

Treball de fi de grau

Rita Fernández Dalmau

Sergi Fuster Pardo

Disseny d'una planta de producció de PLA

Dirigit per Manuel Tierno García



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

Tarragona,

28 de juny de 2020

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.	
Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.	
TÍTOL DEL TFGEQ: DISSENY D'UNA PLANTA	
..... DE PRODUCCIÓ DE PLA	
SUBTÍTOL	
.....	
AUTOR: Rita Fernández Dalmau / Sergi Fuster Pardo	
CURS ACADÈMIC:	
VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC	
En/Na Manuel Tierno García	
en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ	
<input checked="" type="checkbox"/> és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa	
<input type="checkbox"/> no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex	
Signatura: 	Data: 27/06/20
DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT	
En/Na Manuel Tierno García, en la seva capacitat de supervisor extern ^(*) del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa ERCROS, S.A.	
^(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció	
Signatura: 	Data: 27/06/20

ABSTRACT

The aim of the project is to design a polylactic acid (PLA) production plant, produced from the polymerization of lactide. PLA is a biopolymer made from some types of vegetables, so the source is renewable. Due to its properties, PLA is biodegradable and compostable. Its plastic properties confer a great technical potential to replace many of the most used plastics, providing good quality and functional diversity, greater sustainability and the reduction of carbon footprint compared to conventional plastics. Besides, these features make it one of the most used materials in 3D printing and a revolution in food packaging, cosmetics, and many other industries. Therefore, it is a future investment opportunity with a growing demand.

The project is also focused on the design of production, considering a set target of producing 5000 tons of PLA annually. Once the plant has been designed, a safety, environmental and economic analysis is carried out to study the viability of the plant.

Índex

1. INTRODUCCIÓ	9
2. ETAPA PRELIMINAR	10
2.1. Descripció del projecte.....	10
2.2. Abast del projecte.....	10
2.3. Estudi bibliogràfic	11
2.4. Alternatives de procés	13
2.4.1. Polimerització per policondensació	13
2.4.2. Condensació directa	14
2.4.3. Policondensació en estat sòlid.....	14
2.4.4. Deshidratació en solució azeotròpica.....	15
2.4.5. Polimerització per extensió de cadena	15
2.4.6. Polimerització d'apertura d'anell	16
2.4.7. Comparativa entre els diferents mètodes de síntesi de polímers.....	17
2.4.8. Reactor	17
2.4.9. Evaporador	18
2.5. Planificació inicial del projecte	19
3. BASES PEL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE.....	20
3.1. Bases de disseny.....	20
3.1.1. Especificacions de l'alimentació.....	20
3.1.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei	22
3.1.3. Especificacions del producte.....	23
3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el Límit de Bateria	24
3.1.5. Normes de disseny a aplicar.....	25
3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria	25
3.2.1. <i>Utilities</i> disponibles.....	25
3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats.....	25
3.2.1.2. Condensat: especificacions de la xarxa.....	25
3.2.1.3. Energia elèctrica: nivells de tensió i aplicacions.....	26
3.2.1.4. Aigües: tipus, usos i qualitats.....	26
3.2.1.5. Combustibles: tipus i especificacions	27
3.2.1.6. Aire: especificacions i aplicacions	27
3.2.1.7. Nitrogen: especificacions i aplicacions	28
3.2.2. Preus de les energies	28
3.2.3. Dades de l'emplaçament	28
3.2.3.1. Paràmetres climàtics, pluviomètrics i sísmics.....	29
3.2.3.2. Elevació i estructura del terreny.....	29
3.2.4. Normes i codis de disseny oficial:	30
3.2.4.1. Recipients.....	30
3.2.4.2. Canonades	30
3.2.4.3. Equips dinàmics	30
3.2.4.4. Instrumentació.....	30
3.2.4.5. Materials aïllants	30

3.2.4.6. Altres	30
3.2.5. Sistema d'unitats	30
3.2.6. Codificació dels equips del procés	31
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA	33
4.1. Elaboració de diagrames	33
4.1.1. Diagrama de blocs: disseny conceptual	33
4.1.2. Diagrama de flux del procés (PFD)	34
4.1.3. Diagrama d'implantació (Plot Plan).....	35
4.1.4. Diagrama de canonades i instruments (P&ID).....	36
4.2. Disseny bàsic.....	37
4.2.1. Disseny de canonades	37
4.2.1.1. Dimensionament de canonades	37
4.2.1.2. Disseny mecànic de les canonades.....	38
4.2.1.3. Llistat de canonades	40
4.2.2. Disseny de la instrumentació i control	46
4.2.2.1. Caracterització de les estratègies de control	46
4.2.2.1.1. Control de temperatura al TK5553	46
4.2.2.1.2. Control de nivell en el TK5553.....	46
4.2.2.1.3. Control de pressió del TK5553	46
4.2.2.1.4. Control de cabal de les bombes P5546A/B.....	47
4.2.2.1.5. Control de la temperatura d'entrada al reactor: bescanviador E5533 ..	48
4.2.2.1.6. Control de la temperatura de reacció	48
4.2.2.1.7. Control de temperatura d'entrada a l'evaporador: bescanviador E5534	48
4.2.2.1.8. Control de temperatura en l'evaporador	48
4.2.2.1.9. Control del nivell de l'evaporador	49
4.2.2.1.10. Control de pressió de l'evaporador	49
4.2.2.2. Relació d'instruments de control	49
4.2.2.3. Sistema d'enclavaments	51
4.2.3. Estudi cinètic i disseny del reactor.....	52
4.2.3.1. Influència de la concentració de catalitzador	58
4.2.3.2. Influència de la temperatura de reacció	61
4.2.4. Disseny d'equips	63
4.2.4.1. Tanc d'emmagatzematge de lactida	63
4.2.4.1.1. Procediment i càlculs	63
4.2.4.1.2. Resultats obtinguts	66
4.2.4.2. Agitador del tanc	66
4.2.4.3. Bombes P5546A/B.....	66
4.2.4.4. Bescanviadors	68
4.2.4.4.1. Bescanviador de la lactida (E5533).....	69
4.2.4.4.1.1. Descripció i paràmetres de l'equip	69
4.2.4.4.1.2. Càlculs previs	69
4.2.4.4.1.3. Disseny obtingut.....	70
4.2.4.4.2. Bescanviador del PLA (E5534)	71

4.2.4.4.2.1.	Descripció i paràmetres de l'equip.....	71
4.2.4.4.2.2.	Càlculs previs	71
4.2.4.4.2.3.	Disseny obtingut.....	72
4.2.4.5.	Evaporador de pel·lícula agitada (S5523).....	72
4.3.	Fulls d'especificacions	76
4.3.1.	Tanc d'emmagatzematge (TK5553)	76
4.3.2.	Agitador del tanc (TK5553).....	77
4.3.3.	Bombes de desplaçament positiu (P5546A/B).....	78
4.3.4.	Bescanviadors (E5533 i E5534).....	79
4.3.5.	Evaporador de pel·lícula agitada (S5523).....	81
4.4.	Descripcions.....	82
4.4.1.	Descripció funcional del projecte.....	82
4.4.2.	Descripció de la instal·lació	83
5.	SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	85
5.1.	Anàlisi de riscos i operativitat.....	85
5.1.1.	Descripció del mètode HAZOP	85
5.1.2.	Aplicació del mètode HAZOP	87
5.2.	Zones ATEX (Atmosfera Explosiva).....	94
5.3.	Protecció d'equips a sobreprensions.....	94
5.3.1.1.	Càlcul de l'àrea de l'orifici i elecció de les PSV	95
5.3.1.1.1.	Disseny de les PSV per líquids	95
5.3.1.1.2.	Disseny de les PSV per vapor d'aigua	98
5.3.1.2.	Resultats obtinguts	100
5.3.1.3.	Fulls d'especificacions de les PSV	102
6.	ESTUDI MEDIAMBIENTAL.....	104
6.1.	Identificació i avaluació de les emissions a l'aire, aigua i sòl	104
6.2.	Identificació i avaluació dels residus sòlids produïts.....	104
6.3.	Consums d'energia i de recursos naturals.....	104
6.4.	Generació de gasos d'efecte hivernacle	104
6.5.	Altres impactes.....	105
7.	MANUAL DE MANTENIMENT	106
7.1.	Tanc d'emmagatzematge	106
7.2.	Bombes de desplaçament positiu	106
7.3.	Bescanviadors de calor.....	107
7.4.	Evaporador	108
7.5.	Canonades	108
7.6.	Vàlvules de seguretat	108
8.	ESTUDI ECONÒMIC	109
8.1.	Pressupost d'execució del projecte	109
8.2.	Avaluació econòmica	110
8.3.	Avaluació global de la inversió.....	112
8.4.	Anàlisi de sensibilitat	112
9.	CONCLUSIONS.....	114

10. REFERÈNCIES	115
-----------------------	-----

ANNEX

A. DIAGRAMA DE GANTT	119
B. FITXA DE SEURETAT DE LA LACTIDA	120
C. DIMENSIONAMENT DE LES BOMBES.....	127
D. TAULES FACTOR D'EMBRUTIMENT PER BESCANVIADORS DE CALOR	128
E. PLÀNOLS DEL BESCANVIADOR DE LA LACTIDA: E5533	130
F. PLÀNOLS DEL BESCANVIADOR DEL PLA: E5534	132
G. REPORT DE LA SIMULACIÓ DEL EVAPORADOR.....	133
H. ESTUDI ECONÒMIC	140
H.1. Avaluació econòmica	140
H.2. Avaluació econòmica	144

1. INTRODUCCIÓ

Actualment, el planeta viu una greu crisi mediambiental deguda a les elevades emissions de gasos d'efecte hivernacle i a l'abocament incontrolat de residus no biodegradables, propiciada en bona part per la sobreproducció de plàstics d'origen petroquímic. Això ha provocat l'estudi d'alternatives més sostenibles als plàstics convencionals com és el cas del PLA, també conegut com àcid polilàctic.

El PLA es considera un biopolímer, ja que és d'origen vegetal i, per tant, d'origen renovable. Això permet la seva biodegradabilitat i compostatge. D'altra banda, destaca per una marcada reducció en la petjada de carboni i no deixa d'oferir moltes de les propietats que tenen els plàstics convencionals. En conseqüència, permet substituir-los en un gran rang d'aplicacions, sobretot, en bosses i envasos alimentaris. A més, ha irromput amb força en un sector en gran creixement com la impressió 3D. Per aquests motius, el PLA té una demanda creixent i és una clara inversió de futur.

En aquest treball es desenvolupa un projecte amb l'objectiu de dissenyar una planta de producció de PLA. Es realitza un estudi preliminar de les diferents alternatives de procés, que permet escollir els millors mètodes i equips de producció. Es generen unes bases per al desenvolupament del projecte. A partir d'aquí, s'elabora l'enginyeria bàsica de la planta que inclou: l'elaboració dels principals diagrames, el disseny de canonades, dels equips, de la instrumentació i control del procés. I també es dona una explicació detallada del funcionament i especificacions tècniques generals de la planta en l'apartat de descripcions.

El projecte inclou un estudi de seguretat en el disseny de les instal·lacions amb la finalitat d'avaluar i millorar la seguretat de la planta. Per fer-ho, es duu a terme una anàlisi HAZOP, una avaluació de les possibles zones ATEX i es dissenya un sistema de protecció d'equips a sobrepressions. També inclou un manual de manteniment de les instal·lacions per evitar-ne el deteriorament i prevenir en seguretat laboral.

D'altra banda, es realitza un control mediambiental de la planta de producció. En aquest s'identifiquen els consums de recursos i les emissions i residus que pot produir la planta.

Finalment, s'efectua un estudi econòmic per conèixer la viabilitat de la planta. En aquest es presenta el pressupost d'execució del projecte i l'avaluació global de la inversió.

2. ETAPA PRELIMINAR

En l'etapa preliminar es concreten la descripció del projecte i l'abast del projecte. A més a més, es fa un estudi de les diferents vies de producció de PLA a partir de la lactida, per poder escollir la millor alternativa. Finalment, es presenta una planificació temporal del projecte per distribuir les tasques correctament en el temps.

2.1. Descripció del projecte

El projecte tracta sobre l'estudi i disseny d'una planta de producció de PLA, a partir de la polimerització de la lactida. L'àcid polilàctic és un biopolímer que s'elabora a partir de matèries primeres vegetals i renovables. Per les seves propietats és biodegradable i biocompostable. Les seves propietats li confereixen un gran potencial tècnic per substituir molts dels plàstics més utilitzats en l'actualitat, ja que aporta una bona qualitat i diversitat funcional, una major sostenibilitat i la reducció de la petjada de carboni respecte dels plàstics convencionals. Així mateix, aquestes propietats també el permeten ser un dels materials més utilitzats per la impressió 3D i una revolució en els envasos alimentaris, cosmètica i molts altres sectors. Per tant, és una aposta de futur amb una demanda creixent.

El projecte també s'enfoca en el disseny de la producció, tenint en compte que s'ha fixat l'objectiu de produir 5000 tones de PLA a l'any. Un cop dissenyada la planta, es duu a terme una anàlisi de seguretat, un estudi mediambiental i econòmic, per determinar la viabilitat de la planta.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte comprèn des de la rebuda i emmagatzematge de la matèria primera (lactida), fins a la purificació del producte (PLA). Els punts que es tracten són els següents:

- Es dissenya la planta de producció seguint unes bases preestablertes. A partir d'aquestes, es desenvolupen els diagrames de blocs, PFD, P&ID i Plot Plan. A més a més, es duu a terme el disseny d'instrumentació i control del procés, que permet verificar que els paràmetres del procés són correctes i garanteixen la seguretat i la qualitat del producte.
- Es dissenyen els principals equips necessaris per satisfer la producció, en aquest cas: el tanc d'emmagatzematge de la lactida, el sistema de bombeig, el reactor de polimerització, els bescanviadors de calor i el purificador del PLA. I es presenten els fulls d'especificacions dels equips.
- D'altra banda, es realitza un estudi de seguretat que inclou una anàlisi HAZOP, l'establiment de les zones ATEX, segons la normativa vigent, i la protecció d'equips a sobrepressions.
- Així mateix, es duu a terme un balanç mediambiental en què s'identifiquen els possibles residus que es poden produir i se cerca la normativa mediambiental a la qual està sotmesa la planta, el consum de recursos i la generació de gasos d'efecte hivernacle.
- Finalment, per comprovar la viabilitat del projecte, es fa un estudi econòmic que inclou el pressupost d'execució del projecte i l'avaluació global de la inversió.

2.3. Estudi bibliogràfic

Avui dia, una de les alternatives als plàstics convencionals que existeixen són els bioplàstics o biopolímers. Aquests podrien abastar totes les aplicacions dels plàstics ja que tenen propietats molt similars i estan fabricats a partir de matèries primeres naturals de forma sostenible. Segons la base de dades del mercat *European Bioplastics* (ref. 1), els bioplàstics representen l'1% de les 359 milions de tones de plàstics produïdes en el 2019; encara que aquest percentatge va en augment any rere any. Tanmateix, els plàstics biodegradables, inclòs el PLA, representen més del 55,5% (més d'1 milió de tones) de les capacitats mundials de producció de bioplàstics.

A més, els bioplàstics ofereixen més beneficis com la reducció de la petjada de carboni, instal·lacions més optimitzades o opcions addicionals de la gestió de l'aigua. És a dir, l'avantatge dels bioplàstics és la reducció de la dependència de la matèria primera fòssil limitada i l'emissió de gasos d'efecte hivernacle.

El prefix "bio" s'utilitza per a definir als materials plàstics que tenen un origen *biobased* i, molts són biodegradables. Un polímer *biobased* es aquell que s'obté, totalment o parcialment, d'un material biològic. El contingut *biobased* es determina segons el mètode del carboni 14 (CEN/TS 16137-ASTM 6866) que mostra la proporció del carboni 14 respecte al carboni total (ref. 2).

Un polímer biodegradable és aquell que, en determinades condicions ambientals i amb l'ajuda d'organismes vius, es degrada completament en compostos naturals com el diòxid de carboni o l'aigua. Quan un material es pot biodegradar, es diu que és compostable. El compostatge és un procediment que desenvolupen els processos naturals de descomposició biològica i s'obté majoritàriament diòxid de carboni i aigua. Un material compostable ha de ser biodegradable, però un material biodegradable no és necessàriament compostable. Per ser-ho, ha de complir la norma europea EN (US ASTM D6400-04): descomposició d'un 90% o superior en menys de sis mesos. (ref. 2)

El compostatge es pot dur a terme, per una banda, de manera domèstica: a temperatura ambient amb humitat i microorganismes i, per l'altra banda, a temperatura elevada (50-70°C) amb humitat alta i microorganismes.

A la següent figura estan classificats els polímers biodegradables, entre els quals es troben el PLA: àcid polilàctic, el PHA: polihidroxialcanoat, el PCL: policaprolactona, el PSBA: polisuccinat-co-adipat de butilè i el PBS: polisuccinat de butilè.

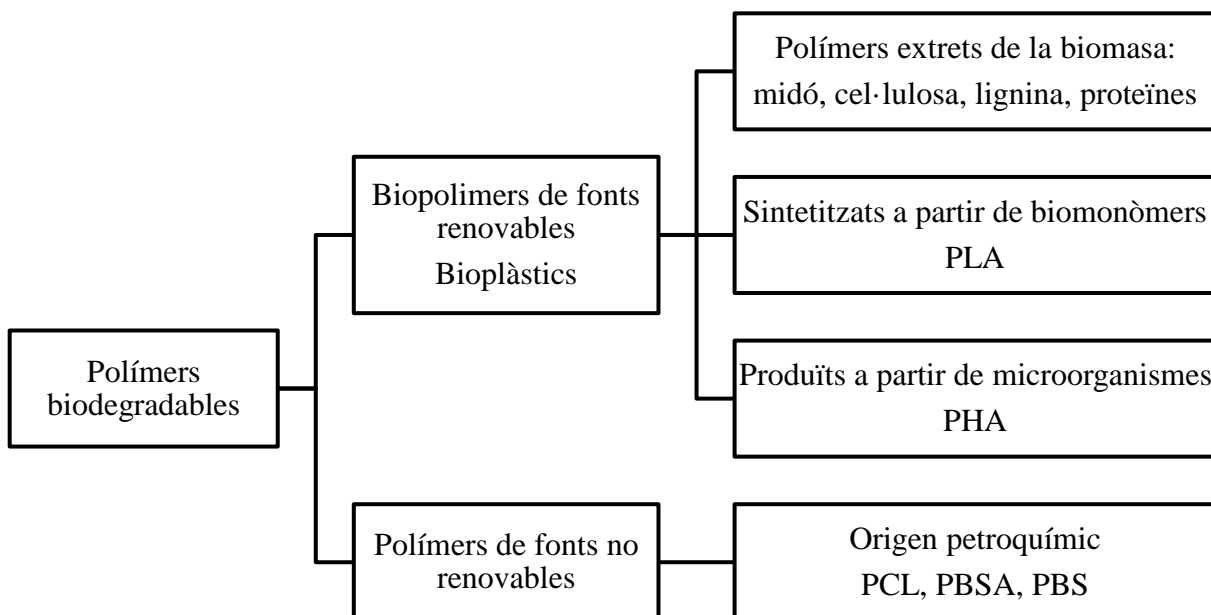


Figura 2.1. Classificació dels polímers biodegradables. (ref. 2)

A més d'aquests, hi ha un grup anomenat plàstics oxo-degradables que són plàstics convencionals, generalment PE: polietilè, als quals s'afegeixen uns additius que actuen de catalitzadors perquè es descomponguin amb acció de la llum, calor o UV (fotodegradables). Però, aquest material no es degrada sinó que es trenca en fragments més petits i no s'arriba a compostar, ja que no es degrada a diòxid de carboni o aigua.

Així doncs, d'una forma breu, la següent figura mostra el cicle de vida dels bioplàstics biodegradables:

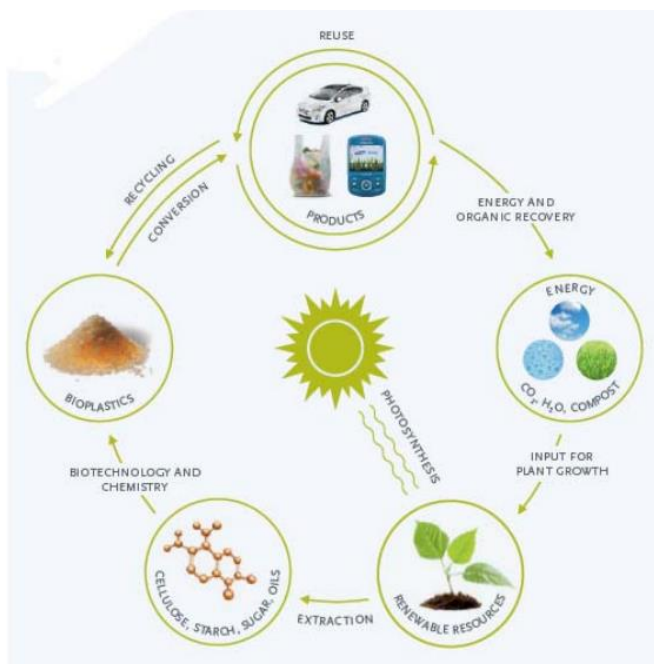


Figura 2.2. Cicle de vida dels bioplàstics biodegradables. (ref. 2)

En particular, els nous materials d'ErcrosBio estan basats en polièsters alifàtics *biobased*, biodegradables i compostables. Més concretament, l'ErcrosBio *L* està basada en el PLA: àcid polilàctic, que aquest s'obté per la polimerització de l'àcid làctic que prèviament s'ha obtingut per fermentació de la glucosa o la sacarosa.

2.4. Alternatives de procés

Existeixen diverses formes de produir els polímers amb base d'àcid làctic, generalment: polimerització per policondensació, per extensió de cadena i per apertura de l'anell (ref. 3, 4, 5). En la següent figura es mostren les tres rutes per la producció del PLA.

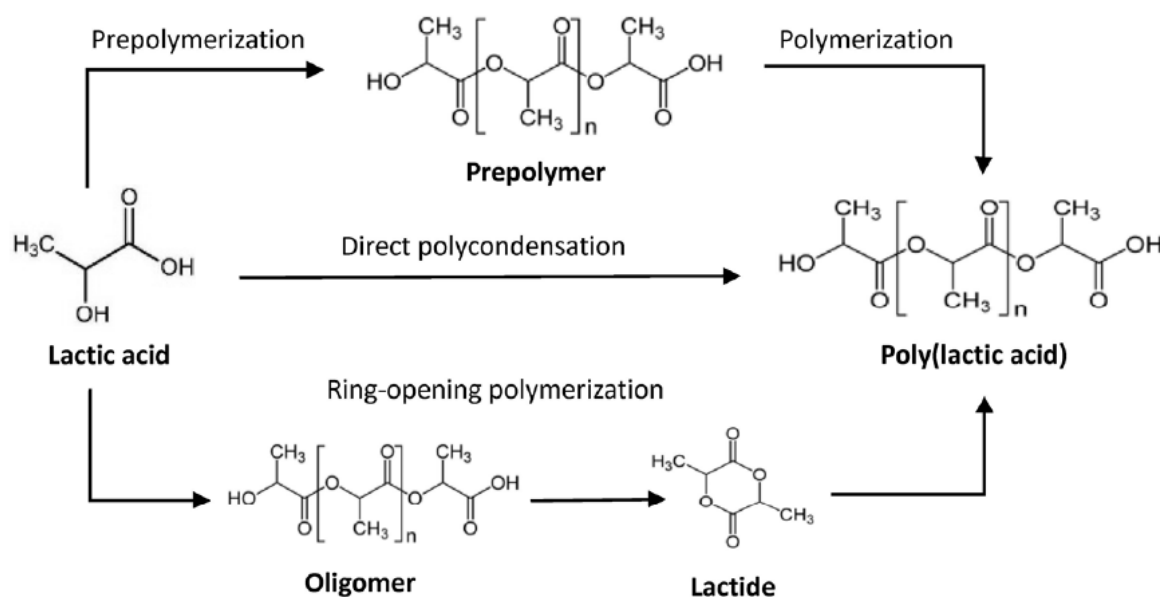
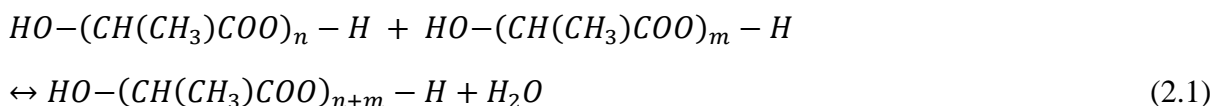


Figura 2.3. Rutes de producció de PLA a partir d'àcid làctic. (ref. 5)

2.4.1. Polimerització per policondensació

La polimerització per condensació consisteix en la producció de PLA mitjançant la reacció de grups hidroxil i carboxílic d'àcid làctic. Aquesta reacció provoca la condensació d'aigua i la formació de PLA. Es duu a terme segons la reacció següent:



On n i $m \geq 1$

L'eliminació de l'aigua propicia la formació de productes. Aquesta s'elimina a través d'un procés de destil·lació al buit.

Altrament, durant la policondensació també es donen altres reaccions secundàries no desitjades que produeixen un empitjorament de les propietats del polímer. Una de les que més afecten el procés és la reacció de transesterificació, que forma estructures d'anell, com la lactida que disminueix el pes molecular del producte. Una solució a aquest problema és la seva recirculació

al reactor i, preventivament per evitar aquestes reaccions secundàries, es manté el reactor per sota dels 200°C en la mesura que es pugui, ja que temperatures excessivament baixes dificulten l'eliminació de l'aigua a causa de l'alta viscositat de la mescla.

