que suposa. Per tant, en un futur a mig termini, l'alternativa proposada de desgreixatge amb gas dens pot arribar a ser més viable econòmicament que la tecnologia actual de desgreixatge aquós.

Finalment i com a conclusió global del projecte, cal dir que, malgrat els inconvenients econòmics actuals, els avantatges que ofereix la tecnologia de desgreixatge amb diòxid de carboni a pressió li donen moltes possibilitats de futur. Aquest estudi obra una porta a la millora de les indústries adoberes, que actualment representen un dels sectors industrials menys modernitzats tecnològicament i, alhora, amb una problemàtica mediambiental més gran a causa de les grans quantitats d'aigua que utilitzen. Per tant, la millora del procés de desgreixatge que planteja el projecte, dins del tractament complet de la pell, significaria un bon començament per a l'adaptació del món de l'adoberia en el camp de les tecnologies sostenibles.





Agraïments

Un sincer agraïment a la meva directora del projecte de fi de carrera, la M. Àngels Larrayoz, per dedicar-me el seu temps, per les seves recomanacions i aportacions al projecte al llarg de la seva elaboració i per compartir amb mi aquesta enriquidora experiència.

A en Santiago Fatjó, el meu agraïment per la seva col·laboració en el projecte, per l'aportació de pells que han possibilitat l'experimentació en planta pilot i pels coneixements que m'ha transmès sobre el món de l'adoberia actual.

Finalment, agraïments a la meva família i en Joan, pel seu recolzament, paciència i entusiasme durant tot aquest temps.





Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN ISO 4048:1977. *Cuero. Determinación de materias solubles en diclorometano*. Madrid, 1999.
- [2] BERTUCCO, A., VETTER, G. *High pressure process technology: fundamentals and applications*. Delft, Elsevier Science, 2001.
- [3] BOE, BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. *Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1983, de 3 de agosto, de Aguas*. BOE núm. 103, 30 d'abril de 1986.
- [4] BONANZA, N. *Estudi de sostenibilitat comparatiu dels processos batch vs continu en la hidrogenació d'olis*. Projecte de fi de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [5] CLAVIER, J. Y. *Manuels d'installation opératoire et de maintenance. Pilot d'extraction par fluide supercritique SFE 200*. Champigneulle, Rapport 96 R 493, 1996.
- [6] CUERONET. Comunitat de la indústria del cuir a l'Amèrica Llatina. Tècnica del cuir.
[<http://www.cueronet.com/tecnicacuero.htm>, 4 de setembre de 2006].
- [7] DIARI OFICIAL DE LA UNIÓ EUROPEA. *Directiva 2003 – 87 – CE del Parlament Europeu i del Consell*. 25 d'octubre de 2003.
- [8] FATJÓ, SANTIAGO. Comunicació personal. Santiago Fatjó, S. L., Polígon Industrial Malloles, Sant Llorenç Desmunts, A 18, 08500 Vic, juny – juliol de 2006.
- [9] FISQ. Fitxes internacionals de seguretat química.
[<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/Introducci.htm>, 23 d'octubre de 2006].
- [10] GENERALITAT DE CATALUNYA. Empresa. Indústria i energia.
[<http://www.gencat.cat/temes/cat/empresa.htm>, 25 de setembre de 2006].



- [11] GENERALITAT DE CATALUNYA. Medi ambient. Aigua, residus i reciclatge.
[<http://www.gencat.cat/temes/cat/mediambient.htm>, 12 de setembre de 2006].
- [12] GENERÓ, N., MASFERRER, M., SANTANA, A., LARRAYOZ, M. A. *Extraction of fat from lamb skin in a dense CO₂: pilot plant design*. Chemical Engineering Department, Universitat Politècnica de Catalunya, Iberoamerican Conference on Supercritical Fluids, Iguaçú, Brasil, 2006.
- [13] GENERÓ, N., MASFERRER, M., SANTANA, A., LARRAYOZ, M. A., RECASENS, F. *Supercritical fluid extraction of fat from animal skin*. Chemical Engineering Department, Universitat Politècnica de Catalunya, 8th International Symposium on Supercritical Fluids, Kyoto, Japan, 2006.
- [14] GIBERT, C. *Avaluació dels efluents d'una adoberia: anàlisi microcoulombimètrica, cromatogràfica i ecotoxicològica*. Treball de doctorat, Terrassa, Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [15] MARSAL, A., [et al.]. *Application of the supercritical CO₂ extraction technology on the recovery of natural fat from the sheepskin degreasing process*. *Journal of Supercritical Fluids*. Núm. 18, 2000, p. 65-72.
- [16] MASFERRER, MARTA. Comunicació personal. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 23 d'octubre de 2006.
- [17] MORERA, J. M. *Química tècnica de curtició*. Igualada, Edicions UPC (Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica d'Igualada, Escola Superior d'Adoberia d'Igualada), 1996, p. 113-122.
- [18] NACIONS UNIDES. Text del tractat de Kyoto de les Nacions Unides.
[<http://untreaty.un.org/English/notpubl/kyoto-sp.htm>, 15 de setembre de 2006].
- [19] PORTAL: SALVEM LA TERRA. Efecte hivernacle.
[<http://www.xtec.cat/~mferna99/projecte/hiverna.htm>, 15 de setembre de 2006].
- [20] RECASENS, F. Apunts de l'assignatura: *Disseny d'equips i instal·lacions*. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Enginyeria Química 5è, 2006.