2.4.2. Condensació directa

La condensació directa per la producció del PLA segueix tres etapes principals: eliminació de l'aigua, policondensació de l'oligòmer i la policondensació en estat fos de PLA de pes molecular elevat.

En primer lloc, per tal de transformar l'àcid làctic a PLA es segueix una primera etapa d'eliminació de l'aigua. Aquesta es troba juntament amb l'àcid làctic en l'alimentació i el procés es pot realitzar per mitjà d'evaporadors comuns.

La següent etapa de policondensació de l'oligòmer consisteix en la transformació d'àcid làctic a PLA de baix pes molecular. Es duu a terme mitjançant processos de policondensació en evaporadors o alternativament en reactors agitats. L'àcid làctic no reaccionat es pot recuperar a partir d'una columna de rectificació o un condensador de reflux, entre d'altres.

La tercera etapa consisteix en la policondensació en estat fos. En aquesta etapa és imprescindible l'eliminació de l'aigua per tal de propiciar la policondensació i evitar també les reaccions de transesterificació. L'eliminació de l'aigua del PLA es realitza per mitjà d'una destil·lació al buit. I el procés de reacció s'ha de dur a terme en reactors que tinguin una gran capacitat de mescla per poder homogeneïtzar la massa i temperatura de la viscosa mescla, com podria ser un reactor de disc rotatori.

La segona i tercera etapa depenen altament de l'ús de catalitzadors per aconseguir un pes molecular i un rendiment elevats.

El polímer obtingut en aquest procés té un pes molecular baix a causa de la dificultat d'eliminació de l'aigua, en especial quan la barreja de reactius i productes augmenta la seva viscositat. Les característiques del PLA depenen del pes molecular i de la puresa del producte final, entre els aspectes més importants. Així, alterant les característiques del PLA, el preu pot augmentar i també el nombre de possibles aplicacions.

Avui en dia, la policondensació directa és la ruta de reacció més barata, però no és comunament utilitzada. No es pot controlar l'estereoisomeria i, per tant, no es pot produir un estereoisòmer específic.

2.4.3. Policondensació en estat sòlid

El desavantatge del limitat pes molecular i baix rendiment que s'aconsegueix en la condensació directa, pot millorar-se mitjançant la policondensació en estat fos/sòlid, que permet incrementar el pes molecular.

Aquest procediment segueix les mateixes etapes que la condensació directa per arribar a la policondensació i una quarta etapa. Aquesta última consisteix a refredar el PLA fos fins a temperatures inferiors al seu punt de fusió, que comporta la formació de partícules sòlides. Les

partícules sòlides estan subjectes a un procés de crist·lització, de manera que la mescla té dues fases: la crist·lina i l'amorfa. El procés inclou catalitzadors metàl·lics capaços d'incrementar la velocitat de reacció en la policondensació sòlida i fosa.

Aquesta ruta produeix un PLA que té un pes molecular més elevat que el fabricat per policondensació directa però inferior a l'obtingut per altres tècniques. Les temperatures del procés són més baixes, si es compara amb altres vies de fabricació de PLA. No obstant això, la velocitat de reacció és baixa i això provoca que els temps de reacció s'allarguin.

2.4.4. Deshidratació en solució azeotròpica

En la deshidratació azeotròpica es segueixen les mateixes etapes que en la condensació fosa de l'àcid làctic, amb l'excepció que la policondensació es duu a terme en solució. Això permet que l'eliminació d'aigua sigui més fàcil i, conseqüentment, permet obtenir el PLA amb una massa molecular més elevada. Per altra banda, el dissolvent s'ha d'eliminar de l'aigua produïda en la reacció, mitjançant agents assecants. Com a alternativa es podrien afegir solvents orgànics durant la reacció, fet que permetria assolir un pes molecular molt elevat del producte, però és econòmicament molt car i mediambientalment molt perjudicial.

Aquest tipus de polimerització es fa servir per Mitsui Toatsu Chemicals, Inc. (ref. 6) per produir PLA d'alt pes molecular. El procés que segueixen és la producció de PLA per condensació amb continuada eliminació d'aigua per destil·lació azeotròpica. El procés inclou la reducció de la pressió de l'àcid làctic per 2-3 hores a 130°C, que permet l'eliminació de l'aigua pràcticament en la seva totalitat. S'afegeix el catalitzador juntament amb ester difenílic. Mitjançant un tamís molecular i, durant 30-40 hores a 130°C, es recupera el dissolvent i s'obté el producte aïllat.

Tot i que la ruta produeix un PLA d'alt pes molecular, el fet de requerir dissolvents i un gran nombre d'equips, fa que el control del procés sigui més complex. El cost de fabricació és elevat i la baixada de marges provoca la pèrdua de competitivitat del mercat. A més, el dissolvent és particularment difícil d'eliminar del producte final. En conseqüència, aquest és el procés menys atractiu des d'un punt de vista econòmic i mediambiental.

2.4.5. Polimerització per extensió de cadena

Consisteix en l'ampliació de la cadena polimèrica del PLA mitjançant la unió de prepolímers d'àcid làctic. Aquest mètode es fa servir més per millorar les propietats mecàniques del PLA, que com a mètode directe de producció d'aquest. Les vies més utilitzades són l'extensió de cadena a través de diisocianats, bis-2-oxazolina, la unió dual (combinant totes dues anteriors) i per bis-epoxies.

Donat que no és considerada ben bé una tècnica de producció de PLA a partir de lactida, no es tindrà en compte a la taula comparativa entre els diferents mètodes de síntesi de polímers per l'elecció de la ruta polimèrica.

2.4.6. Polimerització d'apertura d'anell

La polimerització d'apertura d'anell va ser primerament estudiada per Carothers i el mètode inclou tres diferents etapes: la policondensació, la producció de la lactida i l'apertura d'anell. En aquest procediment és imprescindible el control de la puresa de la lactida, que pot disminuir el rendiment de la polimerització i el pes molecular del polímer. També, és crucial evitar que el polímer final contingui monòmers residuals de lactida, perquè pot causar problemes durant el processat i pot alterar les propietats dels productes finals.

El major productor de PLA d'alt pes molecular en l'actualitat, NatureWorks LLC, segueix el mètode patentat de Cargill-Dow (ref. 4), representat en la Figura 2.4. Aquest procés combina un procés lliure de dissolvents i la destil·lació per aconseguir un pes molecular controlat del PLA mitjançant un procés de diverses etapes. En primer lloc, l'àcid làctic es condensa per formar prepolímer de PLA de baix pes molecular. Seguidament, s'hi aplica un procés de despolimerització, que propicia la formació de la lactida, que es purifica per destil·lació. Finalment, es produeix el PLA de pes molecular controlat per mitjà de l'apertura d'anell de la lactida i la posterior polimerització.

L'última etapa de reacció depèn altament del tipus de catalitzador que es fa servir. En un estudi comparatiu dels diferents tipus de catalitzadors, es va arribar a la conclusió que l'octoat d'estany com a catalitzador podria aportar un pes molecular del producte final elevat. Més detalladament, el catalitzador s'aplica al 0,04% en pes i es fa servir NIL (N6-(1-iminoetil)-L-lisina, dihidroclorur) com a dissolvent. El reactor ha de treballar en condicions de pressió atmosfèrica, a 170 - 180 °C, si es duagués a terme en un reactor discontinu, la reacció es duria a terme en dues hores, s'aconseguiria un rendiment del 91-93% i un alt pes molecular. (ref. 5)

La ruta d'apertura d'anell és el procés de producció més utilitzat actualment. Com ja s'ha comentat, l'alt pes molecular i la puresa del PLA obtingut, el fa molt apreciat en el mercat. El procés té un rendiment molt alt amb una generació mínima de residus i una utilització màxima de matèries primeres. Es pot modificar fàcilment la qualitat del producte canviant les condicions.

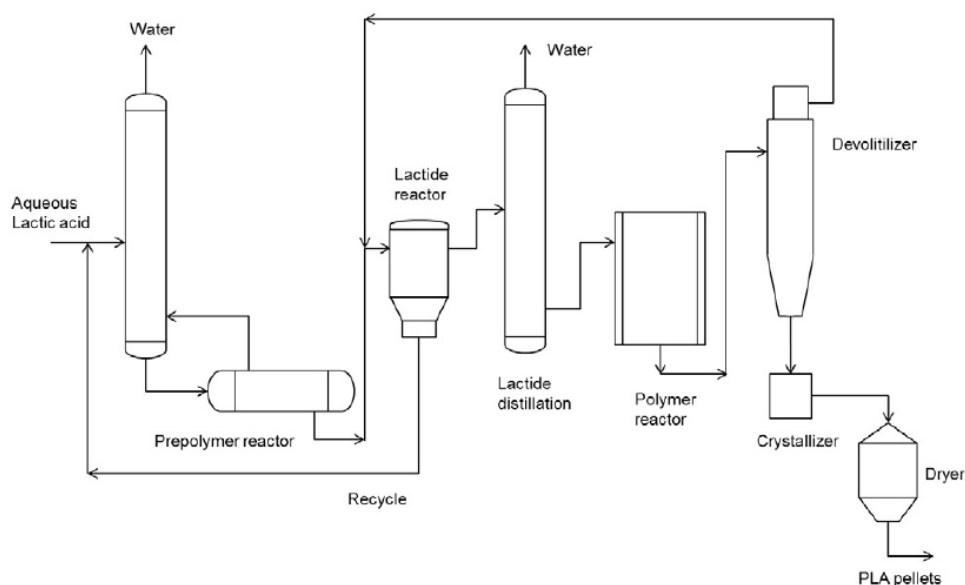


Figura 2.4. Procés de producció comercial de PLA dut a terme per NatureWorks LLC, adaptat per Auras et al (ref. 7) i Vink et al. (ref. 8).

2.4.7. Comparativa entre els diferents mètodes de síntesi de polímers

Als apartats anteriors s'han estudiat diverses rutes de reacció per a la producció de PLA. La selecció de la ruta més adient passa per una anàlisi acurada de diversos aspectes com són l'econòmic (estimació de la inversió i el valor del producte), l'energètic (l'ús i recuperació de l'energia), els relacionats amb la seguretat en el procés, la sostenibilitat mediambiental, la viabilitat tècnica del procés a escala industrial i les condicions d'operació i requeriments de productes.

A la taula següent es representa el comportament de cada una de les tècniques analitzades davant dels criteris d'avaluació proposats.

Taula 2.1. Comportament de les tècniques de polimerització de la lactida.

Criteris d'avaluació	Policondensació directa	Policondensació en estat sòlid	Deshidratació azeotròpica	Polimerització d'apertura d'anell
Econòmic	↑	~	↓	↑
Energètic	~	↓	↓	↑
Seguretat	↑	~	↓	↑
Medi ambient	↑	~	↓	↑
Viabilitat tècnica	↑	↑	↑	↑
Condicions d'operació	↓	~	~	↑

↑ → Tècnica que presenta avantatges en el criteri d'avaluació.

↓ → Tècnica que presenta desavantatges en el criteri d'avaluació.

~ → Tècnica que no presenta clars avantatges ni desavantatges.

La ruta de reacció escollida és la polimerització d'apertura d'anell. El motiu principal d'aquesta selecció és la seva capacitat per fabricar un PLA d'alt pes molecular i alta puresa. L'alt rendiment del procés i l'existència de diversos equips i tecnologies disponibles el fan viable tècnicament. És cert que no es tracta del procés que representa més baixa inversió econòmica però, en produir un PLA de més qualitat, el producte fabricat tindrà un preu més alt al mercat. Des del punt de vista de rendiment energètic, és cert que el fet de treballar a altes temperatures representa un consum elevat però part d'aquesta energia és recuperable.

2.4.8. Reactor

Segons la bibliografia consultada (ref. 23), s'utilitzarà un de tipus PFR donat que és el més utilitzat actualment en la indústria per aquest tipus de producció.

2.4.9. Evaporador

Per separar les restes de lactida del corrent de PLA, cal afegir un separador, en aquest cas, un evaporador.

En la següent taula es mostren els evaporadors més comuns (ref. 9):

Taula 2.2. Característiques de treball dels tipus d'evaporador.

Tipus d'evaporador	Neteja	Alta capacitat	Sòlids o cristalls	Embrutiment	Escuma	Sensibilitat temperatura	Viscós
Batch	X						X
Tub horitzontal	X						
Tub vertical curt	X						
Tub vertical llarg	X	X					
Pel·lícula ascendent	X	X			X		
Pel·lícula descendent	X	X	X		X	X	
Circulació forçada	X	X	X	X	X		
Plaques	X	X	X	X	X	X	X
Pel·lícula fina agitada	X	X	X	X	X	X	X

L'opció més econòmica per la seva baixa capacitat és l'evaporador Batch. És el més simple, econòmic i pot cobrir un gran nombre de productes amb variabilitat de característiques i condicions d'operació. Tot i que requereix més temps de neteja però amb un sistema de manteniment menor.

On la capacitat alta és requerida, s'utilitza un procés continu i els evaporadors tubulars són la primera opció. El rendiment, la viscositat, el contingut de sòlids, la tendència a l'embrutiment i l'escuma determinen el tipus d'evaporador.

En general, els de circulació forçada són més cars que els de tub vertical i horitzontal, però en alguns casos el coeficient de transferència de calor més elevat permet utilitzar un evaporador prou petit perquè la inversió sigui igual o inferior.

Per acabar, quan el producte és complex de tractar, a causa de la sensibilitat a temperatures extremes, a la gran viscositat, a la gran quantitat de sòlids o a la gran tendència a embrutar-se, la tecnologia emprada és un evaporador de plaques o un de pel·lícula fina agitada.

Per una banda, l'evaporador de plaques és més adequat en extraccions o eliminacions de monòmers dels polímers encara que un inconvenient important és la gran àrea empaquetada.

Per l'altra, l'evaporador de pel·lícula agitada s'empra en purificacions químiques orgàniques sensibles, recuperacions de recursos valuosos de corrents residuals o devolatilització de termoplàstics, resines acríliques, entre d'altres.

En aquest cas, s'utilitzarà un evaporador de pel·lícula fina agitada, ja que en aquest procés s'obté un polímer i s'adequa millor a les seves característiques.

A més, aquest separa ràpidament els components volàtils dels no volàtils mitjançant una transferència de calor indirecta i una agitació mecànica a condicions controlades. Les condicions són, normalment, de buit, per a maximitzar la diferència de temperatura i així maximitzar també l'extracció i la recuperació dels volàtils.

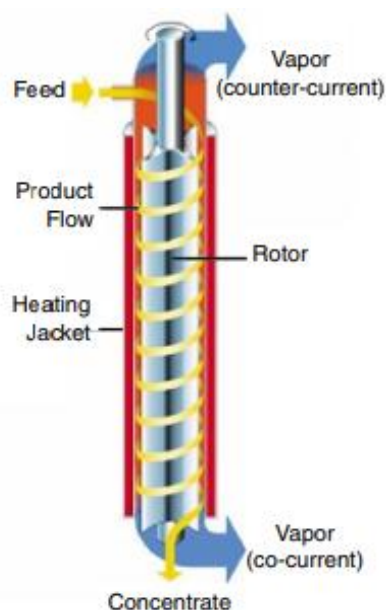


Figura 2.5. Evaporador de pel·lícula agitada. (ref. 9)

2.5. Planificació inicial del projecte

Per organitzar correctament el projecte en el temps es va generar un diagrama de Gantt amb la distribució temporal de les diferents tasques. Es va optar per fer-ho mitjançant el programa Microsoft Project. El diagrama es troba en l'annex A.

3. BASES PEL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

En aquest capítol es disposen totes les dades i criteris de disseny necessaris per desenvolupar el projecte. Inclou les especificacions de l'alimentació i dels productes. També integra els requisits pel desenvolupament de l'enginyeria bàsica de la planta i els criteris de disseny a tenir en compte.

3.1. Bases de disseny

Per poder completar el disseny de la producció i equips, prèviament s'ha realitzat un estudi de les diferents opcions de matèries primeres que permet determinar la millor opció segons les seves característiques. D'altra banda, s'ha cercat informació de les especificacions tant de matèries primeres com del producte. I també s'han fixat les condicions de rebuda de la lactida i les condicions del producte que es volen aconseguir.

3.1.1. Especificacions de l'alimentació

El procés que es duu a terme en aquest projecte comença un cop acabada la purificació de la lactida per mitjà d'una destil·lació. Així doncs, la lactida que es rep es troba en estat fos i a temperatura de fusió. La lactida presenta diverses estructures diastereomèriques: L-lactida, D-lactida, rac-lactida i meso-lactida. Les diferències estructurals es poden apreciar en la següent figura:

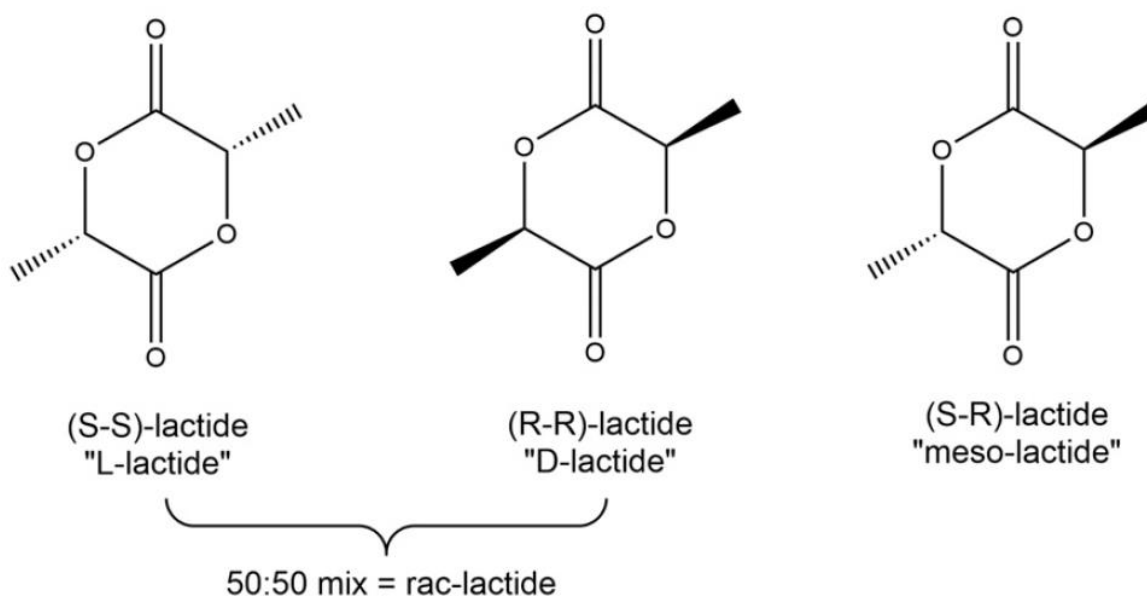


Figura 3.1. Estructures diastereomèriques de la lactida. (ref. 4)

Encara que les diferències entre els tipus de lactida puguin semblar mínimes estructuralment, les propietats entre ells poden variar significativament. A continuació, en la taula 3.1 es presenten algunes de les propietats físiques i químiques dels diferents tipus de lactides.

Taula 3.1. Propietats físiques i químiques de les lactides. (ref. 3, 10)

	D-lactida	L-Lactida	meso-lactida	rac-lactida
CAS number	13076-17-0	4511-42-6	13076-19-2	116559-43-43
Pes molecular (g/mol)	144,12	144,12	144,12	
Punt de fusió (°C)	96-97	96	53	125
Punt d'ebullició (°C)		255 (1013 mbar)		142 (20 mbar)
Entalpia de fusió (J/g)		146	128	185
Entalpia de vaporització (kJ/mol)		63		
Densitat en estat sòlid (g/mL)		1,32-1,38	1,32-1,38	
Viscositat en estat líquid (mPa·s)		2,71 (110°C); 2,23 (120°C); 1,88 (130°C)		

Pel procés que es vol dur a terme, és imprescindible aconseguir L-lactida en un percentatge molt elevat (>93%), ja que com més gran sigui la puresa estereoquímica de la barreja de lactida, més gran és la puresa estereoquímica del producte. En concret, es busca aconseguir L-lactida perquè aquest isòmer permet la producció de PLA en un rang més gran de pes molecular. Sovint, la producció de L-lactida pot derivar en la producció de D-lactida i meso-lactida. Tot i que també es podria fabricar PLA mitjançant aquests isòmers, s'ha d'evitar al màxim el seu contingut, perquè afecten en el deteriorament dels paràmetres de cristal·linitat i de biodegradabilitat. (ref. 4)

Així doncs, les especificacions de l'alimentació són definides pel contingut de L-lactida, el contingut ha de ser superior al 93% i, idealment sobre el 99%. En aquestes condicions, les propietats de la lactida d'alimentació serien les de la següent taula:

Taula 3.2. Propietats físiques i químiques de L-Lactida que alimenta el procés.

	Unitats	Dades
Color		Blanc
Olor		Inodor
Pes molecular	g/mol	144
Punt de fusió	°C	98,7
Temperatura d'autoignició	°C	388
Flash point (ASTM D 1929)	°C	154
Densitat en estat sòlid (20°C)	g/mL	1,34
Densitat en estat líquid (100°C)	g/mL	1,35 *
Solubilitat en aigua		Soluble
pH		7
Viscositat dinàmica	Pa·s	$3,88 \cdot 10^{-3}$ *
Conductivitat tèrmica (100°C)	W/(m·K)	0,1911 *
Calor específic (100°C)	kJ/(kg·K)	1,598 *
Entalpia específica (100°C)	kJ/kg	-5258,2 *
Tensió superficial (100°C)	N/m	0,0522 *

* Dades obtingudes a partir del simulador Aspen +.

Aquestes i d'altres propietats de la lactida poden consultar-se en la fitxa de seguretat del reactiu disposada en l'annex B.

3.1.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei

Per començar, l'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una planta d'una capacitat de 5000 t/any de PLA a partir de Lactida, ja que anteriorment, s'ha fet un estudi de mercat d'aquest producte l'any 2019.

El factor de servei considerat serà de 8000 h/any i/o 91,8% d'utilització. La resta del temps estarà dedicat a feines de manteniment, de proves de legislació, de neteja, entre d'altres. Això significa una capacitat de disseny de 625 kg/h o, el que és el mateix, 15 t/dia.

Per acabar, s'ha definit la flexibilitat operativa des de 0 fins a 5000 t/any de PLA.

3.1.3. Especificacions del producte

Taula 3.3. Característiques generals del PLA amorf, amb un rati 96:4 L:D (ref. 11).

Característiques	Unitat	Valor
-Físiques:		
Pes molecular	g/mol	66,0
Gravetat específica		1,27
Densitat en estat sòlid	g/cm ³	1,25
Densitat en estat fos	g/cm ³	1,07
Temperatura de transició vítria	°C	55
Temperatura de fusió	°C	165
Calor específica (Cp):		
190°C	J/kg·°C	2060
100°C	J/kg·°C	1955
55°C	J/kg·°C	1590
Conductivitat tèrmica:		
190°C	W/m·°C	0,195
109°C	W/m·°C	0,197
48°C	W/m·°C	0,111
-Òptiques:		
Transmissió de llum UV:		
190-220 nm	%	<5
225-250 nm	%	85
>300 nm	%	95
Transmissió de llum visible	%	95
Color		
L*		90,6 ± 0,21
a*		-0,99 ± 0,01
b*		-0,50 ± 0,04
-Mecàniques:		
Resistència a la tracció	MPa	59
Allargament al trencament	%	7,0
Mòdul elàstic	MPa	3500
Mòdul de cisalla	MPa	1287
Coefficient de Poisson		0,360
Resistència a la fluència	MPa	70
Resistència a la flexió	MPa	106
Impacte <i>unnotched izod</i>	J/m	195
Impacte <i>notch izod</i>	J/m	26
Duresa de Rockwell	HR	88
Temperatura de desviació de calor	°C	55
Penetració de Vicat	°C	59
Resistència a la tracció final	MPa	73
Percentatge d'elongació	%	11,3
Mòdul de Young	MPa	1280
-Reològiques		
(Cross WLF Viscosity Model):		
n		0,250

Tau	Pa	100.861
D1	Pa-s	$3,32 \cdot 10^9$
D2	K	373
D3	K/P	0
A1		20,2
A2	K	51,6

Taula 3.4. Permeabilitat de vapor d'aigua en diferents tipus de PLA i temperatures (ref. 12).

Tipus de PLA	Unitats	Permeabilitat de vapor d'aigua		
		20°C	40°C	50°C
L:D (100:0), cristal·linitat: 39%	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{sPa}$	1,6	1,0	2,0
L:D (100:0), amorf	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{sPa}$	1,9	0,8	2,1
L:D (95:5)	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{sPa}$	1,4	2,2	2,1
L:D (50:50)	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{sPa}$	2,2	8,7	6,1

Taula 3.5. Permeabilitat de diferents gasos a través del PLA, L:D 96:4, a 30°C (ref. 13, 14, 15).

Gasos	Unitat	Permeabilitat
N ₂	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{scm Hg}$	$1,30 \cdot 10^{-10}$
O ₂	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{scm Hg}$	$3,30 \cdot 10^{-10}$
CO ₂	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{scm Hg}$	$10,2 \cdot 10^{-10}$
CH ₄	$\text{cm}^3\text{cm}/\text{cm}^2\text{scm Hg}$	$1,00 \cdot 10^{-10}$

3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el Límit de Bateria

La matèria primera del límit de bateria és l'entrada de lactida al tanc i els productes són la sortida de PLA de l'evaporador i la sortida de lactida de l'evaporador, ja que la recirculació queda fora de l'abast de l'empresa.

Taula 3.6. Condicions de l'entrada de lactida al tanc.

Estat físic	Líquid
Cabal màssic	625 kg/h
Temperatura	140 °C
Pressió	1,20 bara

Taula 3.7. Condicions de la sortida del PLA de l'evaporador.

Estat físic	Líquid
Cabal màssic	625 kg/h
Temperatura	220 °C
Pressió	1,10 bara

Taula 3.8. Condicions de la sortida de la lactida de l'evaporador.

Estat físic	Gas
Cabal màssic	32,9 kg/h
Temperatura	220 °C
Pressió	0,30 bara

Taula 3.9. Condicions de l'entrada de lactida recirculada al tanc.

Estat físic	Líquid
Cabal màssic	32,9 kg/h
Temperatura	140 °C
Pressió	1,20 bara

A més, les *utilities* utilitzades als diferents equips també estan fora de l'abast de la planta.

3.1.5. Normes de disseny a aplicar

Pel càlcul de la temperatura de disseny es farà servir el següent criteri:

- Temperatura de disseny = Temperatura d'operació màxima +15°C.
NOTA: Si la suma és inferior a 60°C, s'utilitzarà com a temperatura de disseny 60°C.

Pel càlcul de la pressió de disseny:

- Quan la pressió d'operació sigui igual o menor a 10 barg:
Pressió de disseny = Pressió màxima operativa + 1 barg.
- Quan la pressió d'operació màxima sigui major a 10 barg:
Pressió de disseny = 110% de la pressió màxima operativa.
- En equips que disposin de vàlvula de ruptura:
Pressió de disseny = Pressió d'apertura d'aquests elements.
- Per equips que puguin treballar al buit:
Pressió de disseny = Buit absolut.

3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

3.2.1. *Utilities* disponibles

En aquest subapartat es tracten tots els serveis i les respectives característiques dels que disposa la planta.

3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats

Taula 3.10. Nivells de vapor en el procés i respectives característiques.

Tipus de Vapor	Pressió (barg)	Qualitat
Alta pressió (HS)	29	Saturat
Mitja pressió (MS)	12	Saturat
Baixa pressió (LS1)	8	Saturat
Baixa pressió (LS2)	2,0 – 2,4	Saturat

3.2.1.2. Condensat: especificacions de la xarxa

- Condensats d'alta pressió (CH): pressió màx. 29 barg.
- Condensats de mitja pressió (CM): pressió màx. 12 barg.
- Condensats de baixa pressió (CL1): pressió màx. 8 barg.
- Condensats de baixa pressió (CL2): pressió màx. 2,4 barg.

3.2.1.3. Energia elèctrica: nivells de tensió i aplicacions

Taula 3.11. Característiques de l'energia elèctrica segons els tipus d'elements elèctrics.

Element	Voltatge (V)	Freqüència (Hz)	Nombre de fases
Motors de potència ≤ 200 kW	380	50	3
Motors de potència > 200 kW	6000	50	3
Enllumenat	220	-	1

3.2.1.4. Aigües: tipus, usos i qualitats.

Taula 3.12. Aigua de torre (TW).

Temperatura d'entrada	27 °C màx. (18 °C a l'hivern)
Temperatura màxima de sortida	37 °C
Pressió d'entrada (cota 0)	8 barg màx.
Pressió de càrrega permesa	0,7 bar
Qualitat	Aigua tova amb anticorrosius i antiincrustants
PH	7,8 – 8,2

Taula 3.13. Aigua freda (CHW).

Temperatura d'entrada	5 °C
Temperatura màxima de sortida	8 °C
Pressió d'entrada (cota 0)	5 barg
Qualitat	Aigua desmineralitzada amb additius

Taula 3.14. Aigua d'addició continuada a reactors ACA (CIW).

Pressió	18 barg
Temperatura	5 °C
Qualitat	Aigua desmineralitzada

Taula 3.15. Aigua de tancaments (SW).

Pressió	18 barg
Temperatura	5°C
Qualitat	Aigua desmineralitzada

Taula 3.16. Aigua desmineralitzada de procés (PW).

Pressió	7,2 barg
Temperatura	45-50°C (màx. = 70 °C)
Qualitat	Aigua desmineralitzada

Taula 3.17. Aigua de xarxa desmineralitzada (ADW1).

Pressió	6,2 barg
Temperatura	Ambient
PH	5-6
Clors	2,3 ppm
SiO ₂	0,2 ppm
Conductivitat	1,5-20 µS
Sòlids totals	7,8 ppm

Taula 3.18. Aigua desmineralitzada a pressió (ADW2).

Pressió	7 barg
Temperatura	Ambient
PH	5-6
Clors	2,3 ppm
SiO ₂	0,2 ppm
Conductivitat	1,5-20 µS
Sòlids totals	7,8 ppm

Taula 3.19. Aigua crua (CW).

Pressió	6 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua de l'Ebre

Taula 3.20. Aigua contra incendis (FW).

Pressió	9 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua crua

· Aigua potable (DW)

3.2.1.5. Combustibles: tipus i especificacions

Taula 3.21. Gas natural (NG).

Pressió	2,5 barg
Temperatura	> 8°C
Poder calorífic inferior	10300 kcal/Nm ³
Qualitat	90,6% Metà
	7,90% Età
	0,50% Nitrogen

3.2.1.6. Aire: especificacions i aplicacions

Taula 3.22. Aire d'instruments (IA).

Pressió màxima	6 barg
Pressió mínima	4 barg
Temperatura	35-40 °C
Punt de rosada	-10 °C
Qualitat	Aire sec

Taula 3.23. Aire de planta (PA)

Pressió màxima	6 barg
Pressió mínima	4 barg
Temperatura	35-40 °C
Qualitat	Aire humit

Aire respirable (RA)

3.2.1.7. Nitrogen: especificacions i aplicacions

Taula 3.24. Nitrogen de Mitja Pressió (MIG).

Pressió màxima	14 barg
Temperatura	Ambient
Punt de rosada	-40 °C
Puresa	99,99%
Qualitat	Lliure d'olis

Taula 3.25. Nitrogen de Baixa Pressió (LIG).

Pressió màxima	8 barg
Temperatura	Ambient
Punt de rosada	-40 °C
Puresa	99,99%
Qualitat	Lliure d'olis

· Nitrogen d'Emergències: Procedents d'ampolles

3.2.2. Preus de les energies

Taula 3.26. Preus de les energies.

Gas natural	0,200 €/Nm ³
Energia elèctrica	0,045 €/kWh
Vapor	0,015 €/kg
Nitrogen	0,145 €/Nm ³
Aire	0,015 €/Nm ³
Aigua Crua	0,385 €/m ³
Aigua Desmineralitzada	1,385 €/m ³
Aigua Refrigeració	0,035 €/m ³

3.2.3. Dades de l'emplaçament

El projecte de la planta de producció de PLA es realitzaria a Ercros Vilaseca II. Està situada al polígon sud de Tarragona, la direcció concreta serà: Partida Planisas, 714, 43480 Vila-seca, Tarragona (41°06'20,2''N 1°09'50,8'').

En la següent figura es mostra l'emplaçament exacte del projecte:



Figura 3.2. Emplaçament del projecte, dins dels terrenys d'Ercros Vilaseca II.

3.2.3.1. Paràmetres climàtics, pluviomètrics i sísmics

Les dades climàtiques són les següents:

- Pressió baromètrica de 740-780 mmHg.
- Temperatura de l'aire: màxim 36°C, mínim -5°C i mitjana anual 16°C.
- Humitat relativa de 20-98%.

Taula 3.27. Vents.

	h < 30m	P=100 kg/m ²
	h > 30m	P = 125 kg/m ²
Pressió	Freqüència > 104km/h	20 dies/any
	Velocitat màxima	130-140 km/h
	Direcció predominant SE a NO i NO a SE (el mateix dia)	
Càrrega per nevades	40 kg/m ²	
Precipitacions	Mitja anual	515 L/m ²
	Màxim	64 L·m ² /h
Corrosió extrema	No existeixen requeriments especials (ambient industrial)	
Dades sísmiques	MSK grau VI	

3.2.3.2. Elevació i estructura del terreny

Elevació de 23 m per sobre el nivell del mar i amb una capacitat de càrrega de 2 kg/cm².

3.2.4. Normes i codis de disseny oficial:

Per dissenyar la planta s'han seguit unes normes i codis de disseny. Aquests es disposen en els següents subapartats segons els elements i equips de la planta.

3.2.4.1. Recipients

Tancs de baixa pressió model API 620. Recipients a pressió model ASME VIII div.1. Intercanviadors de calor model TEMA R (si es aplicable).

3.2.4.2. Canonades

Model ASTM ANSI B31-3.

3.2.4.3. Equips dinàmics

Les bombes o compressors, entre d'altres, model DIN o segons els estàndards del subministrador per a bombes especials.

3.2.4.4. Instrumentació

Model API 550 e ISA.

3.2.4.5. Materials aïllants

Taula 3.28. Materials aïllants segons la temperatura.

Temperatures superiors a 60°C	Es requereix com a mesura de protecció personal o aïllament de calor d'acord amb els requeriments del procés
Temperatures iguals o inferiors a 60°C	No requereixen aïllament, excepte quan el mateix procés ho requereixi
Temperatures iguals o inferiors a 12°C	Aïllament pel fred

3.2.4.6. Altres

Vàlvules model DIN. Brides model DIN. Agitadors estàndards del subministrador. Material elèctric model CENELEC segons el reglament de baixa tensió i model API 505 que ha de ser utilitzat com a principi de classificació d'àrees i selecció d'equips segons la classificació de l'àrea de classe 1 i zona 2. Obra civil model DIN segons els reglaments espanyols.

3.2.5. Sistema d'unitats

Excepte en casos específics, s'utilitzarà com a unitats el sistema mètric internacional S.I.

Taula 3.29. Unitats segons el S.I.

Longitud	mm o m
Volum	m ³
	Líquids: kg/h, t/h i m ³ /h
Cabal	Vapor: kg/h i t/h
	Gasos: Nm ³ /H (en condicions estàndard 0°C i 1013 mbar gas sec)
Temperatura	°C
Pressió	barg i mm columna d'aigua
Viscositat	cP
Calor	kcal
Energia	kcal
Potència	kcal/h, W i kW

3.2.6. Codificació dels equips del procés

Els equips s'identificaran utilitzant el següent codi: X 0 0 00 AB.

- El primer caràcter alfabètic farà referència al tipus d'equips segons la llista que es presenta a continuació a la taula 3.30.
- El segon dígit correspon a un caràcter numèric que fa referència a la unitat a la que pertany l'equip. En el nostre cas, serà 5 perquè pertany al número de la planta de PLA.
- El tercer caràcter també és de tipus numèric i, fa referència a la secció que es troba l'equip. En el nostre cas, es farà referència a la secció 5 ja que també fa referència a la planta de PLA.
- Els dígits 4 i 5 fan referència a un número de sèrie consecutiu de la llista que es presenta a continuació.
- L'últim caràcter es fa servir per a identificar equips redundants. En el nostre cas, distingint segons un caràcter alfabètic (A, B, C, ...).

Taula 3.30. Codificació dels equips.

Tipus d'equip	Codi	Nº de sèrie
Agitador	AG	El mateix que el tanc
Ventilador/Compressor	C	A partir del 12
Intercanviador de calor	E	A partir del 33
Filtre	F	A partir del 17
Mesclador	MZ	A partir del 00
Bomba	P	A partir del 46
Reactor	R	A partir del 04
Columna	T	A partir del 00
Tanc	TK	A partir del 53
Separador	S	A partir del 23
Altres	X	A partir del 00

- Identificació dels embranques:

El codi dels embranques dels diferents recipients es compon d'una lletra seguida d'un número. La lletra fa referència al servei mentre que el número distingeix els embranques dedicats al mateix servei. Per exemple: A1, A2 i A3 serien els codis de tres embranques d'un tanc dedicats a entrades de procés o serveis.

- A- Entrada de producte (procés o serveis).
- B- Sortida de producte (procés o serveis).
- C- Embranques compartits per a diferents serveis.
- E- Sistema de ventilació.
- H- Boques d'home i boques de mà.
- J- Preses d'anàlisi (PH).
- L- Sobreeixidor.
- N- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de nivell.
- P- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de pressió.
- S- Presa de mostra.
- T- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de temperatura.
- V- Drenatge.
- W- Suports.
- X- Altres.

- Identificació de les línies:
 - Les línies s'identificaran segons el codi compost per sis grups de caràcters: 100 TW 01 5 02 F42.
 - El primer grup fa referència al diàmetre de la canonada en mm.
 - El segon correspon al codi del fluid.
 - El tercer grup pertany al número de secció, en el nostre cas, sempre 01.
 - El quart al número de PID.
 - El cinquè és un número de sèrie de la línia dins del PID.
 - L'últim correspon a l'especificació de la línia.
- Identificació de les vàlvules:
 - Es compon de quatre caràcters: B W A 3''.
 - El primer fa referència al tipus de vàlvula.
 - El segon al tipus de connexió.
 - El tercer és una lletra identificadora.
 - L'últim correspon al diàmetre de la vàlvula en polsades.
- Identificació d'instruments:
 - Es compon també de quatre grups de caràcters: TIC 5 0 70.
 - El primer caràcter indica el tipus d'instruments que es tracta.
 - El segon distingeix entre un instrument de procés: 5 o de serveis: 6.
 - El tercer a la secció a la qual pertany l'instrument, en el nostre cas serà el 0, ja que fa referència a les instal·lacions que donen servei als quatre polimeritzadors.
 - L'últim grup de dos números indiquen un número de sèrie que estarà comprès entre el 50 i el 99.
- Identificació de motors elèctrics:
 - Els motors s'identificaran amb tres grups de caràcters: P M 0101.
 - El primer caràcter fa referència al tipus d'equip.
 - El segon és sempre la lletra M que indica que és un motor.
 - Els quatre caràcters numèrics finals fan referència a l'ítem de l'equip.

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

En aquest capítol es tracta el disseny de la planta de producció de PLA. Inclou des dels diagrames principals fins al disseny d'equips i les corresponents fitxes d'especificacions.

4.1. Elaboració de diagrames

S'han elaborat els principals diagrames del procés mitjançant el programa AutoCAD. Aquests permeten tenir una visió clara del procés que es vol seguir, de les característiques del procés, els equips, les línies, les condicions d'operació i els instruments de control necessaris.

4.1.1. Diagrama de blocs: disseny conceptual

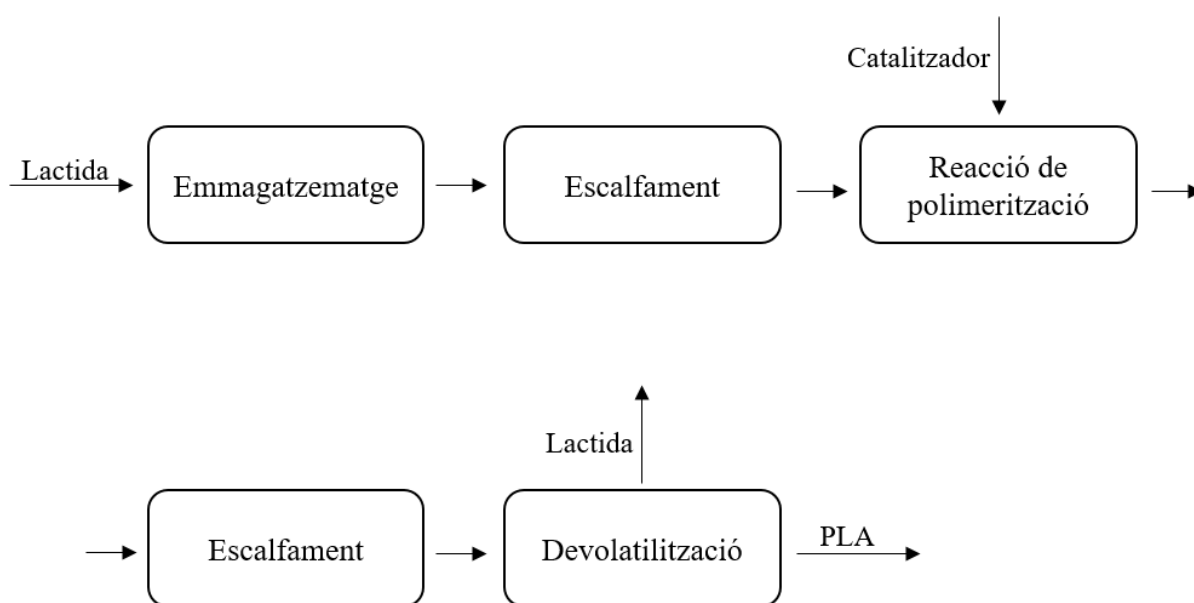
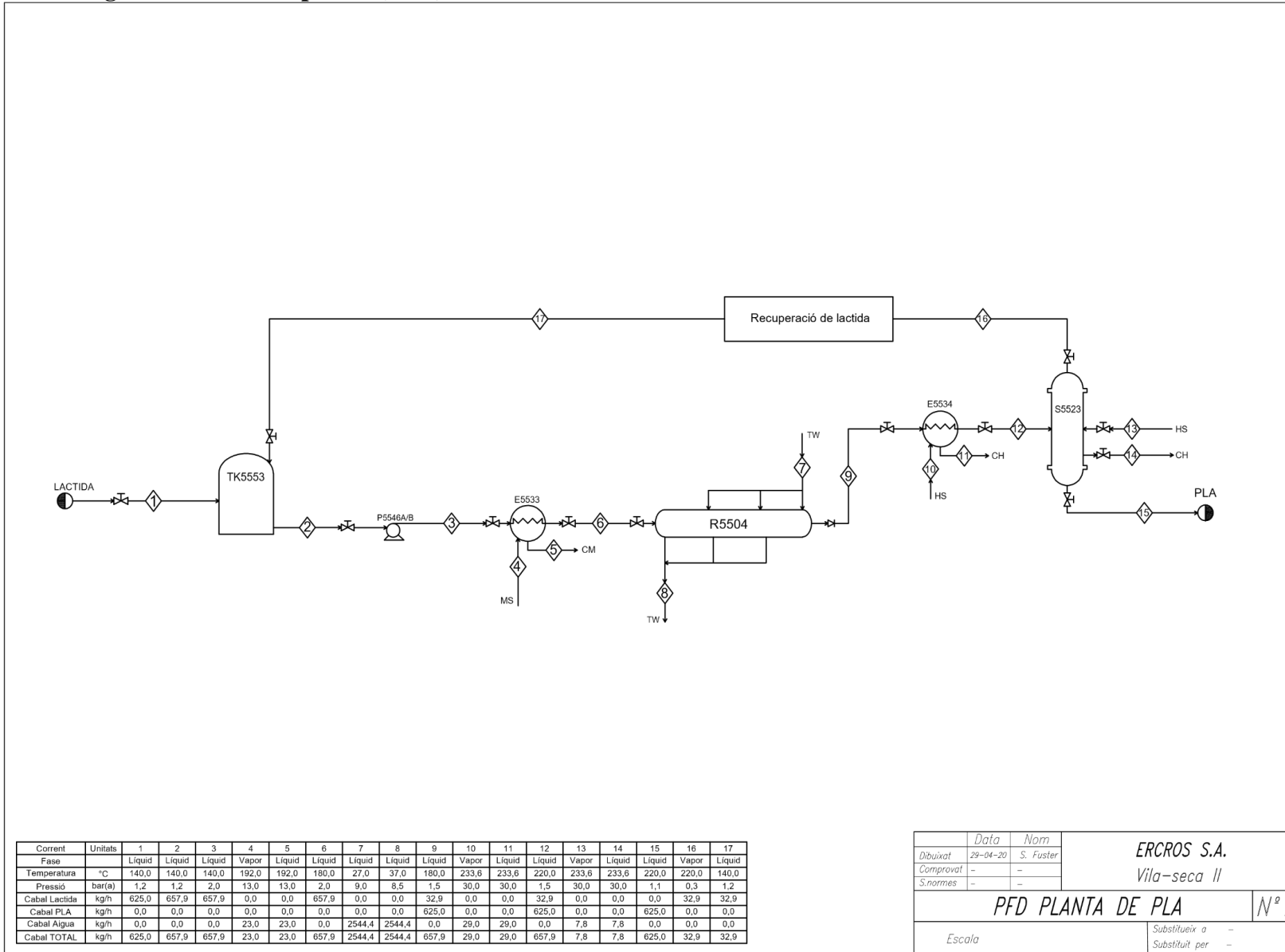
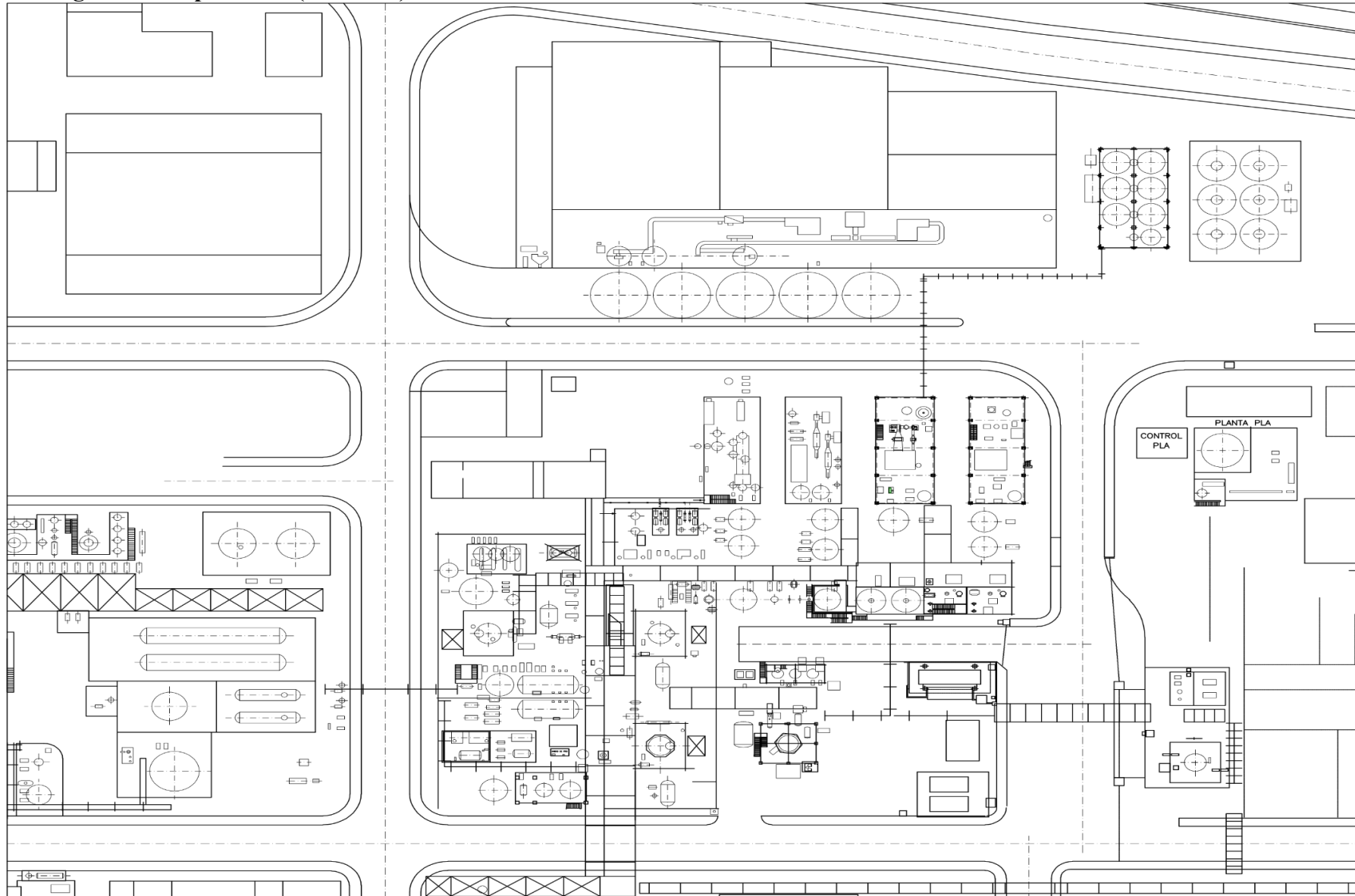


Figura 4.1. Diagrama de blocs del procés.