- [21] REID, R., PRAUSNITZ, J., POLING, B. *The properties of gases and liquids*. New York, McGraw – Hill, 1977.
- [22] SAIZ, S. *Eliminació de la lanolina de la llana amb diòxid de carboni supercrític*. Projecte de fi de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998.
- [23] ULRICH, G. D. *A guide to chemical engineering process design and economics*. USA, John Wiley & Sons, Inc., 1984, p. 286 – 316, 328 – 330.

Bibliografia complementària

- [24] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN ISO 2418:2002. *Cuero. Ensayos químicos, físicos, mecánicos y de solidez. Localización de la zona de toma de muestras*. Madrid, 2003.
- [25] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN ISO 4044:1977. *Cuero. Preparación de muestras para ensayos químicos*. Madrid, 1999.
- [26] ASME, American Society of Mechanical Engineers. *Boiler and pressure vessel code. Section VIII (Rules for construction of pressure vessels)*. New York, United Engineering Center, 1989.
- [27] BOADA, JOAN. Comunicació personal. Emerson Process Management, S. A. (grup Tescom Corporation), Barcelona, 22 de setembre de 2006.
- [28] CALVO, FELICIANO. Comunicació personal. Praxair Espanya, S. L., Madrid, 20 de setembre de 2006.
- [29] CARBUROS METÁLICOS, S. A. Gases industriales y especiales.
[<http://www.carburos.com>, 17 de setembre de 2006].
- [30] COMPANYYS, R., [et al.]. *Organització industrial*. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Publicacions d'Abast, S. L. L., 2003.
- [31] DOSAPRO. Milton Roy Ibèrica.
[<http://www.dosapro.com/corp/details.htm>, 18 de setembre de 2006].



- [32] GREENPEACE. Canvi climàtic i protocol de Kyoto.
[<http://archivo.greenpeace.org/Clima/kioto.htm>, 26 d'octubre de 2006].
- [33] INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. Activitats i dades energètiques.
[<http://www.icaen.net>, 20 d'octubre de 2006].
- [34] KING, M. , BOTT, T. *Extraction of natural products using near – critical solvents*. Glasgow, Blackie Academic & Professional, 1993.
- [35] MALAINA, JULIÁN. Comunicació personal. Hucoa Erlöss, S. A. (grup Lauda Générateurs Frigorifiques), Madrid, 8 de setembre de 2006.
- [36] MARSAL, A., [et al.]. *Supercritical CO₂ extraction as a clean degreasing process in the leather industry*. *Journal of Supercritical Fluids*. Núm. 16, 2000, p. 217-223.
- [37] McHUGH, M., KRUKONIS, V. *Supercritical Fluid Extraction*. Boston, Butterworth Heinemann Editions, 1994.
- [38] OLCINA GROUP. Bombos para procesos en húmedo y sistemas de automatización.
[<http://www.olcinagroup.com>, 24 d'octubre de 2006].
- [39] PENG, D. Y., ROBINSON, D. B. *A new two-constant equation of state*. *Inc. Eng. Chem.*, 15 (1), 1957, p. 59-64.
- [40] PERELLÓ CALDERERIA. Stenco – ABC Perelló.
[<http://www.caldereriaperello.com>, 6 de setembre de 2006].
- [41] PERRY, R. H. [et al.]. *Perry's Chemical engineers' handbook*. New York, McGraw – Hill, 1984.
- [42] PID ENG & TECH. Process integral development Eng. & Tech., S. L.
[<http://www.pidengtech.com>, 25 d'octubre de 2006].
- [43] PRAT, A., [et al.]. *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*. Barcelona, Edicions UPC (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona), 2000.
- [44] SANJUAN, VÍCTOR. Comunicació personal. Vicpel, S. A., Entenza, 15, 08100 Mollet del Vallès, febrer – març de 2006.



[45] SHAPIRO, H. N., MORAN, M. J. *Fundamentos de termodinámica técnica*. Vol. 2. Barcelona, Editorial Reverté, S. A., 1999, p. 613-620.

[46] SOLER, J. *Procesos de curtidos*. Igualada, Edicions UPC (Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica d'Igualada, Escola Superior d'Adoberia d'Igualada), 1996, p. 1-20, 65-82.

[47] SUNYER, J. *La crisi de la indústria adobera afecta ara la comarca d'Osona*. Diari Avui, Economia, 30 de maig de 2005.

[<http://www.avui.cat/avui/diari/05/mai/30/sec/economia.pdf>, 18 d'octubre de 2006].

[48] SWAGELOK. Fluid System Technologies.

[<http://www.swagelok.com.mx>, 24 d'octubre de 2006].