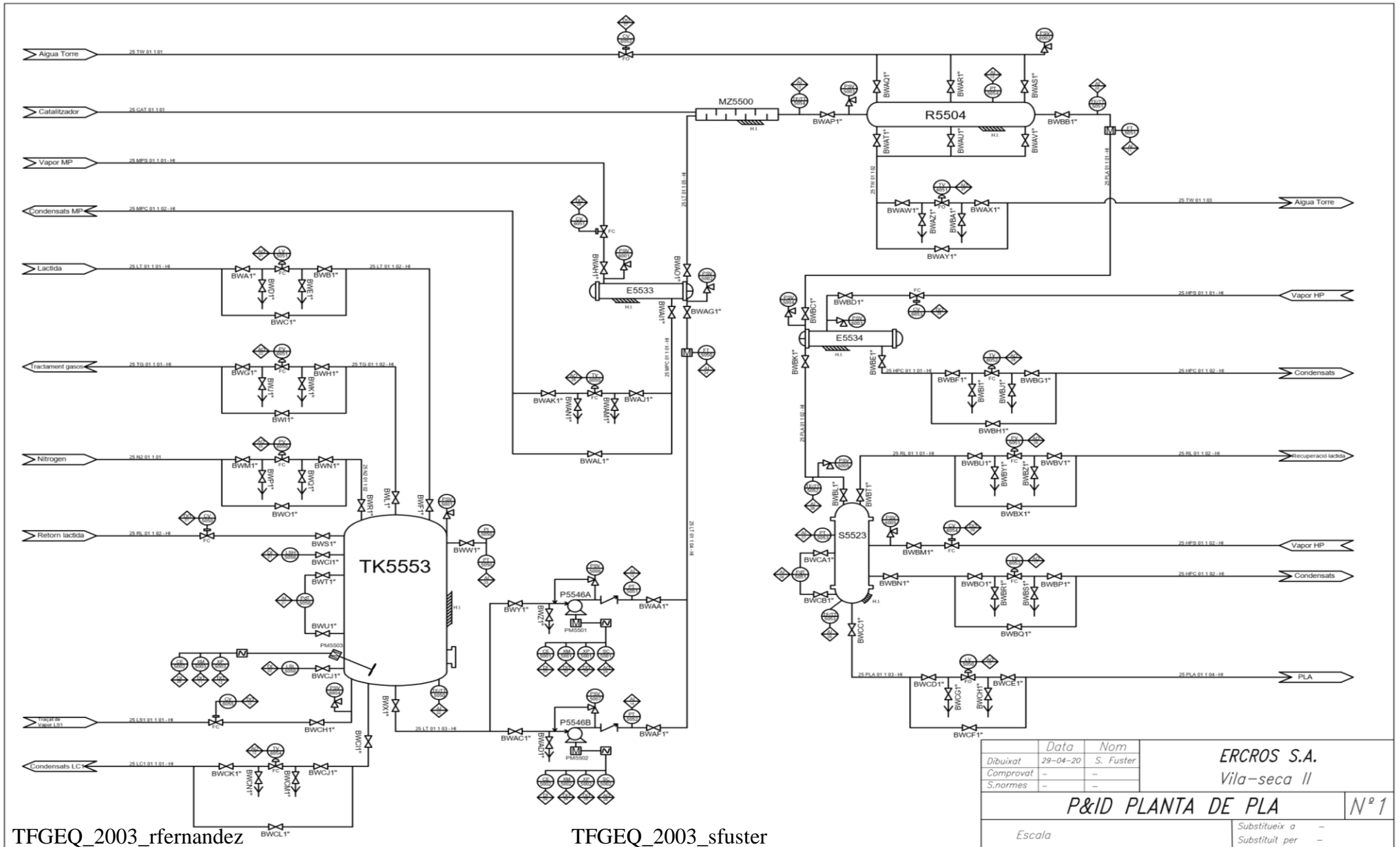
4.1.2. Diagrama de flux del procés (PFD)



4.1.3. Diagrama d'implantació (Plot Plan)



4.1.4. Diagrama de canonades i instruments (P&ID)



TFGEQ_2003_rfernandez

TFGEQ_2003_sfuster

Data	Nom	ERCROS S.A.	
Dibuixat	29-04-20	S. Fuster	Vila-seca II
Comprovat	-	-	
S.normes	-	-	
P&ID PLANTA DE PLA			Nº 1
Escales	Substitueix a		-
	Substitueix per		-

4.2. Disseny bàsic

Un cop s'han establert les bases del projecte i realitzats els diagrames del procés, es dissenyen els equips a partir de la informació recollida anteriorment.

4.2.1. Disseny de canonades

En primer lloc es realitza el disseny de les canonades a partir de la informació obtinguda en el PFD i P&ID.

4.2.1.1. Dimensionament de canonades

Pel dimensionament de les canonades s'han tingut en compte les consideracions que s'exposen a continuació.

D'una banda, pels cabals de líquid, s'ha considerat constant tant la densitat de la lactida: 1153,5 kg/m³ com la densitat del PLA: 1072,7 kg/m³. La densitat de l'aigua es troba al software *Wolfram Alpha* (ref. 16) i a l'Aspen +. Així doncs, s'ha calculat el cabal volumètric segons la següent fórmula:

$$C_v = \frac{C_m}{\rho} \quad (4.1)$$

On C_v és el cabal volumètric (m³/h), C_m és el cabal màssic (kg/h) i ρ és la densitat (kg/m³).

D'altra banda, respecte als cabals de vapor especificats al PFD, s'ha aplicat la equació dels gasos ideals:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4.2)$$

On P és la pressió (atm), V és el volum (L), n és el número de mols, R és la constant dels gasos ideals (0,082 L·atm/(K·mol)) i T és la temperatura (K).

Aquesta equació s'ha aplicat tenint en compte la massa molar de cada gas: 144,13 g/mol de la lactida i 18 g/mol de l'aigua. Finalment, es calcula el cabal volumètric dels corrents no especificats al PFD, el de nitrogen, tractament de gasos, vapor LS1 i condensats.

Pel que fa al corrent de nitrogen, vapor LS1 i condensats, s'ha considerat el balanç de la lactida al tanc: 625 kg/h. I llavors, el cabal volumètric tenint en compte la densitat de la lactida és 0,542 m³/h.

Quant al corrent de tractament de gasos, l'empresa determina que la descàrrega de lactida des de cisternes sobre el seu propi tanc s'ha de realitzar en mitja hora. Com que el volum que hi ha de lactida al tanc és de 13,7 m³, el cabal de descàrrega és de 27,4 m³/h. Finalment, es resta els 0,542 m³/h, ja que mentre es descarrega s'està consumint lactida. Resumint, el cabal volumètric del tractament de gasos és de 26,8 m³/h.

Un cop determinats els cabals volumètrics dels corrents no especificats, es segueix determinant les condicions a les quals estan sotmesos aquests corrents. Sobre el corrent de nitrogen i de

tractament de gasos, s'ha determinat que els dos estan a una pressió igual a la pressió del tanc: 1,2 bar. El corrent de nitrogen està a temperatura ambient i el de tractament de gasos està a la mateixa temperatura que la lactida que hi ha dins: 140°C.

Respecte al corrent de vapor LS1 i condensats, s'especifica que té una pressió de 8 barg, és a dir, 9 bara. I la temperatura s'ha buscat en factor de la pressió a la taula d'aigua saturada: 175,4°C. Així doncs, s'ha aplicat la equació dels gasos ideals pels corrents gasosos, per calcular el cabal màssic i, en conseqüència, la seva densitat considerant la massa molecular: 18 g/mol de l'aigua i 28 g/mol del nitrogen (s'ha aproximat el corrent del tractament de gasos al nitrogen, per tant, s'ha aplicat la mateixa massa molar). I s'ha trobat la densitat del corrent del condensat a les taules d'aigua saturada per calcular finalment el cabal màssic.

Un cop s'han calculat tots els cabals volumètrics, es calcula la secció de la canonada, el radi i el diàmetre interior:

$$Secció = \frac{C_v}{v} \quad (4.3)$$

$$Secció = r^2 \cdot \pi \quad (4.4)$$

On C_v és el cabal volumètric (m^3/s), r és el radi de la canonada (m) i v és la velocitat amb la qual el fluid circula per la canonada (m/s).

Com que s'ha considerat que el rang de velocitats dels cabals de líquid sigui d'entre 1-3 m/s. Escollirem com a primera temptativa una velocitat de 2 m/s.

Després de realitzar els càlculs anteriors, s'han obtingut diàmetres interiors molt petits. En aquests casos, s'ha seguit la recomanació de l'empresa de no utilitzar diàmetres inferiors a una polzada.

4.2.1.2. Disseny mecànic de les canonades

En aquest apartat, s'acabarà d'especificar les dimensions de les canonades.

Per començar, el gruix de les canonades s'ha calculat segons el codi ASME B31.3:

$$t = \frac{P \cdot d}{2 \cdot [\sigma \cdot E + P \cdot Y]} + C_1 \quad (4.5)$$

On t és el gruix (mm), P és la pressió del corrent (MPa), d és el diàmetre exterior calculat prèviament (mm), σ és l'esforç màxim admissible del material (MPa), E és el factor de soldadura, Y és el coeficient adimensional i el C_1 és el sobregruix de corrosió (mm).

La σ s'ha considerat segons les taules segons el material i a partir de la normativa ASME (ref. 17, 18), on s'especifica l'esforç màxim admissible segons la temperatura del corrent i el tipus de material.

El tipus de material són l'acer al carboni A-106 grau B per les canonades d'aigua de torre, vapor, condensats, nitrogen i tractaments de gasos. I d'acer inoxidable A-312 grau TP316L per les que tenen contacte amb PLA i lactida.

L'E serà de 0,85, ja que es realitzarà un radiografiat parcial. (ref. 19)

L'Y, segons la següent figura, com que totes les temperatures dels corrents són inferiors a 482°C, és de 0,4.

TABLE 304.1.1
VALUES OF COEFFICIENT Y
FOR $t < D/6$

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	≥ 621 (1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0

Figura 4.2. Especificació Y.

Finalment, el sobregruix de corrosió és d'entre 1,6 i 3,2 mm per les d'acer al carboni, més específicament, s'ha seleccionat 1,6 mm, ja que no hi ha fluids corrosius. I per les d'acer inoxidable no s'ha considerat sobregruix de corrosió.

Segons el gruix calculat i el diàmetre exterior, que com s'ha mencionat anteriorment, serà d'una polzada, s'ha dimensionat la canonada segons el catàleg Peninsular ASME (ref. 20) i s'han especificat al següent apartat.

Per acabar, quan ja s'han dimensionat, es calcula el diàmetre intern i la velocitat del corrent segons les següents equacions:

$$d_i = d - 2 \cdot t \quad (4.6)$$

$$v = \frac{C_v}{\left(\frac{d_i}{2} \cdot 1000\right)^2 \cdot \pi} \quad (4.7)$$

On d_i és el diàmetre intern (mm), d és el diàmetre extern, t és el gruix de les canonades (mm), C_v és el cabal volumètric (m^3/s).

4.2.1.3. Llistat de canonades

Taula 4.1. Llistat de canonades.

Línia	Fluid	Fase	DN (mm)	Cabal màssic (kg/h)	Pressió de disseny (bara)	Temperatura de disseny (°C)	Gruix (mm)	Aïllament tèrmic
25 LT 01 1 01 - HI	Lactida	L	25	625,0	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 LT 01 1 02 - HI	Lactida	L	25	625,0	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 LT 01 1 03 - HI	Lactida	L	25	657,9	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 LT 01 1 04 - HI	Lactida	L	25	657,9	2,0	140,0	1,65	SÍ
25 MPS 01 1 01 - HI	Aigua	V	25	23,0	13,0	192,0	2,77	SÍ
25 MPC 01 1 01 - HI	Aigua	L	25	23,0	13,0	192,0	1,65	SÍ
25 MPC 01 1 02 - HI	Aigua	L	25	23,0	13,0	192,0	1,65	SÍ
25 LT 01 1 05 - HI	Lactida	L	25	657,9	2,0	180,0	1,65	SÍ
25 TW 01 1 01	Aigua	L	25	2544,4	9,0	27,0	1,65	NO
25 TW 01 1 02	Aigua	L	25	2544,4	8,5	37,0	1,65	NO
25 TW 01 1 03	Aigua	L	25	2544,4	8,5	37,0	1,65	NO
25 PLA 01 1 01 - HI	PLA + Lactida	L	25	657,9	1,5	180,0	1,65	SÍ
25 HPS 01 1 01 - HI	Aigua	V	25	29,0	30,0	233,6	2,77	SÍ
25 HPC 01 1 01 - HI	Aigua	L	25	29,0	30,0	233,6	1,65	SÍ
25 HPC 01 1 02 - HI	Aigua	L	25	29,0	30,0	233,6	1,65	SÍ
25 PLA 01 1 02 - HI	PLA + Lactida	L	25	657,9	1,5	220,0	1,65	SÍ
25 HPS 01 1 02 - HI	Aigua	V	25	7,8	30,0	233,6	2,77	SÍ
25 HPC 01 1 02 - HI	Aigua	L	25	7,8	30,0	233,6	1,65	SÍ
25 PLA 01 1 03 - HI	PLA	L	25	625,0	1,1	220,0	1,65	SÍ
25 PLA 01 1 04 - HI	PLA	L	25	625,0	1,1	220,0	1,65	SÍ
25 RL 01 1 01 - HI	Lactida	V	25	32,9	0,3	220,0	1,65	SÍ
25 RL 01 1 02 - HI	Lactida	V	25	32,9	0,3	220,0	1,65	SÍ

25 RL 01 1 02 - HI	Lactida	L	25	32,9	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 N2 01 1 01	Nitrogen	V	25	0,8	1,2	25,0	1,65	NO
25 TG 01 1 01 - HI	Tractament de gasos	V	25	27,0	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 TG 01 1 02 - HI	Tractament de gasos	V	25	27,0	1,2	140,0	1,65	SÍ
25 LS1 01 1 01 - HI	Vapor LS1	V	25	2,4	9,0	174,5	1,65	SÍ
25 LC1 01 1 01 - HI	Condensats	L	25	483,2	9,0	174,5	1,65	SÍ

Taula 4.2. Especificacions del llistat de canonades (1).

Línia	Densitat corrent (kg/m ³)	Cabal volumètric (m ³ /h)	Secció canonada (m ²)	Radi calculat (mm)	Diàmetre intern calculat (mm)	Esforç màxim S (MPa)	Material
25 LT 01 1 01 - HI	1153,5	0,542	7,53E-05	4,89	9,79	115	Acer inoxidable
25 LT 01 1 02 - HI	1153,5	0,542	7,53E-05	4,89	9,79	115	Acer inoxidable
25 LT 01 1 03 - HI	1153,5	0,570	7,92E-05	5,02	10,04	115	Acer inoxidable
25 LT 01 1 04 - HI	1153,5	0,570	7,92E-05	5,02	10,04	115	Acer inoxidable
25 MPS 01 1 01 - HI	6,23	3,689	5,12E-04	12,77	25,54	180	Acer al carboni
25 MPC 01 1 02 - HI	812,9	0,028	3,93E-06	1,12	2,24	180	Acer al carboni
25 MPC 01 1 01 - HI	812,9	0,028	3,93E-06	1,12	2,24	180	Acer al carboni
25 LT 01 1 05 - HI	1153,5	0,570	7,92E-05	5,02	10,04	109	Acer inoxidable
25 TW 01 1 01	996,9	2,552	3,54E-04	10,62	21,24	180	Acer al carboni
25 TW 01 1 02	993,7	2,561	3,56E-04	10,64	21,28	180	Acer al carboni
25 TW 01 1 03	993,7	2,561	3,56E-04	10,64	21,28	180	Acer al carboni
25 PLA 01 1 01 - HI	1076,5	0,611	8,49E-05	5,20	10,40	109	Acer inoxidable
25 HPS 01 1 01 - HI	13,2	2,196	3,05E-04	9,85	19,71	180	Acer al carboni
25 HPC 01 1 01 - HI	757,6	0,038	5,32E-06	1,30	2,60	180	Acer al carboni
25 HPC 01 1 02 - HI	757,6	0,038	5,32E-06	1,30	2,60	180	Acer al carboni
25 PLA 01 1 02 - HI	1076,5	0,611	8,49E-05	5,20	10,40	103	Acer inoxidable
25 HPS 01 1 02 - HI	13,2	0,591	8,20E-05	5,11	10,22	180	Acer al carboni
25 HPC 01 1 02 - HI	757,6	0,010	1,43E-06	0,67	1,35	180	Acer al carboni
25 PLA 01 1 03 - HI	1072,7	0,583	8,09E-05	5,08	10,15	103	Acer inoxidable
25 PLA 01 1 04 - HI	1072,7	0,583	8,09E-05	5,08	10,15	103	Acer inoxidable
25 RL 01 1 01 - HI	1,1	30,305	4,21E-03	36,60	73,21	103	Acer inoxidable
25 RL 01 1 02 - HI	1,1	30,305	4,21E-03	36,60	73,21	103	Acer inoxidable
25 RL 01 1 02 - HI	1153,5	0,029	3,96E-06	1,12	2,25	115	Acer inoxidable
25 N2 01 1 01	1,4	0,542	7,53E-05	4,89	9,79	180	Acer al carboni

25 TG 01 1 01 - HI	1,0	26,834	3,73E-03	34,44	68,89	180	Acer al carboni
25 TG 01 1 02 - HI	1,0	26,834	3,73E-03	34,44	68,89	180	Acer al carboni
25 LS1 01 1 01 - HI	4,5	0,542	7,53E-05	4,89	9,79	180	Acer al carboni
25 LC1 01 1 01 - HI	891,9	0,542	7,53E-05	4,89	9,79	180	Acer al carboni

Taula 4.3. Especificacions del llistat de canonades (2).

Línia	Sobregruix (mm)	Gruix (mm)	Diàmetre extern dimensionat (mm)	Gruix dimensionat (mm)	Diàmetre intern dimensionat (mm)	Schedule	Velocitat (m/s)
25 LT 01 1 01 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,212
25 LT 01 1 02 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,212
25 LT 01 1 03 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,223
25 LT 01 1 04 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,223
25 MPS 01 1 01 - HI	1,60	1,71	33,4	2,77	27,9	SCH10	1,68
25 MPC 01 1 02 - HI	1,60	1,61	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,011
25 MPC 01 1 01 - HI	1,60	1,61	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,011
25 LT 01 1 05 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,223
25 TW 01 1 01	1,60	1,66	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,996
25 TW 01 1 02	1,60	1,66	33,4	1,65	30,1	SCH5	1,00
25 TW 01 1 03	1,60	1,66	33,4	1,65	30,1	SCH5	1,00
25 PLA 01 1 01 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,239
25 HPS 01 1 01 - HI	1,60	1,79	33,4	2,77	27,9	SCH10	1,00
25 HPC 01 1 01 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,015
25 HPC 01 1 02 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,015
25 PLA 01 1 02 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,239
25 HPS 01 1 02 - HI	1,60	1,70	33,4	2,77	27,9	SCH10	0,269
25 HPC 01 1 02 - HI	1,60	1,61	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,004
25 PLA 01 1 03 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,227
25 PLA 01 1 04 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,227
25 RL 01 1 01 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	11,8
25 RL 01 1 02 - HI	0,00	0,01	33,4	1,65	30,1	SCH5	11,8
25 RL 01 1 02 - HI	0,00	0,00	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,011
25 N2 01 1 01	1,60	1,60	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,212

25 TG 01 1 01 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	10,5
25 TG 01 1 02 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	10,5
25 LS1 01 1 01 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,212
25 LC1 01 1 01 - HI	1,60	1,63	33,4	1,65	30,1	SCH5	0,212

4.2.2. Disseny de la instrumentació i control

En aquest apartat es tractaran els elements de control, les seves funcions i les característiques més rellevants.

4.2.2.1. Caracterització de les estratègies de control

Per tal de garantir el correcte funcionament de la planta, s'ha dissenyat un conjunt de llaços de control de procés. A continuació es detallen les estratègies de control dels paràmetres més importants de la planta.

4.2.2.1.1. Control de temperatura al TK5553

El transmissor de temperatura TE/TT5050, envia el senyal de la temperatura de l'interior del tanc al sistema de control distribuït (AI02). El TC5050 ho compara amb el *Set Point* de 120°C i en funció de la desviació del senyal obre o tanca la vàlvula TV6054 (AO12). Aquesta és d'acció inversa, ja que si la temperatura del tanc baixa, la vàlvula obre i permet el pas de vapor LS1. En aquest cas, el controlador s'instal·la per prevenir la possible solidificació de la lactida, i només actuarà en cas que la temperatura del tanc baixi per algun tipus de dificultat en el procés.

En cas de baixada destacada de la temperatura, s'acciona l'alarma TAL5050 que al mateix temps en alerta que s'ha de posar en marxa el motor de l'agitador del tanc (PM5503) per assegurar un correcte bescanvi de calor. Es duu a terme mitjançant l'ordre de posada en marxa manual XM5003 (DO11) i es verifica el funcionament del motor a través del CE5002 (DI05). I l'ordre de parada del mateix es dona manualment també, per mitjà de la XP5003 (DO12).

4.2.2.1.2. Control de nivell en el TK5553

El control de nivell del tanc s'estableix entre un nivell màxim i un mínim, per evitar vessaments del tanc o falta de producte. El transmissor de nivell per pressió diferencial PdT5050, envia la senyal al sistema de control distribuït (AI01). El senyal va a parar al controlador LC5050, que ho compara amb un SP del 65% i en funció de la desviació del senyal obre o tanca la vàlvula LV5051 (AO01). És d'acció inversa, ja que a major nivell tanca l'entrada de lactida.

Altrament, el sistema de control compta amb uns interruptors d'alerta de nivell. El LSL5050 (DI02), envia un senyal en cas que el nivell estigui per sota del 15% i el LSH5050 (DI01) ho fa en cas que el nivell estigui per sobre del 80%. Respectivament, estan lligats a unes alarmes de baix i alt nivell: LAL5050 i LAH5050.

4.2.2.1.3. Control de pressió del TK5553

El control de pressió del tanc d'emmagatzemament de la lactida, a més, és important per tal de mantenir una atmosfera inerta i evitar l'oxidació de la lactida. En aquest control participa

un únic controlador que acciona dues vàlvules, la d'entrada de nitrogen i la de sortida de gasos de tractament.

L'estratègia de control utilitzada és la que anomenem de rang partit o *Split Range* que es representa al gràfic següent:

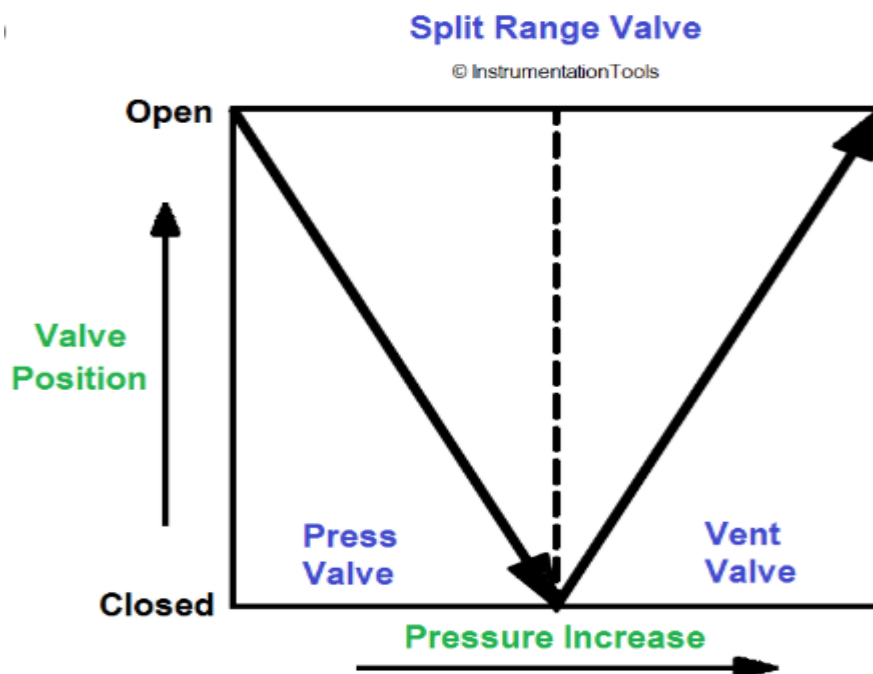


Figura 4.3. Esquema del funcionament de l'estratègia de rang partit (ref. 21).

El transmissor de pressió del tanc PT5050 que envia la senyal al sistema de control distribuït (AI03). El PC5050 compara la senyal amb un SP d'1 bara i en funció de la desviació obre o tanca les dues vàlvules de control.

Quan la pressió és igual a la del SP (increment de pressió nul marcat per la línia discontinua del gràfic), les dues vàlvules romanen tancades. Si la pressió mesurada es inferior a la del SP (meitat esquerra del gràfic), la que actua és la vàlvula de pressurització amb nitrogen PV6050 i estarà més oberta quan més allunyat s'estigui del valor de consigna. En el cas de que la pressió sigui superior a la prefixada (meitat dreta del gràfic), obrirà l'altra vàlvula, la de venteig PV6051 que enviarà els gasos (bàsicament nitrogen) al sistema de tractament. L'apertura de la vàlvula serà més gran quan més alt sigui l'increment de pressió al tanc.

4.2.2.1.4. Control de cabal de les bombes P5546A/B

El cabal de les bombes dosificadores es mesurat pel transmissor de cabal màssic (variable controlada) FT5050 que envia la senyal al sistema de control distribuït AI04. El controlador FC5050 compararan la variable de procés amb un SP de 658 kg/h, enviant una senyal de sortida als variadors de velocitat dels motors PM5501 i PM5502. Aquesta senyal entrarà com a SP al controladors de velocitat SC5001/SC5002 que processen el senyal i en funció de la diferència observada augmenten o disminueixen la velocitat dels motors (variable manipulada) i conseqüentment el cabal de la bomba.

L'estratègia de control escollida és un típic control en cascada que representem en l'esquema següent:

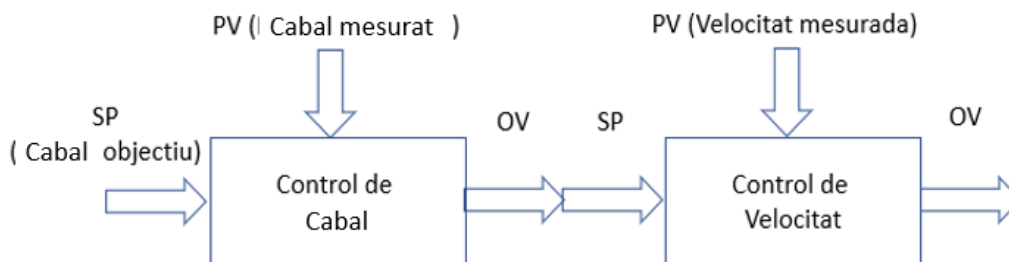


Figura 4.4. Esquema del control en cascada del cabal de les bombes P5546A/B.

4.2.2.1.5. Control de la temperatura d'entrada al reactor: bescanviador E5533

La temperatura d'entrada al reactor (variable controlada) es regula per mitjà de l'E5533. El corrent de sortida de la lactida disposa d'un transmissor de temperatura TE/TT5054 que envia la senyal al sistema de control distribuït AI12. El TC5054 la compara amb un SP de 180°C i en funció de la desviació del senyal obre o tanca la vàlvula TV6050 (AO06), sortida de condensats del bescanviador (variable manipulada). La vàlvula de control és d'acció inversa ja que a menor temperatura es produeix una major obertura de la mateixa.

4.2.2.1.6. Control de la temperatura de reacció

El control s'estableix a partir del transmissor de temperatura TE/TT5051 que envia la senyal al sistema de control distribuït (AI05). En funció de la temperatura de sortida del reactor (variable controlada), el TC5051 fa la comparació amb el SP de 180°C, i la sortida va a la TV6051 (AO07) obre o tanca la vàlvula que regula el corrent d'aigua de torre de refrigeració (variable manipulada). L'acció és directa ja que a temperatures superiors a les del SP obre més la vàlvula per augmentar la refrigeració del reactor.

4.2.2.1.7. Control de temperatura d'entrada a l'evaporador: bescanviador E5534

El control es duu a terme per mitjà del transmissor de temperatura TE/TT5052 situat al corrent d'entrada de l'evaporador S5523 (variable controlada). Aquest envia un senyal al sistema de control distribuït (AI06) i el controlador TC5052 actuarà sobre la sortida de condensats al bescanviador E5534 (variable manipulada), en funció de la desviació del SP fixat en 220°C actuarà sobre la vàlvula TV6052 (AO08). El controlador és d'acció directa ja que a menor temperatura, hi ha una major obertura de la vàlvula i, per tant, una major entrada de vapor en el bescanviador.

4.2.2.1.8. Control de temperatura en l'evaporador

La temperatura de l'evaporador es regula mitjançant el transmissor de temperatura TE/TT5053 que envia la senyal de temperatura de l'evaporador (variable controlada) al sistema de control distribuït AI09. El TC5053 compara la senyal amb un SP de 220°C i en funció del

contrast del senyal obre o tanca la vàlvula TV6053 (AO11), d'entrada de vapor a l'evaporador (variable manipulada). La vàlvula de control és d'acció inversa ja que a menor temperatura es produeix una major obertura de la mateixa.

4.2.2.1.9. Control del nivell de l'evaporador

El control del nivell de l'evaporador es realitza a través del transmissor de nivell per pressió diferencial PdT5051, que envia la senyal del nivell de l'evaporador (variable controlada) sistema de control distribuït AI06. El LC5051 compara la senyal amb un SP del 50% i en funció de la diferència del senyal, obre o tanca la vàlvula la LV5050 (AO10). Es tracta d'una vàlvula de control d'acció directa, ja que a major nivell, més gran és l'obertura de la vàlvula i, conseqüentment major és el cabal de sortida de PLA líquid de l'evaporador (variable manipulada).

4.2.2.1.10. Control de pressió de l'evaporador

El buit en l'evaporador es duu a terme per mitjà d'un ejector que queda fora dels límits d'aquest projecte. No obstant, la pressió també es controla a partir de la sortida de la lactida en fase vapor (variable manipulada). A partir del control de la pressió en l'evaporador (variable controlada) i a través del transmissor de pressió PT5053, s'envia una senyal al sistema de control distribuït AI07 i el PC5053 compara la senyal amb el *Set Point* de 0,3 bara actuant sobre la PV5051(AO09) que obre o tanca en funció de la desviació del senyal. La vàlvula de control és d'acció directa, perquè a major pressió, major apertura de la vàlvula d'evacuació de lactida en fase vapor, que produeix una reducció de la pressió en l'evaporador.

4.2.2.2. Relació d'instruments de control

Seguidament s'han disposat tots els instruments de control que actuen en la planta. En la primera taula es dona informació rellevant sobre el conjunt de transmissors de paràmetres i en la segona taula sobre les vàlvules de control.

Taula 4.4. Instruments de control del procés.

Instrument	Descripció	Rang	Tipus
TE/TT5050	Transmissor de temperatura del TK5553.	0-200°C	Termoparell
TE/TT5051	Transmissor de temperatura del corrent de sortida del R5504.	100-300°C	Termoparell
TE/TT5052	Transmissor de temperatura del corrent d'entrada a la columna S5523 i després del E5534.	100-300°C	Termoparell
TE/TT5053	Transmissor de temperatura de l'evaporador S5523.	100-300°C	Termoparell
TE/TT5054	Transmissor de temperatura del corrent d'entrada al R5504 i després del E5533.	100-200°C	Termoparell
PT5050	Transmissor de pressió del TK5553.	0-2 bara	Bourdon
PT5051	Transmissor de pressió de la descàrrega de la bomba P5546A.	1-5 bara	Bourdon
PT5052	Transmissor de pressió de la descàrrega de la bomba P5546B.	1-5 bara	Bourdon
PT5053	Transmissor de pressió de l'evaporador S5523.	0-2 bara	Bourdon
PT5054	Transmissor de pressió del reactor R5504.	1-5 bara	Bourdon
FT5050	Transmissor de cabal de la línia 25LT01104-HI, situada entre les bombes P5546A/B i el bescanviador E5533.	0-1000 kg/h	Màssic
FT5051	Transmissor de cabal de la línia 25PLA01101-HI, situada a la sortida del reactor R5504.	0-1000 kg/h	Màssic
PdT5050	Transmissor de nivell del tanc TK5553.	0-100%	Pressió diferencial
PdT5051	Transmissor de nivell de l'evaporador S5523.	0-100%	Pressió diferencial

Taula 4.5. Vàlvules de control del procés.

Vàlvula	Descripció	Rang	Tipus
CV5050	Vàlvula d'entrada de la recirculació de lactida no reaccionada al TK5553.	Tot/Res	Bola
CV6051	Vàlvula d'entrada de vapor MP al bescanviador E5533.	Tot/Res	Bola
CV6052	Vàlvula d'entrada d'aigua de refrigeració de torre al reactor R5504.	Tot/Res	Bola
CV6053	Vàlvula d'entrada de vapor HP al bescanviador E5533.	Tot/Res	Bola
CV6054	Vàlvula d'entrada de vapor HP a l'evaporador E5523.	Tot/Res	Bola
CV6055	Vàlvula d'entrada de vapor LP1 al tanc TK5553.	Tot/Res	Bola
LV5050	Vàlvula de regulació de la sortida de PLA líquid de l'S5523 en funció del nivell.	0-100%	Globus
LV5051	Vàlvula de regulació de l'entrada de lactida al TK5553 en funció del nivell del tanc.	0-100%	Globus
TV6050	Vàlvula de regulació de la sortida de condensats de MP a l'E5533 en funció de la temperatura de sortida del bescanviador de la lactida.	0-100%	Globus
TV6051	Vàlvula de regulació de la sortida d'aigua de torre al R5504 en funció de la temperatura interior del reactor.	0-100%	Globus
TV6052	Vàlvula de regulació de la sortida de condensats HP a l'E5534 en funció de la temperatura de sortida del bescanviador de la lactida.	0-100%	Globus
TV6053	Vàlvula de regulació de l'entrada de condensats HP al S5523 en funció de la temperatura interior de l'evaporador.	0-100%	Globus
TV6054	Vàlvula de regulació de la sortida de condensats LC1 al TK5553 en funció de la temperatura del tanc.	0-100%	Globus
PV5051	Vàlvula de regulació de sortida de lactida de l'S5523 en funció de la pressió interior de la columna.	0-100%	Globus
PV6050	Vàlvula de regulació d'entrada de nitrogen al TK5553 en funció de la pressió del tanc.	0-100%	Globus
PV6051	Vàlvula de regulació de la sortida dels gasos de tractament del TK5553 en funció de la pressió del tanc.	0-100%	Globus

4.2.2.3. Sistema d'enclavaments

S'han configurat dos enclavaments per aturar la bomba que estigui en funcionament (P5546A/B), en cas que el nivell del tanc sigui excessivament baix. Aquests enclavaments es

realitzen per impedir que les bombes es quedin sense producte, fet que podria danyar la bomba en ús de forma greu.

La configuració dels enclavaments s'ha dissenyat per aturar el motor de la bomba en funcionament (PM5501/PM5502) en cas que el nivell del tanc de lactida (TK5553) baixi massa i s'activi l'alarma de molt baix nivell LSL5050.

4.2.3. Estudi cinètic i disseny del reactor

L'estudi cinètic s'ha realitzat comparant diferents articles científics que apareixen a la bibliografia i basant-nos, principalment, en el publicat per Witzke i altres (ref. 22), que tracta experimentalment la influència de la temperatura i el rati molar d'iniciador en relació a la lactida. L'iniciador emprat és l'octoat d'estany, també anomenat: 2-etilhexanoat d'estany (II).

En primer lloc, es comprova l'ajust de les variables cinètiques a l'equació (4.8) per les dades experimentals de que es disposen.

La constant d'equilibri (k_p) depèn de la temperatura segons l'equació d'Arrhenius:

$$k_p = A_{448} \exp\left(\frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{448 \text{ K}}\right)\right) \quad (4.8)$$

On, segons dades bibliogràfiques (ref. 22):

- La constant preexponencial a 448 K: $A_{448} = 86 \text{ h}^{-1} \text{ mol } \%^{-1}$
- La constant de gasos ideals: $R = 8,314472 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
- L'energia d'activació: $E_a = 70,9 \text{ kJ/mol} = 70900 \text{ J/mol}$

Es pot calcular doncs el valor obtingut per a k_p a diferents temperatures:

Taula 4.6. Valors calculats de k_p en funció de la temperatura.

T (°C)	T (K)	k_p ($\text{h}^{-1} \text{ mol } \%^{-1}$)
130	403	10,3
140	413	17,3
150	423	28,1
160	433	44,8
170	443	69,8
180	453	106,8
190	463	160,3
200	473	236,5
210	483	343,5
220	493	491,3

Que presenta valor similars als trobats a la bibliografia:

Taula 4.7. Valors bibliogràfics de k_p en funció de la temperatura (ref. 22).

Table 1. Propagation Rate Constant Summary

T (°C)	M/I (mol/mol)	I (mol %)	k_p (h^{-1} catalyst mol % $^{-1}$)
130	1 000	0.0999	11.3
130	2 940	0.0340	13.8
130	9 460	0.0106	6.1
130	19 200	0.00522	16.0
160	9 890	0.0101	40.1
190	10 000	0.0100	136
220	10 100	0.00993	639
220	20 000	0.00500	687
220	39 600	0.00253	435
220	79 300	0.00126	416

Els càlculs es realitzaran per una temperatura de 180 °C, que s'ha escollit per ser la temperatura més usada experimentalment.

Comparant els valors de k_p experimentals amb els bibliogràfics, es dona com a vàlid el valor de k_p per 180 °C:

$$k_p = 106,77 \text{ h}^{-1} \text{ mol \%}^{-1}$$

Per a calcular la fracció molar del monòmer en equilibri (M_{eq}), que és la fracció de lactida que no reacciona, s'utilitza l'expressió de Van't Hoff:

$$\ln(K) = -\frac{\Delta H^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \frac{\Delta S^{\circ}}{R} \quad (4.9)$$

Que deriva en la següent equació (ref. 22):

$$M_{eq} = \frac{k_d}{k_p} = \frac{1}{K_{eq}} = \exp\left(\frac{\Delta H_{lc}}{RT} - \frac{\Delta S_{lc}}{R}\right) \quad (4.10)$$

On segons les dades bibliogràfiques (ref. 22):

$$\Delta H_{lc} = -23,3 \text{ kJ/mol} = -23300 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S_{lc} = -22,0 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$R = 8,314472 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Aleshores, es pot calcular el valor obtingut per M_{eq} a diferents temperatures:

Taula 4.8. Valors de M_{eq} calculats a diferents temperatures.

T (°C)	T (K)	M_{eq}
130	403	$1,35 \cdot 10^{-2}$
140	413	$1,60 \cdot 10^{-2}$
150	423	$1,87 \cdot 10^{-2}$
160	433	$2,18 \cdot 10^{-2}$
170	443	$2,53 \cdot 10^{-2}$
180	453	$2,91 \cdot 10^{-2}$
190	463	$3,32 \cdot 10^{-2}$
200	473	$3,78 \cdot 10^{-2}$
210	483	$4,27 \cdot 10^{-2}$
220	493	$4,80 \cdot 10^{-2}$

S'utilitza també en aquest cas el valor obtingut a 180 °C:

$$M_{eq} = 2,91 \cdot 10^{-2} \text{ mol lactida / mol total}$$

$$M_{eq} = 2,91 \% \text{ mol}$$

Finalment s'utilitzen les següents expressions (ref. 22):

$$M_t = M_{eq} + (M_0 - M_{eq}) \exp(-K_p It) \quad (4.11)$$

$$X_t = \left(1 - \frac{M_{eq}}{M_0}\right) (1 - e^{(-K_p It)}) \quad (4.12)$$

Per calcular el cabal molar (M_0) necessari per complir amb els objectius de producció, es té en compte que la producció requerida de PLA és de 625 kg/h. També que l'alimentació requerida de lactida suposant un 95% de conversió és de 657,9 kg/h i tenint en compte el pes molecular de la lactida: PM lactida = 144,13 g/mol = 0,14413 kg/mol.

$$M_0 = \frac{658 \text{ kg/h}}{0,144 \text{ kg/mol}} = 4564,6 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Referent a la concentració, en tractar-se de lactida pura, es parlaria de 100% molar.

A continuació, s'utilitzen els valors de relació monòmer / iniciador recomanades a la bibliografia:

$$M/I = 10.000 \text{ mol/mol}$$

El que expressat en percentatge representa: 0,01% mol de catalitzador.

D'altra banda es pot calcular la conversió màxima (α_{max}) que deriva de la fórmula:

$$M_{eq} = M_0(1 - \alpha_{max}) \quad (4.13)$$

Resultant, pels valors presentats de M_{eq} i $M_0 \rightarrow \alpha_{max} = 97,1 \%$

Amb aquestes dades, es calcula la variació de la concentració dels monòmers de lactida (M_t) i la conversió (X_t) en funció del temps. Els resultats obtinguts es disposen en la taula següent:

Taula 4.9. Concentració de lactida i conversió en funció del temps a una concentració de 0,01 %mol d'iniciador.

t (h)	M _t (% mol)	X _t (% mol)
0,0	100,0%	0,0%
0,2	81,3%	18,7%
0,4	66,3%	33,7%
0,6	54,1%	45,9%
0,8	44,2%	55,8%
1,0	36,3%	63,7%
1,2	29,9%	70,1%
1,4	24,7%	75,3%
1,6	20,5%	79,5%
1,8	17,1%	82,9%
2,0	14,4%	85,6%
2,2	12,2%	87,8%
2,4	10,4%	89,6%
2,6	9,0%	91,0%
2,8	7,8%	92,2%
3,0	6,9%	93,1%
3,2	6,1%	93,9%
3,4	5,5%	94,5%
3,6	5,0%	95,0%
3,8	4,6%	95,4%
4,0	4,3%	95,7%
4,2	4,0%	96,0%
4,4	3,8%	96,2%
4,6	3,6%	96,4%
4,8	3,5%	96,5%
5,0	3,4%	96,6%
5,2	3,3%	96,7%
5,4	3,2%	96,8%
5,6	3,2%	96,8%
5,8	3,1%	96,9%
6,0	3,1%	96,9%
6,2	3,0%	97,0%
6,4	3,0%	97,0%
6,6	3,0%	97,0%
6,8	3,0%	97,0%
7,0	3,0%	97,0%
7,2	3,0%	97,0%
7,4	2,9%	97,1%

A continuació es mostren gràficament els resultats:

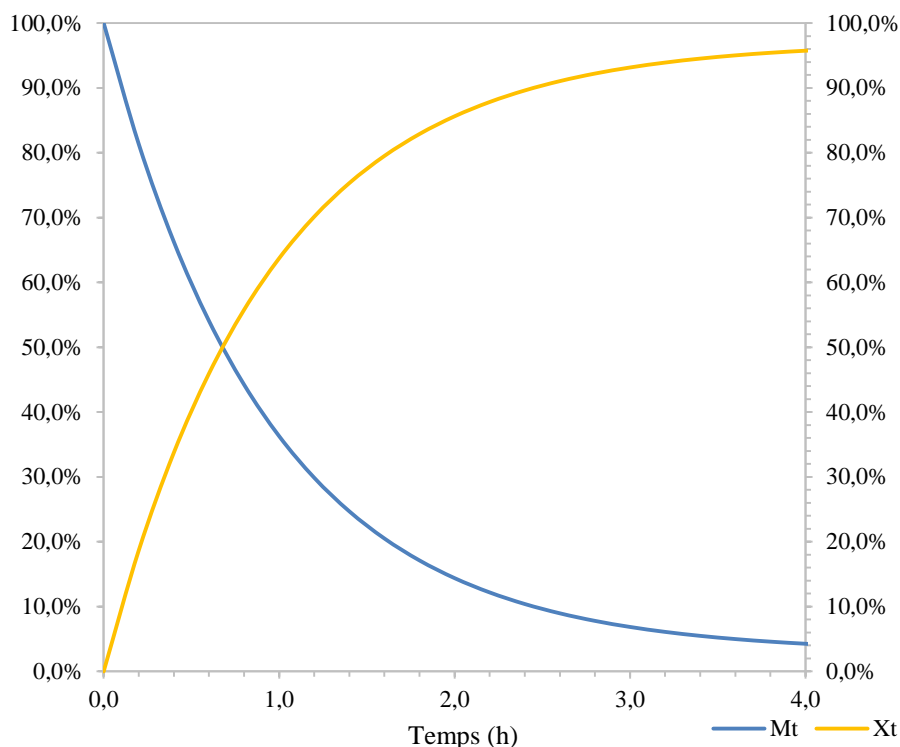


Figura 4.5. Concentració de lactida i conversió a PLA en funció del temps i una concentració d'iniciador: $I = 0,01$ % molar. Dades calculades.

A la taula s'aprecia que per a obtenir la conversió màxima és necessari un temps de residència de 7,4 hores i per a assolir la conversió desitjada (95%), el temps de residència al reactor hauria de ser superior a les 3,6 hores.

Per la qual cosa, si es té en compte del cabal d'alimentació de 657,9 kg/h i s'utilitza l'expressió obtinguda per Witzke, D. R i altres que relaciona la densitat de la lactida amb la temperatura (ref. 22):

$$\rho(\text{g cm}^{-3}) = \frac{1.145}{1 + 0.0007391(T(^{\circ}\text{C}) - 150)} \quad (4.14)$$

A 180 °C, s'obté una densitat de: $\rho = 1,12 \text{ g/cm}^3 = 1120 \text{ kg/m}^3$. Per tant, el cabal volumètric resulta: $0,587 \text{ m}^3/\text{h}$.

Per obtenir un temps mínim de residència d'unes 3,6 h el volum del reactor seria:

$$V = q \cdot \tau = 0,587 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 3,6 \text{ h} = 2,11 \text{ m}^3 \quad (4.15)$$

En referència al tipus de reactor, s'escull un reactor tubular, ja que presenta nombrosos avantatges respecte dels tancs agitats (ref. 23). L'avantatge més gran és l'estalvi d'operar un reactor amb atmosfera de nitrogen, ja que els tubulars proporcionen una bona impermeabilitat envers l'aire. Aquest fet evita l'oxidació de la lactida, de manera que es manté una puresa òptica elevada. Altres avantatges destacables són: la flexibilitat estructural, un menor requeriment d'espai i un bon nivell de mescla sense la necessitat d'agitadors, per tant evitant també el consum elèctric que això suposa.

La bibliografia (ref. 24) recomana una relació Longitud / Diàmetre per a reactors tubulars d'entre 2 i 10. Amb aquestes premisses, s'escullen les següents dimensions del reactor:

$$D = 700 \text{ mm}, L = 6000 \text{ mm}, V = 2,26 \text{ m}^3$$

Tenint en compte que la reacció és exotèrmica ($\Delta H_{lc} = -23,3 \text{ kJ/mol}$) s'ha de dissenyar també una camisa de refrigeració pel reactor. Per realitzar-ho, s'opta per un bescanviador de doble tub: un tub interior amb les dimensions escollides que serà on es produirà la reacció i un tub exterior per on circularà l'aigua de refrigeració de torre. A partir d'aquests requisits i seguint la taula de dimensions de canonades segons la normativa ASME (ref. 20), s'ha escollit:

- Una canonada interior Inox-316 de 28 NPM, que equival a 692 mm de diàmetre intern i un gruix de paret estàndard de 9,53 mm.
- Una canonada exterior Inox-316 de 30 NPM, que suposa 743 mm de diàmetre intern i un gruix de paret estàndard de 9,53 mm.

D'altra banda, a l'haver un diàmetre del reactor d'aquesta grandària i un cabal tan petit, fa que la velocitat en el reactor sigui molt baixa. A conseqüència d'això, el coeficient de bescanvi de calor també és molt baix i no permet dissipar tota l'energia generada en el procés de reacció. Per solucionar aquest aspecte s'incorpora un rebliment en el tub interior que actua com a mesclador estàtic. En concret s'opta per un mesclador estàtic de la marca Sulzer i model SMXL (ref. 25). Com a resultat, s'obté un augment de la velocitat del fluid que propicia un augment significatiu del coeficient de transferència de calor, d'aproximadament 4 cops respecte del tub buit. A més a més, proporciona una millora en el flux pistó que homogeneïtza el temps de residència en el reactor.

4.2.3.1. Influència de la concentració de catalitzador

Altrament, per tal de validar el model, s'ha dut a terme un estudi de l'efecte de la concentració d'iniciador respecte la conversió en funció del temps. Seguint el mateix procediment que en el cas anterior es calcula la conversió respecte del temps de reacció per diverses concentracions d'iniciador i a 180 °C. S'obtenen els resultats que es mostren en la següent figura:

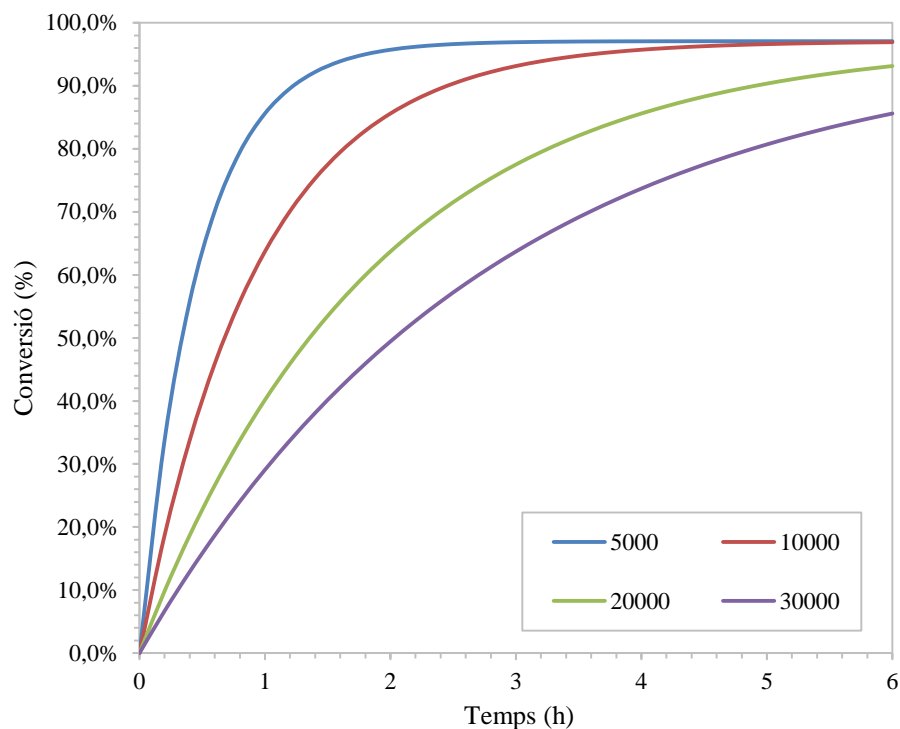


Figura 4.6. Influència de la concentració d'iniciador en la conversió en funció del temps. La quantitat d'iniciador s'expressa com a $[M]/[I]$.

En aquest cas, com és habitual en molts autors, s'expressa la quantitat d'iniciador com a $[M]/[I]$, monòmer/iniciador:

- $[M]/[I] = 5000 = 0,02 \text{ \% mol}$
- $[M]/[I] = 10000 = 0,01 \text{ \% mol}$
- $[M]/[I] = 20000 = 0,005 \text{ \% mol}$
- $[M]/[I] = 30000 = 0,0033 \text{ \% mol}$.

A partir de la comparativa, s'observa clarament que en augmentar la quantitat d'iniciador, la velocitat de reacció és molt més ràpida i s'aconsegueix la conversió màxima en un temps més curt.

Per validar les dades, es prova de reproduir una de les taules trobades a la bibliografia (ref. 22):

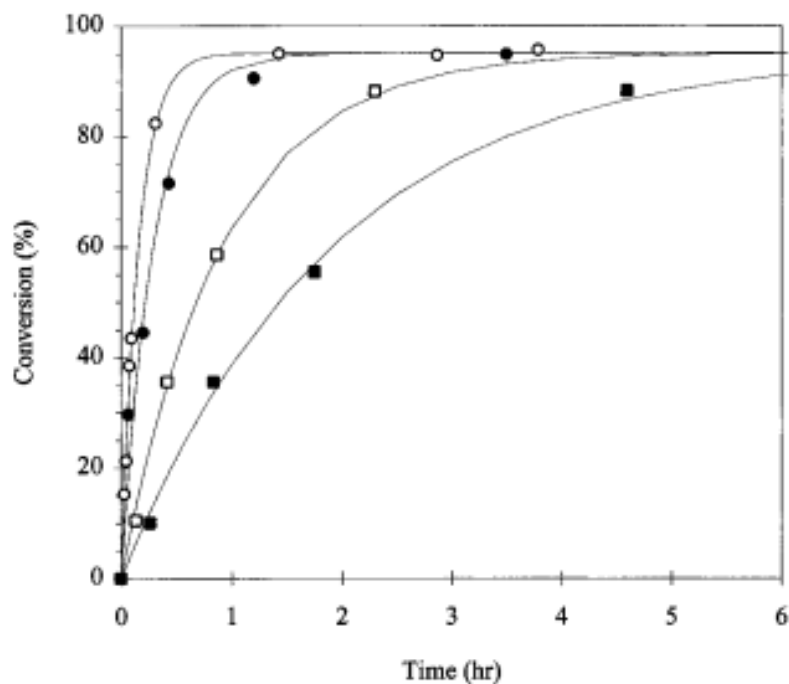


Figure 4. Effect of catalyst level on the kinetics of L-lactide polymerization at 220 °C. The solid lines are the reversible model fits for the respective monomer to initiator ratios: 10 100 (○); 20 000 (●); 39 600 (□); 79 300 (■).

Figura 4.7. Efecte de la concentració del catalitzador sobre la conversió en funció del temps i a 220°C (ref. 22).

Es reproduïx aquesta gràfica per la mateixa temperatura de 220 °C i les mateixes relacions de monòmer / iniciador:

- 10100 mol/mol = 0,0101 %mol
- 20000 mol/mol = 0,0200 %mol
- 39600 mol/mol = 0,0396 %mol
- 79300 mol/mol = 0,0793 %mol

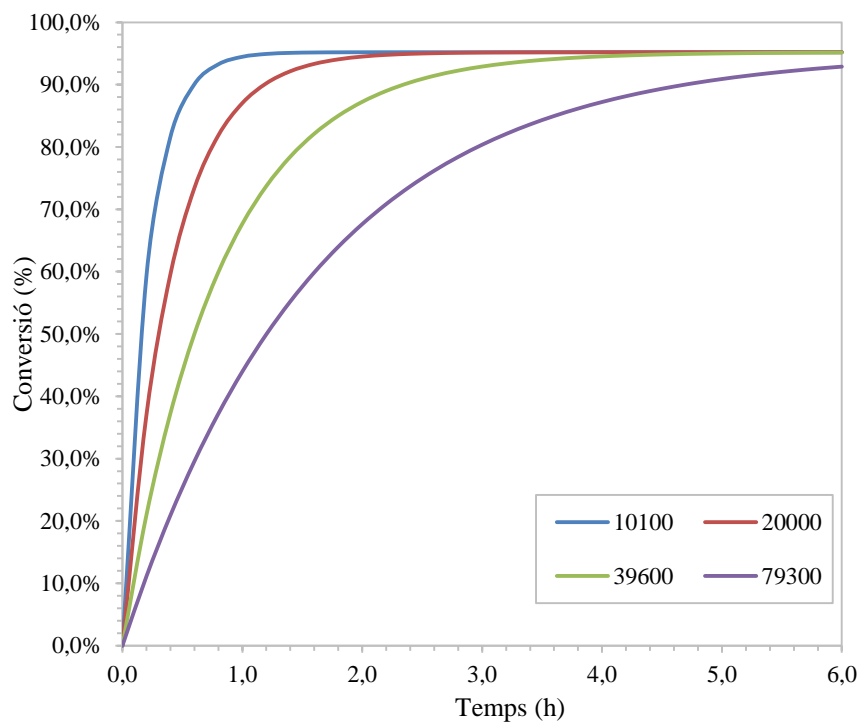


Figura 4.8. Efecte de la concentració del catalitzador sobre la conversió en funció del temps i a 220°C. Dades calculades.

Comparant les figures anteriors 4.7 i 4.8 s'aprecia com els resultats són molt semblants i, per tant, els resultats es donen com a vàlids.

4.2.3.2. Influència de la temperatura de reacció

Se segueix el mateix procediment anterior, però aquest cop estudiant les diferents temperatures de reacció. També es troba aquest tipus d'estudi a la bibliografia (ref. 22), de manera que també es pot realitzar la comparativa.

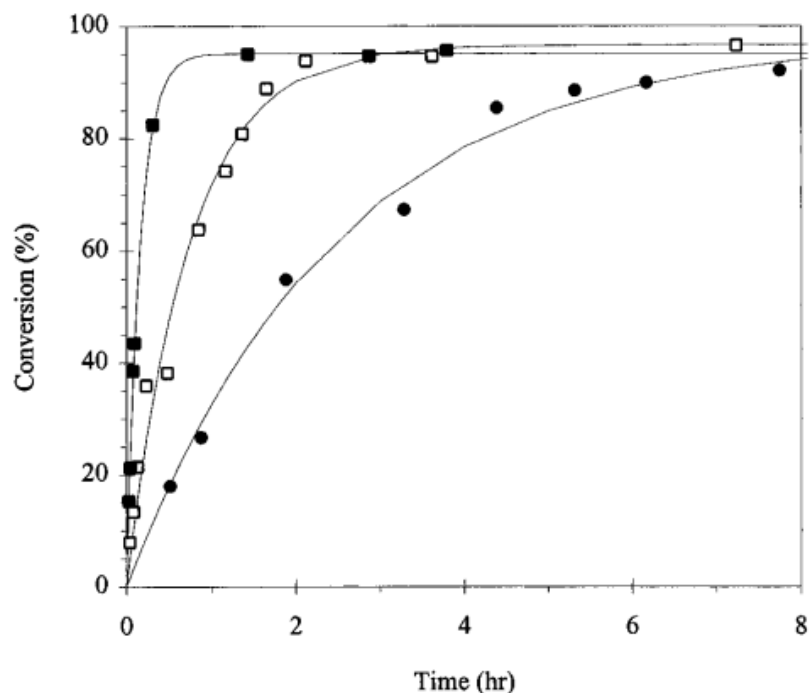


Figure 10. Effect of temperature on the kinetics of L-lactide polymerization with a monomer to initiator ratio of 10 000. The solid line is the reversible model for the respective temperatures: 220 °C (■), 190 °C (□), 160 °C (●).

Figura 4.9. Efecte de la temperatura sobre la conversió en funció del temps per una relació monòmer / iniciador de 10000 (0,01%mol) (ref. 22).

En aquest cas, s'ha fixat la relació monòmer / iniciador a 10000 (0,01 %mol) variant la temperatura. A través dels càlculs, s'obté la següent gràfica:

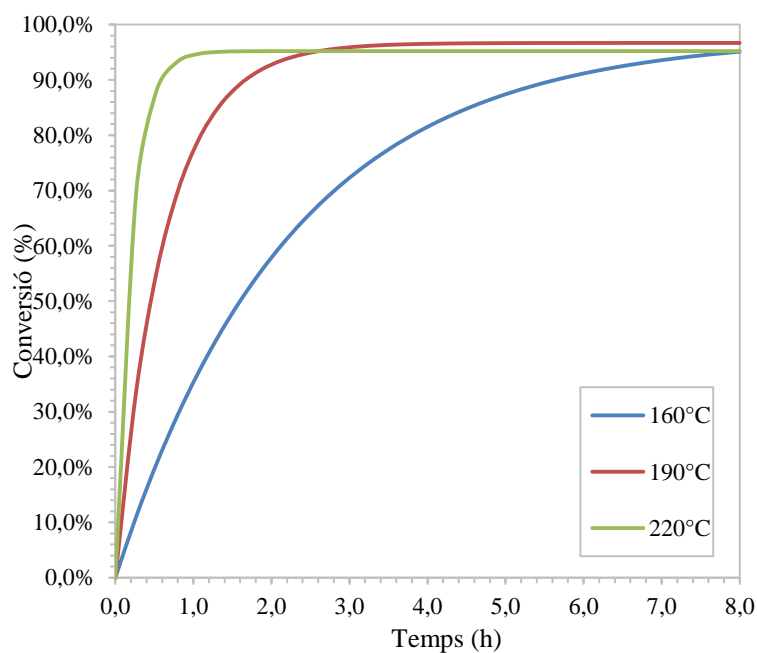


Figura 4.10. Efecte de la temperatura sobre la conversió en funció del temps per una relació monòmer / iniciador de 10000 (0,01%mol). Dades calculades.

S'observa un clar augment de la velocitat de reacció i, per tant de la conversió, a mesura que es treballa a temperatures de polimerització més altes. Altrament, comprant les figures 4.9 i 4.10, s'obtenen resultats molt semblants als bibliogràfics. Així doncs, les dades calculades també es donen com a correctes.

4.2.4. Disseny d'equips

En aquest apartat es disposen tots els equips que s'han dissenyat del procés, els mètodes que s'han emprat i les fitxes d'especificacions obtingudes.

4.2.4.1. Tanc d'emmagatzematge de lactida

Per garantir el correcte abastiment de matèria primera al procés de producció, es dissenya un tanc d'emmagatzematge amb la suficient capacitat i amb unes característiques concretes, tenint en compte les qualitats de la lactida.

4.2.4.1.1. Procediment i càlculs

Prèviament a realitzar el dimensionament del tanc cilíndric, s'ha tingut en compte el cabal de producció de 625 kg/h de PLA i el cabal necessari de lactida d'entrada del reactor, ja que aquest té una conversió del 95%:

$$Q_E = \frac{Q_F}{0,95} = 657,9 \text{ kg/h} \quad (4.16)$$

On Q_F és el cabal final de producció de 625 kg/h de PLA i Q_E és el cabal de lactida d'entrada del reactor.

S'ha establert que el volum farà referència a la quantitat necessària per la producció d'un dia, per això:

$$P_D = Q_E \cdot 24 = 15\,798 \text{ kg/dia} \quad (4.17)$$

On P_D és el cabal necessari de lactida per a la producció diària establerta.

Aleshores, serà necessari un tanc de lactida amb capacitat per a emmagatzemar 15,8 t.

Per a calcular la densitat de la lactida, s'utilitza l'equació següent, trobada a la bibliografia (ref. 22) i que l'expressa en funció de la temperatura:

$$\rho_L \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{1,145}{1 + 0,0007391 \cdot (T - 150)} \quad (4.18)$$

On ρ_L és la densitat de la lactida (g/cm^3) i T és la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Així doncs, per a una temperatura del tanc de 140 $^{\circ}\text{C}$, temperatura a la qual hauria d'arribar la lactida si es té en compte la polimerització de l'àcid làctic, la densitat de ρ_L és d'1,153 $\text{g}/\text{cm}^3 = 1153,5 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Tot seguit, es calcula el cabal volumètric d'entrada del reactor, que és el mateix que surt del tanc:

$$V_D = \frac{P_D}{\rho} = 13,7 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (4.19)$$

On V_D és el cabal volumètric de lactida per a la producció diària establerta.

Altrament, com que el tanc hauria d'estar com a màxim un 80% ple, d'acord amb les normes de seguretat de la planta, el volum del tanc serà de:

$$V = \frac{V_D}{0,8} = 17,1 \text{ m}^3 \sim 18 \text{ m}^3 \quad (4.20)$$

On V és, finalment, el volum del dimensionament del tanc.

Un cop obtingut el volum total del tanc, s'ha de tenir en compte que la relació h/d , on h és l'altura del tanc (m) i d és el diàmetre del tanc (m), ha d'estar entre 1 i 2. La relació, que s'ha escollit, és de 1,5. Si es considera que $h/d = 1,5$, és a dir, $h/2r = 1,5$, resulta que $h = 3r$.

Així doncs, l'equació del volum cilíndric és:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (4.21)$$

Donat que $h = 3r$, s'obté:

$$V = \pi \cdot 3 \cdot r^3 \quad (4.22)$$

On r és el radi (m).

I es calcula el radi utilitzant l'expressió:

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{3 \cdot \pi}} \quad (4.23)$$

En conseqüència, el radi és de 1,241 m i l'altura de 3,722 m.

Tot seguit, es considerarà que el tanc treballa a pressió atmosfèrica (tot i que es mantindrà l'atmosfera inerta de nitrogen per tal de no degradar la lactida), s'ha calculat el gruix de la paret i de la tapa toriesfèrica del cilindre segons les fórmules de l'ASME per protegir la integritat del tanc:

$$t_c = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C1 \quad (4.24)$$

$$t_t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{S \cdot E - 0,1 \cdot P} + C1 \quad (4.25)$$

On t_c és el gruix de la paret (mm), t_t és el gruix de la tapa toriesfèrica (mm), P és la pressió de disseny (kPa), R és el radi del cilindre de 1241 mm, L és el radi de major curvatura del fons toriesfèric que normalment, s'agafa igual al diàmetre intern. Per tant, pren un valor de 2481 mm, S és el límit elàstic del material del cilindre (kPa), E és el factor de soldadura i $C1$ és el sobregruix per corrosió (mm).

- Pressió de disseny

La pressió de disseny (P) s'ha calculat segons l'equació següent:

$$P_{m\grave{a}x\ treball} = P_{l\grave{i}quid} + P_{treball} \quad (4.26)$$

On $P_{l\grave{i}quid}$ és la pressió que tindrà la lactida al tanc i $P_{treball}$ és la pressió a la fase gas del tanc que, en estar amb lleugera pressió de nitrogen estarà compresa entre 0 i 1 barg, és per això que s'agafa la pressió màxima, 1 barg que equival a 10^5 Pa i/o 100 kPa.

$$P_{l\grave{i}quid} = \rho_L \cdot g \cdot h \quad (4.27)$$

On ρ és la densitat de la lactida a 140°C de $1153,5\text{ kg/m}^3$, g és la gravetat de la terra de $9,81\text{ m/s}^2$ i h és l'alçada del tanc de $3,72\text{ m}$.

Així doncs, la $P_{l\grave{i}quid}$ és de $42120\text{ Pa} = 42,12\text{ kPa}$ i, en conseqüència, la $P_{m\grave{a}x\ treball}$ és de $142,12\text{ kPa}$.

Segons s'ha indicat a les bases de disseny, per a calcular la pressió de disseny en recipients de pressió inferior a 10 barg s'aplica la fórmula:

$$P = P_{m\grave{a}x\ treball} + 1\text{ barg} \quad (4.28)$$

Per la qual cosa, es considera que la pressió de disseny del tanc és de $242,12\text{ kPa}$.

- Límit elàstic, S:

El límit elàstic és la tensió màxima a la qual es pot sotmetre el material segons la temperatura, en aquest cas, el material escollit és l'acer inoxidable INOX 316 degut a les característiques de la lactida. Aquest material té un límit elàstic de 115 MPa (ref. 18).

- Factor de soldadura, E:

Aquest factor té en compte el possible error que pugui cometre el límit elàstic, en altres paraules, dimensiona el tanc de manera que assegura que el material no es deformi quan està patint més tensió de l'estimada anteriorment. En aquest cas, és de $0,85$, ja que s'ha escollit una radiografia parcial (ref. 19).

- Sobregruix per corrosió, C1:

Aquesta sobregruix compensa la corrosió que els equips van patint durant el temps a causa de les substàncies. Aquest valor oscil·la d'entre 1 i 6 mm tenint en compte que la vida útil dels equips és d'uns 10 anys aproximadament. El valor que s'ha escollit és de 3 mm .

Amb tots els paràmetres determinats, es calcula t_c i t_t :

$$t_c = \frac{242,12 \cdot 1241}{(115 \cdot 10^3) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 242,12} + 3 = 6,08\text{ mm} \quad (4.29)$$

$$t_t = \frac{0,885 \cdot 242,12 \cdot 2481}{(115 \cdot 10^3) \cdot 0,85 - 0,1 \cdot 242,12} + 3 = 8,44\text{ mm} \quad (4.30)$$

4.2.4.1.2. Resultats obtinguts

En resum, els resultats obtinguts són els següents:

Taula 4.10. Resultats obtinguts del dimensionament del tanc de lactida.

Paràmetre	Valor	Unitats
Cabal d'entrada del reactor	657,89	kg/h
Densitat de la lactida a 140°C	1153,5	kg/m ³
Volum	18,0	m ³
Radi	1241	mm
Alçada	3722	mm
Pressió de disseny	242,12 · 10 ³	Pa
Límit elàstic	115 · 10 ⁶	Pa
Factor de soldadura	0,85	-
Sobregruix per corrosió	3	mm
Gruix de la paret cilíndrica	6,08	mm
Gruix de la tapa torisfèrica	8,44	mm

Finalment, el full d'especificacions del tanc TK5553 es troba a l'apartat 4.3.1.

4.2.4.2. Agitador del tanc

Tot i que el tanc està calorifugat, per tal d'assegurar que la temperatura del tanc, que en condicions normals treballarà a 140 °C, no baixi excessivament (per sota de 100 °C la lactida pot solidificar), s'ha dotat al tanc d'un traçat de vapor que es preveu que estigui en marxa als mesos d'hivern (2.160 h).

Per homogeneïtzar la temperatura de tot el producte contingut al tanc, evitant així punts calents, i afavorint l'intercanvi de calor amb les parets, s'ha decidit instal·lar un agitador.

L'agitador escollit és lateral i té una potència de 0,75 kW. El full d'especificacions d'aquest agitador es troba a l'apartat 4.3.2.

4.2.4.3. Bombes P5546A/B

La bomba P5546A s'ha inclòs al procés, ja que s'ha d'incrementar la pressió del corrent de lactida des d'1,2 bara fins a 2,0 bara, que és la pressió d'operació del reactor i la pressió necessària perquè flueixi el líquid per tot el sistema.

D'altra banda, a temperatura d'aquest corrent és de 140°C.

Pel fet que una avaria de la bomba provocaria l'aturada de tota la instal·lació, s'ha duplicat l'equip de manera que es tindrà una P5546B d'igual dimensionament. El tipus de bomba que s'ha escollit és de desplaçament positiu, ja que aquestes presenten alguns importants avantatges al nostre procés:

- Són generalment les escollides per a cabals baixos.
- El cabal és ajustable amb gran exactitud i reproductibilitat.

- Poden vehicular líquids amb viscositat alta.
- Ideals per a baixos números de revolucions de funcionament (baix consum d'energia).

S'ha utilitzat el software *CheCalc* (ref. 26) per calcular les pèrdues de càrrega a l'aspiració i impulsó per a poder determinar la pressió diferencial. Per començar, s'ha definit el corrent: el cabal de 0,570 m³/h de lactida, la seva densitat de 1153 kg/m³, la seva viscositat de 2,37 cP. S'ha calculat una pressió de vapor de 0,025 barg i s'ha considerat que la bomba és d'un 50% d'eficiència.

Després, s'han definit les condicions de succió i descàrrega:

Taula 4.11. Condicions de succió i de descàrrega.

Condicions	Unitats	Succió	Descàrrega
Pressió d'operació	barg	0,20	2,00
Alçada estàtica	m	0,90	0,00
Pèrdues d'equip	bar	0,00	0,50
Longitud	m	2,50	8,00
Polzada	"	1, Sch 40	1, Sch 40
Colzes 90°	-	1	5
T Branch	-	1	1
Vàlvula de bola	-	2	4
Vàlvula de retenció	-	0	1
Entrada de canonada	-	1	1

Finalment, l'energia consumida per una bomba, segons el *software* i després d'introduir aquestes dades, és de 0,070 kW. L'informe del *software* es troba a l'annex C.

Segons les característiques establertes de la bomba, s'ha decidit dimensionar-la segons el tipus JM-01 del catàleg de Talleres Pujol S.A (ref. 27). Aquest tipus són bombes de desplaçament positiu, d'engranatges i són ideals per a fluids de difícil segellat.

Les següents figures estan extretes del catàleg (ref. 27):

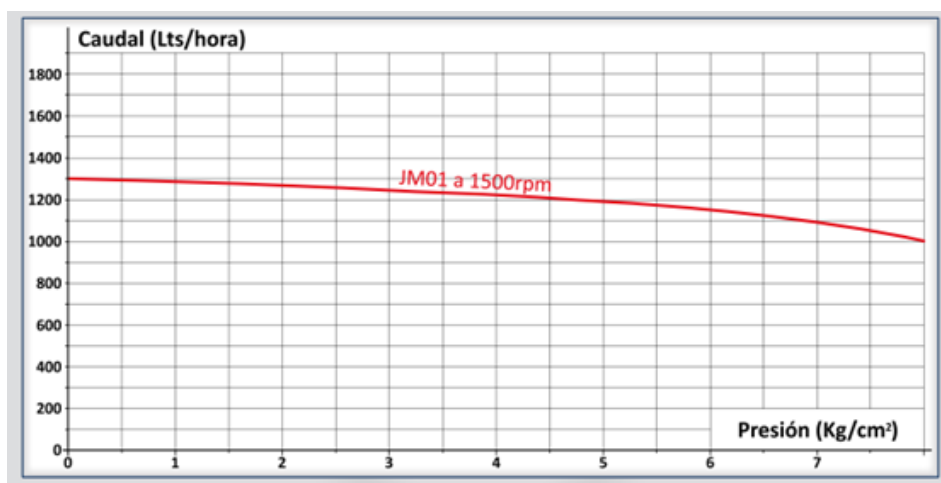


Figura 4.11. Gràfic cabal-pressió del model JM-01.

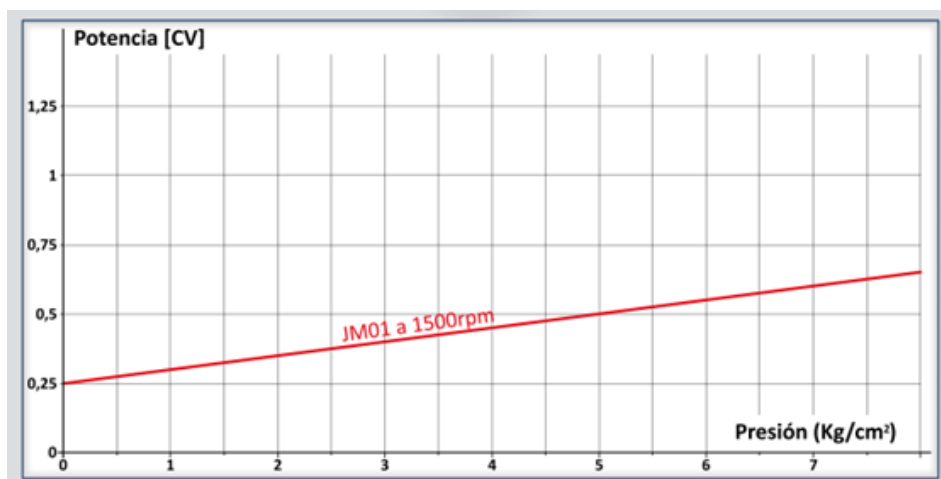


Figura 4.12. Gràfic potència-pressió del model JM-01.

Aquest tipus de bombes, a més de les característiques del desplaçament positiu, compten amb una cambra de calefacció per a bombejar fluids a temperatures de fins a 200 °C i una vàlvula de seguretat incorporada que evita la sobrepressió i es pot ajustar l'apertura a la pressió desitjada.

Aquestes bombes tenen una potència màxima de 0,5 kW. La bomba està força sobredimensionada, ja que al màxim de revolucions i a la pressió de descàrrega, treballa a 1200 kg/h. No obstant això, incorpora un variador de velocitat que permet ajustar les revolucions al cabal adient en cada moment.

Cal destacar també que aquesta bomba compta amb un acoblament magnètic Minex-S per assegurar l'estanquitat de la bomba, sent innecessari qualsevol tipus de tancament.

El full d'especificacions de les bombes P5546A/B es troben a l'apartat 4.3.3.

4.2.4.4. Bescanviadors

En aquest apartat es mostren els dissenys dels dos bescanviadors de calor contemplats al projecte: el bescanviador de la lactida i el del PLA. Tanmateix, es donen a conèixer els criteris que s'han tingut en compte pel disseny i també un pressupost aproximat del cost dels bescanviadors.

S'ha escollit la implementació de bescanviadors de carcassa i tubs perquè són els més utilitzats en la indústria química, fet que propícia una gran fiabilitat a causa de l'àmplia experiència en la seva utilització. A més a més, permet un ampli rang de condicions de pressió i temperatura i una bona operativitat tant amb líquids com amb vapors. Per últim, també presenten uns mètodes de construcció molt ben definits com és la normativa TEMA, així doncs, tots dos dissenys s'han realitzat seguint els estàndards d'aquesta normativa i mitjançant el programari Aspen Exchanger Design and Rating V10, que té aquests paràmetres en consideració.

4.2.4.4.1. Bescanviador de la lactida (E5533)

4.2.4.4.1.1. Descripció i paràmetres de l'equip

El bescanviador de la lactida està disposat abans del reactor de polimerització R5504 i té la funció d'escalfar aquesta matèria primera fins a la temperatura de reacció, de 140°C a 180°C. Per aconseguir aquest increment, s'alimenta l'intercanviador amb vapor saturat de mitja pressió a 12 barg.

El sentit de flux dels fluids és a contracorrent i es dona de la següent manera: pas de la lactida en estat líquid pels tubs i pas del vapor de mitja pressió per carcassa. Segons els criteris de:

- Tubos:
 1. Líquids.
 2. Fluids a pressió.
 3. Fluids amb major *fouling*.
- Carcassa:
 1. Gasos o vapors.
 2. Fluids a baixa pressió.
 3. Fluids amb menor *fouling*.

S'ha seleccionat un bescanviador tipus AEL d'un sol pas per carcassa i amb extrems del bescanviador totalment desmuntables per facilitar la neteja mecànica a l'interior dels tubs en cas de possible polimerització de la lactida. Els extrems són de placa fixa, ja que les diferències de temperatures del bescanviador no són altes i, per tant, els esforços tèrmics són reduïts i no hi ha risc que es produeixin fractures, descartant així les plaques flotants.

4.2.4.4.1.2. Càlculs previs

El cabal de lactida fixat pel disseny és de 658 kg/h i el cabal del corrent de vapor s'ha calculat tenint en compte les necessitats energètiques per augmentar la temperatura de la lactida i la calor latent que allibera el vapor en ser condensat. A continuació es mostren els càlculs realitzats:

- Energia necessària per augmentar la temperatura del corrent de lactida segons la seva capacitat calorífica mitja de les temperatures de disseny de 140°C a 180°C:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.31)$$

$$\dot{Q} = 658 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1,793+1,697}{2} \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (180 - 140)^\circ\text{C} = 45\,921 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

- Per calcular el cabal de vapor, es divideix pel calor latent de condensació del vapor saturat a 12 barg:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{L_c} \quad (4.32)$$

$$\dot{m}_v = \frac{45921 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{1972 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 23,3 \frac{\text{kg vapor}}{\text{h}}$$

Així doncs s'han de subministrar aproximadament 23,3 kg/h de vapor per escalfar la lactida fins a la temperatura desitjada.

D'altra banda, s'han calculat els factors d'embrutiment (*fouling*) dels fluids mitjançant les taules de l'annex D. Segons la viscositat, la lactida es considera com a orgànic mig i extrapolant s'obté un *fouling* de $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Respecte al vapor s'ha extrapolat segons la seva pressió i s'ha obtingut un factor d'embrutiment d' $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

4.2.4.4.1.3. Disseny obtingut

Els plànols obtinguts es troben en l'annex E, el full d'especificacions es troba a l'apartat 4.3.4 i les característiques més destacades es poden trobar a les següents taules:

Taula 4.12. Principals característiques operacionals del bescanviador de la lactida.

Fluid	Vapor de mitja pressió	Lactida
Cabal (kg/h)	23	658
Temperatura d'entrada (°C)	192	140
Temperatura de sortida (°C)	192	180
Pressió d'entrada (bar)	13,000	2,000
Pressió de sortida (bar)	12,998	1,991
<i>Fouling</i> ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	0,00011	0,00038
Calor bescanviat (kW)	12,8	

Taula 4.13. Principals característiques tècniques del bescanviador de la lactida.

Tipus de bescanviador	AEL
Disposició	Horitzontal
Material	Acer al carboni
-Tubs:	
Nombre de passos	2
Nombre de tubs	36
OD	20,0 mm
Gruix	2,6 mm
Llargada	1828,8 mm
Pitch	25,0 mm
Disposició	Triangular 30°
-Carcassa:	
Nombre de passos	1
ID	205 mm
OD	219,08 mm
Nombre de pantalles	3
Preu aproximat	9 200 €

4.2.4.4.2. Bescanviador del PLA (E5534)

4.2.4.4.2.1. Descripció i paràmetres de l'equip

Aquest bescanviador està dispost a la sortida del reactor de polimerització i abans de l'entrada a la columna de purificació del PLA. La funció d'aquest equip és augmentar el corrent de sortida del reactor fins a la temperatura d'operació de la columna de 180 °C a 220 °C. Per aconseguir aquest increment de temperatura s'alimenta l'intercanviador amb un corrent de vapor saturat d'alta pressió a 29 barg.

El sentit de flux dels fluids és a contracorrent i la disposició dels fluids es dona seguint els mateixos criteris que el bescanviador de la lactida: pas del PLA en estat líquid pels tubs i pas del vapor d'alta pressió per carcassa.

Tanmateix, com en el cas del bescanviador de la lactida, s'ha seleccionat un bescanviador tipus AEL d'un sol pas per carcassa i amb extrems del bescanviador totalment desmuntables per facilitar la neteja mecànica a l'interior dels tubs en cas que sigui necessari. Els extrems són de placa fixa, ja que les diferències de temperatures del bescanviador no són altes i, per tant, els esforços tèrmics tampoc són destacables i no hi ha risc que es produeixin fractures, descartant també les plaques flotants.

4.2.4.4.2.2. Càlculs previs

El cabal de producte fixat pel disseny és de 658 kg/h i el cabal del corrent de vapor s'ha calculat tenint en compte les necessitats energètiques per augmentar la temperatura del producte i la calor latent que allibera el vapor en ser condensat. Per facilitar els càlculs, es suposa un producte pur d'àcid polilàctic, tot i que una petita part estaria formada per lactida no reaccionada. A continuació es mostren els càlculs realitzats:

- Energia necessària per augmentar la temperatura del corrent de PLA segons la seva capacitat calorífica mitja de les temperatures de disseny de 140°C a 180°C:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.33)$$

$$\dot{Q} = 658 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (220 - 180) ^\circ\text{C} = 52632 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

En aquest cas, es suposa una C_p constant com que l'Aspen no disposa d'aquest compost a la base de dades pel que aquest i altres paràmetres s'han introduït de forma manual.

- Per calcular el cabal de vapor, es divideix per la calor latent de condensació del vapor saturat a 29 barg:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}}{L_c} \quad (4.34)$$

$$\dot{m}_v = \frac{52632 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{1795 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 29,3 \frac{\text{kg vapor}}{\text{h}}$$

Així doncs són necessaris aproximadament 29,3 kg/h de vapor d'alta pressió per escalfar el producte del reactor fins la temperatura desitjada.

D'altra banda, s'han calculat els factors d'embrutiment (*fouling*) dels fluids mitjançant les taules de l'annex D. Segons la viscositat, el PLA es considera com a orgànic pesat i extrapolant s'obté un *fouling* de $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Referent al vapor s'ha extrapolat segons la seva pressió i s'ha obtingut un factor d'embrutiment d' $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

4.2.4.4.2.3. Disseny obtingut

Els plànols obtinguts es troben en l'annex F, el full d'especificacions es troba a l'apartat 4.3.4 i les característiques més destacades es poden trobar a les següents taules:

Taula 4.14. Principals característiques operacionals del bescanviador del PLA.

Fluid	Vapor de mitja pressió	PLA
Cabal (kg/h)	29,3	658
Temperatura d'entrada (°C)	234	180
Temperatura de sortida (°C)	234	220
Pressió d'entrada (bar)	30,000	2,000
Pressió de sortida (bar)	29,999	1,988
<i>Fouling</i> ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	0,00013	0,00021
Calor bescanviat (kW)	14,6	

Taula 4.15. Principals característiques tècniques del bescanviador del PLA.

Tipus de bescanviador	AEL
Disposició	Horitzontal
Material	Acer al carboni
-Tubs:	
Nombre de passos	2
Nombre de tubs	48
OD	20,0 mm
Gruix	2,6 mm
Llargada	3657,6 mm
Pitch	25,0 mm
Disposició	Quadrangular 45° rotat
-Carcassa:	
Nombre de passos	1
ID	257,45 mm
OD	273,05 mm
Nombre de pantalles	6
Preu aproximat	15 000 €

4.2.4.5. Evaporador de pel·lícula agitada (S5523)

La funció principal de l'evaporador de pel·lícula agitada és separar el cabal PLA de la lactida que no ha reaccionat al reactor. S'ha simulat amb el programa *PROSIM*, el simulador de l'empresa, per dimensionar-lo.

En aquest equip, entra un cabal de mescla de PLA i lactida de 657,9 kg/h a 1,5 bara, que prèviament s'ha escalfat fins a 220 °C, ja que és la temperatura d'operació de l'evaporador. I es vol aconseguir una separació dels dos components per obtenir un corrent líquid de PLA a pressió 1,1 bara.

Com que el PLA no hi és a la biblioteca del simulador, s'ha considerat que el PLA és un inert perquè no pateix cap mena d'alteració. Es treballa per sota de les condicions d'evaporació del PLA i la seva temperatura no varia, per tant, es pot eliminar del balanç energètic.

Així, el cabal d'entrada de lactida és de 32,9 kg/h a 220 °C i 1,5 bara.

Tot seguit, s'utilitza el model termodinàmic NRTL segons es suggereix a la bibliografia (ref. 28). S'ha utilitzat un separador flash per la simulació.

Encara que per mantenir la temperatura dins l'evaporador, s'haurà d'aportar un corrent de vapor en conseqüència de l'absorció de calor de la vaporització de la lactida.

Aleshores, s'ha comprovat que tot el corrent de lactida s'evapora i es separa a 220 °C i a 0,3 bara.

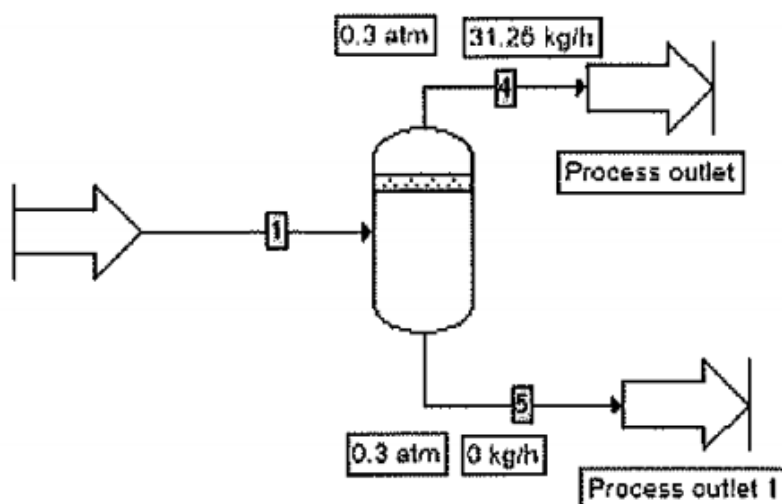


Figura 4.13. Simulació del separador flash amb el programa *PROSIM*.

```

DUTY = 3621.70      (kcal/h)

UTILITY EXCHANGER PROPERTIES
- LMDT           : 13.9625      (°C)
- F FACTOR       : 0.800000
- MDT            : 11.1700      (°C)
- U*A            : 324.235      (kcal/h/K)

UTILITY SIDE CONDITIONS:
- FLOWRATE       : 7.83436      (kg/h)
- VAPOR PRESSURE : 29.6208      (atm)
- SATURATION TEMPERATURE : 233.962      (°C)

```

Figura 4.14. Resultats de la simulació del separador.

Segons el report de la simulació que es troba a l'annex G, s'ha de subministrar un cabal de vapor de 7,8 kg/h a 233,6 °C i 30 bara per mantenir la temperatura de 220 °C dins de l'evaporador.

Taula 4.16. Especificacions dels corrents.

Component	Fase	Cabal (kg/h)	Temperatura (°C)	Pressió (bara)
PLA i lactida	L	657,9	220	1,5
PLA	L	625,0	220	1,1
Lactida	V	32,9	220	0,3
Vapor	V	7,8	233,6	30
Condensats	L	7,8	233,6	30

A més, d'aquesta simulació també es conclou que el $U \cdot A$ és de 324,235 kcal/h/K o, el que és el mateix, 377,1 W/K.

A la bibliografia (ref. 28), es troba la següent taula:

TABLE 8.3-1. *Typical Heat-Transfer Coefficients for Various Evaporators**
(B3, B4, L1, P2)

Type of Evaporator	Overall U	
	$W/m^2 \cdot K$	$Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
Short-tube vertical, natural circulation	1100–2800	200–500
Horizontal-tube, natural circulation	1100–2800	200–500
Long-tube vertical, natural circulation	1100–4000	200–700
Long-tube vertical, forced circulation	2300–11 000	400–2000
Agitated film	680–2300	120–400

* Generally, nonviscous liquids have the higher coefficients and viscous liquids the lower coefficients in the ranges given.

Figura 4.15. Energia interna bibliogràfica segons el tipus d'evaporador.

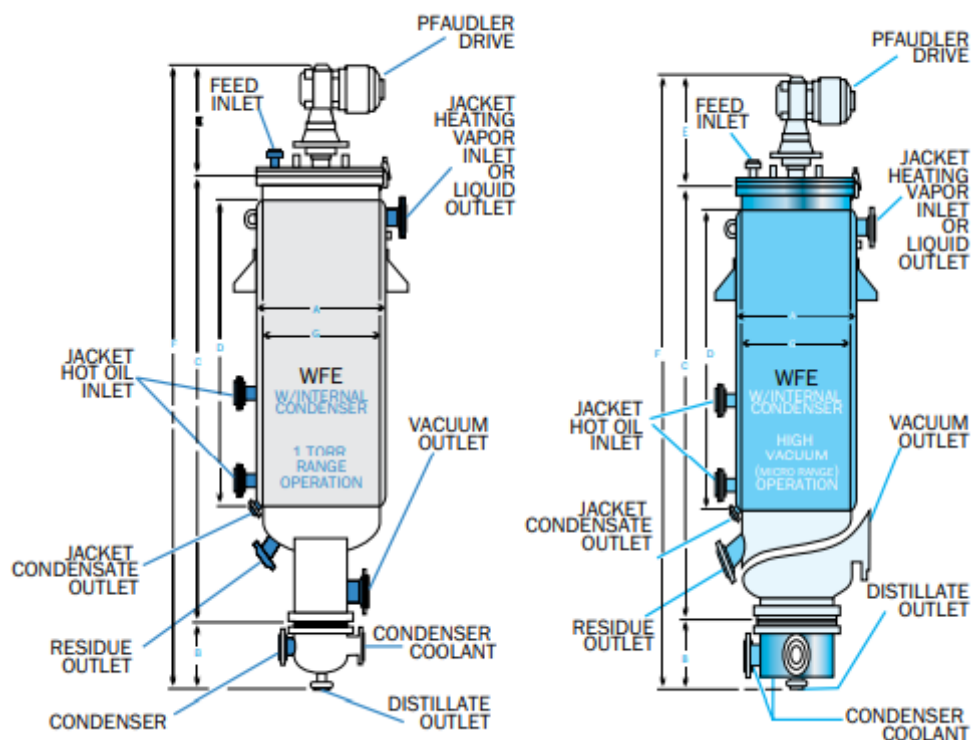
L'energia interna escollida és la més petita, per sobredimensionar l'evaporador, és a dir, 680 $W/m^2 \cdot K$.

Segons la següent equació es calcula l'àrea de l'evaporador:

$$(U \cdot A)_{simulador} = U_{bibliografia} \cdot A_{calculada} \quad (4.35)$$

$$377,1 = 680 \cdot A_{calculada} \quad (4.36)$$

L'àrea calculada de l'evaporador és de 0,55 m^2 . Després, per dimensionar l'evaporador s'ha escollit el catàleg de Pfaudler (ref. 36):



Evap. Surface No. Area Sq.m	Model Condenser	Internal Volume Area Sq.m	Jacket Volume Litre	Dimensions (mm)						
				A	B	C	D	E	F	Nominal Dia G
0.1	1.2-6V - 3.7	0.34	2.65	220	135	505	230	240	880	150
0.4	4.2-12L - 7	0.65	7.5	375	236	890	380	860	2000	300
0.4	4.2-12V - 19	1.77	7.5	375	212	1000	380	860	2070	300
0.8	8.8-12L - 12	1.11	16.6	375	230	1300	800	860	2400	300
0.8	8.8-12V - 27	2.55	16.6	375	212	1425	1230	840	2500	300

Figura 4.16. Dimensions segons el catàleg de Pfaudler (ref. 36).

On s'utilitza el model 8.8-12L-12 de 0,8 m², ja que és el que s'adapta més a les especificacions anteriors.

El full d'especificacions d'aquest evaporador es troba a l'apartat 4.3.5.

4.3. Fulls d'especificacions

4.3.1. Tanc d'emmagatzematge (TK5553)

Taula 4.17. Full d'especificacions del tanc d'emmagatzematge TK5553.

1	Item:	TK5553				
2	Service:	Storage of lactide				
3	Type of roof:	Toriospherical				
4	Capacity:	18 m ³				
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure	1.22	kg/cm ²	g	
6		Operating Temperature	140	°C		
7		Liquid Density	1153.5	kg/m ³		
8		Inlet flow	657.9	m ³ /h		
9	Outlet flow	657.9	m ³ /h			
10	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)	2.47	kg/cm ²	g	
11		Vacuum (abs.)		bar		
12		Design Temperature	140	°C		
13		Corr. Allow.	3	mm		
14		Courses:		Nº		
15		Joint Eff.				
16		Code:				
17		Radiograph:	85.00	%		
18		Stress Relieve:	X	Yes	Parts:	No
19		Insulation:	X	Yes	Thickness (mm.):	No
20	Fireproofing:		Yes		No	
21	Sandblast:		Yes	Grade:	No	
22	Paint:		Yes	Parts:	No	
23	Wt. Empty:		~2000	kg		
24	Wt. Full of product:		22763	kg		
25	Wt. Full of water:		20000	kg		
26	Hidrostatic Test (eff.)			kg/cm ²	g	
27	MATERIALS	Thickness (mm.)	Mat 1 Class			
28		Perimetral ring	6.08	AISI 316		
29		Shell course	6.08	AISI 316		
30		8				
31		7				
32		6				
33		5				
34		4				
35		3				
36		2				
37	1					
38	Roof	8.44	AISI 316			
39	Bottom	8.44	AISI 316			
40	NOZZLES	Service	Mark	No.	Dia.	Rating
41		Nitrogen In	A1		1"	
42		Lactide In	A2		1"	
43		Lactide Return	A3		1"	
44		Heater Steam In	A4		1"	
45		Gases Out	B1		1"	
46		Lactide Out	B2		1"	
47		Heater Steam Out	B3		1"	
48		PI and PT	P		1"	
49		TT	T		1"	
50		LSL	N1		1"	
51		PdT	N2		1"	
52		PdT	N3		1"	
53		LSH	N4		1"	
54	PSV	X		1"		
55	NOTES:					
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62	0					
63	REV.	DATE	PREP.	APPR.		
64						

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Departament d'Enginyeria Química

4.3.2. Agitador del tanc (TK5553)

Taula 4.18. Full d'especificacions de l'agitador del tanc d'emmagatzematge de la lactida.

Full d'especificacions Agitador del tanc TK5553		Descripció:	Agitador lateral del tanc TK5553
		Aplicació:	Agita l'entrada d'alimentació de lactida i la lactida recirculada.
		Fluid:	Lactida
		Marca:	FluidMix de la sèrie HPS3 (ref. 37)
		Tipus:	HPS3-05 16 B 40 (ref. 37)
Volum:	10 – 500 m ³		
Potència:	0,75 kW		
Velocitat:	200 rpm		
Eix:	AISI 316		
Hèlix:	AISI 304		
Motors:	ATEX		
Brides:	ANSI		
Hèlix de perfil axial de 3 pales tipus S			
Tancament mecànic de carbur de silici			
Brida de tancament d'emergència			
Manteniment amb el tanc ple			
Dimensions agitador:			
A (mm)	306		
B (mm)	235		
D (mm)	400		
L (mm)	550		
N (mm)	210		
P (mm)	250		
ZxS (mm)	8x18		
Pes (kg)	40		
Quantitat (nº)	1		
Quantitat (nº)	1		
Capacitat del tanc:	18 m ³		
Temperatura:	140 °C		
Pressió:	1,2 bara		

4.3.3. Bombes de desplaçament positiu (P5546A/B)

Taula 4.19. Full d'especificacions de les bombes P5546A/B.

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET					
1	Nº OF PUMPS	RUN: 1	SPARE: 1	Pump Curve	
2	SERVICE	P5546A/B			
3		LIQUID PUMPING FROM			
4		TK5553 TO E5533			
5	FLUID PUMPED	LACTIDE			
6	OPER. TEMP	140	°C		
7	DENSITY	1154	kg/m ³		
8	VISCOSITY	2.4	cP		
9	VAPOR PRESS.	bar			
10	NORM.CAPACITY	0.57	m ³ /h		
11	MAX.CAPACITY	1.1	m ³ /h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT.PR.,	0.3	kg/cm ² g		
15	NPSH (m.w.c.)	2.4	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	LIQUID HEAD	0.2	kg/cm ² g		
19	TOTAL DISCH.PR.,	1	kg/cm ² g		
20	DIFF.PRESSURE	0.8	kg/cm ²		
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	20	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	Magnetic Drive Gear Pump			
24	ESTIMATED EFF.	-50	%		
25	ESTIMATED Rot.frec	15	s-1		
26	ESTIMATED Power	0.3	kW		
27	TYPE DRIVER				
28	STEAM (abs.)	kg/cm ² g	°C		
29	ELECTRICITY	V:	PH:	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE	AISI 316			
34	IMPELLER	AISI 316			
35	SHAFT	AISI 316 dichromed			
36	SHAFT SLEEVE	AISI 316 dichromed			
37	SEAL/PACKING	Minex-S			
38	MAGNETIC DRIVE	Minex-S			
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction		2	1"	
42	Discharge		3	1"	
43					
44					
45	0				
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					

Gen.Arr.Drawin

Modelo	Motor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
JM-01	Carcasa 80	147,5	97,5	423	48	375	½" Gas	100	125	190	100	125	154	10

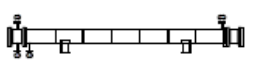
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Departament d'Enginyeria Química

4.3.4. Bescanviadors (E5533 i E5534)

Taula 4.20. Full d'especificacions TEMA del bescanviador de la lactida E5533.

1	Company: Ercros													
2	Location: Ercros Vila-seca II - PLA Plant Project													
3	Service of Unit: Lactide Heat Exchanger					Our Reference:								
4	Item No.: 1					Your Reference: E-101								
5	Date: 05/04/2020		Rev No.: -			Job No.: -								
6	Size: 203 - 1828.8		mm		Type: AEL Horizontal		Connected in: 1 parallel			1 series				
7	Surf/unit(eff.)		4		m ²		Shells/unit		1	Surf/shell(eff.)		4	m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT													
9	Fluid allocation				Shell Side				Tube Side					
10	Fluid name				Medium Pressure Steam				Lactida					
11	Fluid quantity, Total				kg/h				23		658			
12	Vapor (In/Out)				kg/h		23		1	0		0		
13	Liquid				kg/h		0		22		658		658	
14	Noncondensable				kg/h		0		0		0		0	
15														
16	Temperature (In/Out)				°C		191.95		191.95		140		180	
17	Bubble / Dew point				°C		191.95 / 191.95		191.95 / 191.95		/		/	
18	Density Vapor/Liquid				kg/m ³		6.47 /		6.47 / 812.93		/ 1314.98		/ 1279.9	
19	Viscosity				mPa-s		0.0162 /		0.0162 / 0.1395		/ 2.3703		/ 1.3318	
20	Molecular wt, Vap						18.02		18.02					
21	Molecular wt, NC													
22	Specific heat				kJ/(kg-K)		2.078 /		2.078 / 5.053		/ 1.697		/ 1.793	
23	Thermal conductivity				W/(m-K)		0.0331 /		0.0331 / 0.6707		/ 0.1847		/ 0.1783	
24	Latent heat				kJ/kg		2045.2		2045.3					
25	Pressure (abs)				bar		13		12.99848		2		1.99077	
26	Velocity (Mean/Max)				m/s		0.02 / 0.11				0.05 / 0.05			
27	Pressure drop, allow./calc.				bar		0.25855		0.00152		0.5		0.00923	
28	Fouling resistance (min)				m ² -KW		0.00011				0.00038		0.00051 Ao based	
29	Heat exchanged		12.8		kW		MTD (corrected)		27.05		°C			
30	Transfer rate, Service		119.2		Dirty		142.8		Clean		156.9		W/(m ² -K)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL										Sketch			
32					Shell Side				Tube Side					
33	Design/Vacuum/test pressure		bar		14.479 /		/		3.44738 /		/			
34	Design temperature		°C		215.56				215.56					
35	Number passes per shell				1				2					
36	Corrosion allowance		mm		3.18				3.18					
37	Connections		In		mm		1 12.7 /		- 1 12.7 /		-			
38	Size/Rating		Out		1 12.7 /		- 1 12.7 /		-					
39	Nominal		Intermediate		/		-		/		-			
40	Tube #: 36		OD: 20		Tks. Average 2.6		mm		Length: 1828.8		mm		Pitch: 25 mm Tube pattern:30	
41	Tube type: Plain		Insert:None		Fin#:		#/m		Material:Carbon Steel					
42	Shell Carbon Steel		ID 205		OD 219.08		mm		Shell cover		-			
43	Channel or bonnet		Carbon Steel						Channel cover		Carbon Steel			
44	Tubesheet-stationary		Carbon Steel		-				Tubesheet-floating		-			
45	Floating head cover		-						Impingement protection		None			
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type		Single segmental		Cut(%d)		39.44		VertiSpacing: c/c 406.4		mm	
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet		468.31		mm	
48	Supports-tube		U-bend		0				Type					
49	Bypass seal								Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A'T)			
50	Expansion joint		-						Type		None			
51	RhoV2-Inlet nozzle 277				Bundle entrance 0				Bundle exit 0		kg/(m-s ²)			
52	Gaskets - Shell side		-		Tube side				Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head		-											
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class		R - refinery service					
55	Weight/Shell		293.5		Filled with water 345.6		Bundle 109.6		kg					
56	Remarks													
57														
58														

Taula 4.20. Full d'especificacions TEMA del bescanviador del PLA E5534.

1	Company:														
2	Location:														
3	Service of Unit:					Our Reference:									
4	Item No.:					Your Reference:									
5	Date:		Rev No.:			Job No.:									
6	Size:	257 - 3657.6	mm	Type:	AEL Horizontal	Connected in:		1 parallel	1 series						
7	Surf/unit(eff.)	10.8	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)		10.8	m ²						
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT														
9	Fluid allocation			Shell Side			Tube Side								
10	Fluid name			High Pressure Steam			PLA								
11	Fluid quantity, Total			29			658								
12	Vapor (In/Out)			29			1		0		0				
13	Liquid			0			28		658		658				
14	Noncondensable			0			0		0		0				
15															
16	Temperature (In/Out)			233.63			233.63		180		220				
17	Bubble / Dew point			233.63 / 233.63			233.63 / 233.63		/		/				
18	Density Vapor/Liquid			14.57 /			14.57 / 757.6		/ 1070		/ 1070				
19	Viscosity			0.0181 /			0.0181 / 0.1154		/ 2.7		/ 2.7				
20	Molecular wt, Vap			18.02			18.02								
21	Molecular wt, NC														
22	Specific heat			2.281 /			2.281 / 5.515		/ 2		/ 2				
23	Thermal conductivity			0.0373 /			0.0373 / 0.6371		/ 0.196		/ 0.196				
24	Latent heat			1863			1863								
25	Pressure (abs)			30			29.9989		2		1.98801				
26	Velocity (Mean/Max)			0.01 / 0.04			0.04 / 0.04								
27	Pressure drop, allow./calc.			0.4			0.0011		0.5		0.01199				
28	Fouling resistance (min)			0.00013			0.00021		0.00028		Ao based				
29	Heat exchanged			14.6			kW		MTD (corrected)		29.21 °C				
30	Transfer rate, Service			46.4			Dirty 58.2		Clean 59.6		W/(m ² -K)				
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL						Sketch								
32				Shell Side			Tube Side								
33	Design/Vacuum/test pressure			33 / /			3		/ /						
34	Design temperature			255			255								
35	Number passes per shell			1			2								
36	Corrosion allowance			3.18			3.18								
37	Connections			In 1 12.7 / -			1 12.7 / -								
38	Size/Rating			Out 1 12.7 / -			1 12.7 / -								
39	Nominal			Intermediate / -			/ -								
40	Tube #:	48	OD:	20	Tks. Average	2.6	mm	Length:	3657.6	mm	Pitch:	25	mm	Tube pattern:	45
41	Tube type: Plain			Insert:None			Fin#:		#/m		Material:Carbon Steel				
42	Shell Carbon Steel			ID	257.45	OD	273.05	mm		Shell cover -					
43	Channel or bonnet Carbon Steel			Channel cover Carbon Steel											
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel			Tubesheet-floating -											
45	Floating head cover -			Impingement protection None											
46	Baffle-cross Carbon Steel			Type	Single segmental	Cut(%d)	43.13	VertiSpacing: c/c		510	mm				
47	Baffle-long -			Seal Type			Inlet				514.28	mm			
48	Supports-tube U-bend			0			Type								
49	Bypass seal			Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'I')								
50	Expansion joint -			Type			None								
51	RhoV2-Inlet nozzle 199			Bundle entrance			0	Bundle exit		0	kg/(m-s ²)				
52	Gaskets - Shell side			Tube side			Flat Metal Jacket Fibe								
53	Floating head														
54	Code requirements			ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class		R - refinery service						
55	Weight/Shell			599.7	Filled with water		768.2	Bundle		256.5	kg				
56	Remarks														
57															
58															

4.3.5. Evaporador de pel·lícula agitada (S5523)

Taula 4.21. Full d'especificacions de l'evaporador S5523.

1	GENERAL	Manufacturer:	Pflauder - 8.8-12L-12								
2		Item:	S5523								
3		Service:	Lactide Evaporator								
4		Type:	Agitated film								
5	OPER. CONDIT.	Product	Lactide								
6		Temper.	220	°C							
7		Pressure	-0.7	kg/cm ² g							
8		Liquid Density	1153	kg/m ³							
9		Liquid Viscosity	2.7	cP							
10		Tray Number (Bottom Tray=No.1)	1								
11		Tower Inside Diamenter	300	mm.							
12		Tray Spacing	-	mm.							
13		Max. ΔP per Tray	-	kg/cm ²							
14		Minimum Area/Downcomer	-	m ²							
15	Valves, Bubble Caps / Tray	-									
16	Perforations / Tray	-									
17	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	-1.03	kg/cm ² g							
18		Des.Temp.	220	°C							
19		Liquid Density	1153	kg/m ³							
20		Design Range		%							
21		Hydr.Test		kg/cm ² g							
22		Code:									
23		Corr.Allow.mm: Shell / Heads		mm.							
24		Joint Efficiency:		%							
25		Stress Rel.:	X	Yes No							
26		Radiograph:		Yes No							
27	Sandblast:		Yes No								
28	Paint:		Yes No								
29	Insulation:	X	Yes No								
30	Fireproofing:		Yes No								
31	Wind Load:		N/m ²								
32	Seismic:		Yes No								
33	Wt.Empty:		kg								
34	Wt.Full Water:		kg								
35											
36	I N T R A C T A L S	Tray No.	Diam.	Spacing	Material						
37		Thru	to								
38		Thru	to								
39		Thru	to								
40		Thru	to								
41		Contact Device:									
42				Bubble Caps							
43				Valves							
44				Perfor.							
45		Packing:									
46	Demister:										
47	M A T E R I A L	Shell-Top	Thick. (mm.)		Matl Class						
48		Intermed			AISI 316						
49		Bottom									
50		Head-Top			AISI 316						
51		Intermed									
52		Bottom									
53		Cone Section			AISI 316						
54		Cladding, Lining			AISI 316						
55											
56											
57											
58											
59	N O Z L E	Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating
60		PLA + Lactide In	A1		1"						
61		HP Steam In	A2		1"						
62		Lactide Out	B1		1"						
63		HP Steam Out	B2		1"						
64		Purified PLA Out	B3		1"						
65		Temperature Transmissor	T		1"						
66		Diferential Pressure Transmissor	N1		1"						
67		Diferential Pressure Transmissor	N2		1"						
68		Pressure Transmissor	P		1"						
69											
70											
71											
72	NOTES:										
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79	0										
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.							
81											

Dimensions (mm)							Nominal Dia
A	B	C	D	E	F	G	
375	230	1300	800	880	2400	300	

4.4. Descripcions

En aquest punt s'explica el funcionament de la planta i les principals especificacions tècniques dels equips del procés.

4.4.1. Descripció funcional del projecte

Es poden distingir tres zones dins de la planta de fabricació de PLA: l'emmagatzematge de la lactida, la reacció de polimerització per formar el PLA i la purificació d'aquest. La resta del procés, es centra a proporcionar les condicions idònies perquè aquestes parts es duguin a terme de forma correcta i de forma segura.

En primer lloc, la planta de producció rep 625 kg/h de lactida líquida, a 140 °C i 1,2 bara, a través d'una canonada provinent d'una planta propera. Aquesta lactida és la matèria primera principal i s'emmagatzema en el tanc TK5553. Les condicions d'emmagatzematge són de 140°C i una pressió lleugerament superior a l'atmosfèrica, com que el tanc té una atmosfera controlada de nitrogen per evitar l'oxidació del producte. En el tanc també s'emmagatzema la recirculació de la lactida no reaccionada en la polimerització. Aquest corrent és de 32,9 kg/h, 140°C i 1,2 bara.

Els següents passos del procés consisteixen a adaptar les condicions del corrent de sortida de lactida per dur a terme la reacció. Per realitzar-ho, es compta primerament amb un sistema de bombeig format per les bombes P5546A/B, que impulsen el corrent a 657,9 kg/h i 2 bara. Un cabal calculat que permet arribar als objectius de producció fixats i una pressió calculada tenint en compte les pèrdues de càrrega per tal d'assegurar el flux de les matèries per tot el procés. A continuació, per aconseguir arribar a la temperatura de reacció, es compta amb un bescanviador de calor (E5533) que aporta 12,8 kW de calor per mitjà d'un corrent de vapor MP a 23 kg/h i amb una pèrdua de càrrega gairebé inapreciable, permetent augmentar la temperatura del corrent de lactida de 140 a 180 °C. L'últim pas de condicionament als paràmetres de reacció, és l'addició del catalitzador. Per fer-ho, es compta amb un mesclador estàtic (MZ5500) que mescla els corrents líquids de lactida i el corrent de catalitzador en una relació del 0,01% molar. El catalitzador utilitzat és octoat d'estany dissolt en NIL.

Un cop aconseguides les condicions de reacció i afegit el catalitzador, es duu a terme la reacció de polimerització de la lactida per apertura d'anell en el reactor R5504, on s'aconsegueix un 95% de conversió a PLA. La reacció és exotèrmica ($\Delta H = -23,3$ kJ/mol), el que suposa que el reactor ha de tenir un sistema de refrigeració que ha de bescanviar 29,5 kW per mantenir la temperatura a 180°C. Com a refrigerant s'utilitza aigua de torre amb un cabal de 2544 kg/h amb unes temperatures d'entrada i sortida de 27 i 37 °C aproximadament.

En següent lloc, es realitza un augment de temperatura de 180 a 220 °C. Es fa mitjançant el bescanviador E5534 i té l'objectiu d'arribar a la temperatura d'operació de l'evaporador. L'escalfament es duu a terme a través de vapor HP a 29 kg/h i un bescanvi de calor de 14,6 kW.

Per últim, es purifica el PLA per mitjà de l'evaporador S5523, que opera en unes condicions de 220 °C i 0,3 bara. Aquest equip té l'objectiu de separar el PLA i la lactida aprofitant la diferència de volatilitat relativa. D'aquesta manera, la lactida, que és el component amb una major volatilitat relativa s'evapora formant un corrent de lactida en fase vapor de 32,9 kg/h que surt pel cap de la columna de l'evaporador. I d'altra banda, el PLA es manté en estat líquid i s'evacua

per gravetat per la part inferior de l'equip a 625 kg/h. Per mantenir la temperatura de l'evaporador constant, s'aplica vapor HP a 7,8 kg/h per compensar l'energia perduda a causa de l'evaporació de la lactida, que suposa 4,2 kW. El buit es fa per mitjà d'ejectors que no entren a l'abast del projecte i la lactida, com s'ha comentat al principi d'aquest punt, es condensa, es condiona a 140 °C i 1,2 bara i es recircula fins al tanc d'emmagatzematge, per mitjà d'equips que també estan fora de l'abast del projecte.

4.4.2. Descripció de la instal·lació

Per emmagatzemar la lactida disposem d'un tanc d'Acer Inoxidable 316 de 18m³, per seguretat i per evitar pèrdues de calor importants el tanc està calorifugat i, a més a més, es compta amb un sistema de calefacció del tanc per evitar un descens molt gran de la temperatura que fins i tot pugui provocar la solidificació de la lactida. El sistema consisteix en un traçat de vapor de baixa pressió (LS1) al volant del tanc i un agitador lateral de la marca FluidMix del model HPS3-05 16 B 40, impulsat pel motor elèctric PM5503 d'una potència de 0,75 kW. Les línies d'entrada al tanc són la 25LT01102-HI corresponent a la lactida, la 25N201102 que transporta el nitrogen, la 25RL01102-HI que correspon al retorn de la lactida no reaccionada i la 25LS101101-HI que és l'entrada de vapor LS1 al traçat calefactor. Altrament, les línies de sortida són la línia 25TG01102-HI dels gasos de sortida del tanc per tractar, la 25LC101101-HI corresponent als condensats del traçat de vapor i la 25LT01103-HI que és el corrent de lactida. Totes aquestes línies estan calorifugades (HI) menys l'entrada de nitrogen, i tenen un diàmetre de canonada d'una polsada (25 mm).

Seguint la línia de sortida de lactida del tanc (25LT01103-HI), es troba el sistema d'impulsió per bomba (P5546A/B) del model JM-01 de la casa Bombas Pujol S.A.. És una bomba de desplaçament positiu d'engrenatges amb arrossegament magnètic que incorpora un variador de velocitat d'entre 160 i 940 rpm, que aportaria un cabal d'un rang de 123-721 litres/h i una pressió màxima de descàrrega de 8 bar. També compta amb una vàlvula de seguretat per sobreprensions, una càmera de calefacció i un acoblament magnètic per assegurar la l'estanqueïtat de la bomba.

La línia de descàrrega de la bomba (25LT01104-HI), dona al bescanviador E5533 que escalfa la lactida mitjançant un bescanviador de tubs i carcassa tipus AEL horitzontal, totalment calorifugat. Compleix les dimensions estàndard de la normativa TEMA, concretament té 203 mm d'amplada i 1829 mm de llargada. A més d'això, està format per 36 tubs de 1828,8 mm de llargada, doble pas per carcassa, d'un diàmetre exterior de 20 mm i un gruix de 2,6 mm. El vapor de mitja pressió entra per la línia 25MPS01101-HI i es disposa per la carcassa, i els condensats surten per la línia 25MPC01101-HI.

La sortida de la lactida del bescanviador (25LT01105-HI), dona al mesclador estàtic que hi mescla el catalitzador provinent de la línia 25CAT01101 i seguidament entra al reactor R5504. El reactor és de flux tubular de 2,26 m³, de 6000 mm de longitud i 700 mm d'amplada (ID=692 mm i OD=711 mm). Per refrigerar el reactor, es compta amb un tub exterior (ID=743 mm i OD=762 mm) per on circula aigua de refrigeració de torre provinent de la 25TW01101. També es disposa d'un rebliment del tub interior model SMXL de la marca Sulzer, que permet augmentar el coeficient de transferència de calor fins a 4 cops respecte del tub buit.

Seguint la línia de sortida del reactor (25PLA01101-HI) dona al bescanviador E5534 que escalfa el PLA per mitjà d'un bescanviador de tubs i carcassa tipus AEL horitzontal, totalment

calorifugat. Compleix les dimensions estàndard de la normativa TEMA, concretament té 257 mm d'amplada i 3658 mm de llargada. A més a més, està format per 48 tubs de 1828,8 mm de llargada, doble pas per carcassa, d'un diàmetre exterior de 20 mm i un gruix de 2,6 mm. El vapor d'alta pressió entra per la línia 25HPS01101-HI i es disposa per la carcassa, i els condensats surten per la línia 25HPC01101-HI.

La línia de sortida del PLA (25PLA01102-HI), dona a l'evaporador de pel·lícula agitada S5523. L'evaporador és de la marca Pfaudler, del model 8.8-12L-12, té una capacitat de 60 litres i està calorifugat. La lactida en fase vapor abandona l'evaporador per la línia 25RL01101-HI i el PLA a través de la 25PLA01103-HI. Per compensar les pèrdues de calor degudes a l'evaporació, es fa servir un encamisat de 16,6 litres, que és alimentat amb vapor d'alta pressió a través de la línia 25HPS01102-HI i els condensats s'evacuen per la 25HPC01102-HI.

5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

En aquest capítol es tracta tot el que fa referència a la seguretat de la planta. Comprèn una anàlisi de riscos i operativitat, basada en el mètode HAZOP, la determinació de les zones ATEX segons la normativa vigent i el sistema de seguretat a les possibles sobrepressions que puguin patir equips i línies.

5.1. Anàlisi de riscos i operativitat

5.1.1. Descripció del mètode HAZOP

L'anàlisi de riscos i operabilitat (HAZard and Operability Analysis, HAZOP), es coneix també com a anàlisi funcional d'operativitat (AFO) o anàlisi operativa (AO). La Chemical Industry Association defineix el HAZOP com l'aplicació d'un examen crític, formal i sistemàtic a un procés o projecte d'enginyeria de nova instal·lació, per avaluar el risc potencial de l'operació o funcionament incorrecte dels components individuals dels equips, i els consegüents efectes sobre la instal·lació com a conjunt.

L'anàlisi HAZOP és una tècnica deductiva per a identificar, avaluar qualitativament prevenir el risc potencial i els problemes d'operació derivats del funcionament incorrecte d'un sistema tècnic. L'anàlisi pretén, mitjançant un protocol relativament senzill, estimular la creativitat d'un equip d'experts amb diferent formació per a trobar els possibles problemes operatius.

La tècnica es basa en el fet que les desviacions en el funcionament de les condicions normals d'operació i disseny acostumen a conduir a un error del sistema. La identificació d'aquestes desviacions es realitza mitjançant una metodologia rigorosa i sistemàtica. L'error del sistema pot provocar des d'una parada sense importància del procés fins a un accident de greus conseqüències.

-Metodologia de l'anàlisi:

El pas previ per al desenvolupament de l'anàlisi és la identificació de l'objectiu i de l'abast de l'estudi, dels límits físics de la instal·lació o el procés que es vol estudiar i de la informació necessària. Endemés, cal estudiar el procés i conèixer tota la informació disponible, preparar-la i organitzar-la.

Després de l'estudi previ es pot començar l'anàlisi pròpiament dita. El primer pas és la selecció dels elements crítics que s'han d'estudiar (dipòsits, reactors, separadors, etc.).

A continuació, sobre cada node d'estudi, que correspon a cada línia de cada element seleccionat, i de forma seqüencial i repetitiva, s'apliquen les paraules guia (no, més, menys, altre, part de, etc.) a cada una de les condicions d'operació del procés, les substàncies i les variables que intervenen (flux, pressió, temperatura, nivell, temps, etc.).

Operant d'aquesta manera es generen les desviacions significatives de les condicions normals d'operació i es realitza un repàs exhaustiu dels possibles funcionaments anòmals.

-Paraules guia:

- No (negació de la intenció del disseny)
- Més (augment quantitatiu)
- Menys (disminució quantitativa)
- Altre (substitució parcial o total)
- Part de (la intenció s'aconsegueix només una part del temps o disminueix qualitativament)
- Inversa (funció oposada a la intenció de disseny)

-Paràmetres de procés:

- Temperatura
- Pressió
- Nivell
- Reacció
- Composició
- Cabal
- Velocitat
- Temps
- Viscositat
- Mescla
- Separació
- pH

5.1.2. Aplicació del mètode HAZOP

Taula 5.1. Taula d'anàlisi HAZOP.

Nus	Paràmetres de Procés	Paraula Guia	Causes	Possibles conseqüències	Mesures correctores
TK5553	Temperatura	Menys	Temps molt prolongat en el tanc i temperatura ambient molt baixa.	La lactida pot solidificar-se si baixa sota els 100°C.	Aïllament tèrmic.
			Arribada dels reactius a menor temperatura.	Danys al tanc.	Instal·lació de traçat de vapor, agitació en el tanc i TV6054.
				Danys a la P5546A/B.	Instal·lar TE/TT5050.
			Obstrucció de les línies: 25LT01103–HI 25LT01104–HI	Configurar alarma TAL5050.	
		Més	Foc extern.	Ruptura del tanc i conseqüent combustió de la lactida.	Instal·lar TE/TT5050 i TAH-5050.
					Instal·lar PSV5001 i PT5050. Configurar alarma PAH5050.
	Pressió	Menys	Baixa entrada de nitrogen.	Oxidació de la lactida	Instal·lar PV6050.
Ruptura del tanc.			Pèrdua de lactida	Instal·lar PT5050.	
				Configurar alarma PAL5050.	
		Més	Foc extern.	Ruptura del tanc i possible combustió de la lactida.	Instal·lar PSV5001.

			Excessiu nivell en el tanc.		Configurar alarma PAH5050.
			Dificultats en la sortida de gasos del tanc.		Instal·lar PT5050. Instal·lar PV6051.
Nivell	Menys	Major consum que arribada de lactida de forma prolongada.	Entrada de gas i danys a la P5546A/B.		Instal·lar PV5050.
		Fuita o ruptura del tanc.	Manca de producte i conseqüent parada de planta. Pèrdua de producte Descebament de la bomba		Instal·lar LSL5050 i configurar alarma LAL5050. Configurar enclavament que aturi la bomba per baix nivell al tanc.
	Més	Menor consum que arribada de lactida de forma prolongada.	Sobre emplenat del tanc, pujada de pressió o sobreiximent.		Instal·lar PV5050. Instal·lar LSH5050. Configurar alarma LAH5050.
P5546A/B	Pressió	Més	Alteració en el funcionament de la bomba, del motor de la bomba o de les característiques del fluid.	Danys en la bomba i excessiva pressió en la resta del sistema. Danys en canonades, controladors o altres elements que es trobin en les línies.	Instal·lar PT5051, PT5052, SC5001 i SC5002. Configurar alarmes PAH5051 i PAH5052. Instal·lar una recirculació sobre la mateixa bomba i vàlvules de seguretat PSV5006/PSV5007.

		Menys	Alteració en el funcionament de la bomba, del motor de la bomba o de les característiques del fluid.	Manca de circulació de fluid per la resta del sistema.	Instal·lar PT5051, PT5052, SC5001 i SC5002. Configurar alarmes PAL5051 i PAL5052.
	Cabal	Més	Excessives revolucions del PM5501 o PM5502.	Alteració de les condicions de disseny de la resta del procés.	Instal·lar FT5050. Configurar alarma FAH5050.
		Menys	Poques revolucions del PM5501 o PM5502.	Alteració de les condicions de disseny de la resta del procés.	Instal·lar FT5050. Configurar alarma FAL5050.
E5533	Temperatura	Més	Excessiva entrada de vapor o poca entrada de lactida.	Alteració de les condicions de reacció del R5504 i pèrdua d'eficiència del bescanviador.	Instal·lar TV6050. Configurar alarma TAH6050.
		Menys	Poca entrada de vapor o excessiva entrada de lactida.	Alteració de les condicions de reacció del R5504.	Instal·lar TV6050. Configurar alarma TAL6050.
	Pressió	Més	Obstrucció de la sortida per excessiu embrutiment o cristallització.	Danys al bescanviador.	Instal·lar PSV6001 i PSV5002.
		Menys	Ruptura de tubs. Ruptura de la canonada de sortida del bescanviador.	Pèrdua de vapor.	

	Cabal	Més	De vapor: veure Temperatura.	Més	
			De lactida: veure Temperatura.	Menys	
		Menys	De vapor: veure Temperatura.	Menys	
			De lactida: veure Temperatura.	Més	
R5504	Temperatura	Més	Dèficit de refrigerant.	Alteració de les condicions de reacció: producte fora d'especificació de qualitat.	Instal·lar TV6051 i TE/TT5051. Configurar alarma TAH5051.
		Menys	Excés de refrigerant	Alteració de les condicions de reacció: poca conversió i producte fora d'especificació de qualitat.	Instal·lar TV6051 i TE/TT5051. Configurar alarma TAL5051.
	Pressió	Més	Dèficit de refrigerant.	Alteració de les condicions de reacció.	Instal·lar PSV5003 i PT5054. Configurar alarma PAH5054.
			Obstrucció en la sortida del reactor per embrutiment o polimerització.	Danys al reactor.	
		Menys	Ruptura de la canonada de sortida del reactor.	Pèrdua de producte.	Instal·lar PT5054. Configurar alarma PAH5054.

	Cabal	Més	Excessiu cabal de sortida de la bomba P5546A/B.	Menor capacitat per refrigerar el reactor. Menor temps de residència al reactor i consegüentment menor conversió a PLA.	Instal·lar FT5051. Configurar alarma FAH5051.
		Menys	Poc cabal de sortida de la bomba P5546A/B.	Alteració de les condicions de reacció.	Instal·lar FT5051. Configurar alarma FAL5051.
E5534	Temperatura	Més	Excessiva entrada de vapor o poca entrada de PLA.	Alteració de les condicions de reacció del R5504. Pèrdua d'eficiència del bescanviador.	Instal·lar TV6052 i configurar alarma TAH6052.
		Menys	Poca entrada de vapor o excessiva entrada de PLA.	Alteració de les condicions de reacció del R5504.	Instal·lar TV6052. Configurar alarma TAL6052.
	Pressió	Més	Obstrucció de la sortida per excessiu embrutiment o cristallització.	Danys al bescanviador.	Instal·lar PSV5004 i PSV6003.
		Menys	Ruptura de tubs. Ruptura de la canonada de sortida del bescanviador.	Pèrdua de vapor.	
	Cabal	Més	De vapor: veure Temperatura.	Més	

			De PLA: veure Menys Temperatura.		
		Menys	De vapor: veure Menys Temperatura.		
			De PLA: veure Més Temperatura.		
S5523	Pressió	Més	Trencament d'alguna part de l'evaporador.	Fuita de producte a l'exterior.	Instal·lar PT5053.
			Poca sortida de recuperació de lactida.	Alteració de l'equilibri líquid vapor.	Configurar alarma PAH5053.
			Poca generació de buit per part de l'ejector.		
		Menys	Massa generació de buit per part de l'ejector.	Alteració de l'equilibri líquid vapor.	Instal·lar PT5053. Configurar alarma PAL5053.
	Temperatura	Més	Excessiva entrada de vapor.	Alteració de l'equilibri líquid vapor.	Instal·lar TV6053. Configurar alarma TAH6053.
		Menys	Manca d'entrada de vapor.	Alteració de l'equilibri líquid vapor.	Instal·lar TV6053. Configurar alarma TAL6053.

Nivell	Més	Poca sortida de PLA.	Inundació de l'evaporador.	Instal·lar LV5050. Configurar alarma LAH5051.
	Menys	Poca entrada de PLA.		Instal·lar LV5050.
		Excessiva sortida de PLA. Evaporació de PLA.		Configurar alarma LAL5051.
Cabal	Més	De vapor: veure Més Temperatura.		
		D'entrada de PLA: veure Menys Temperatura.		
	Menys	De vapor: veure Menys Temperatura. D'entrada de PLA: veure Més Temperatura.		

5.2. Zones ATEX (Atmosfera Explosiva)

D'acord amb la norma UNE-EN 1127-1, es defineix una zona ATEX segons la probabilitat que les substàncies perilloses puguin estar presents amb una concentració suficient per a la ignició.

Per tal d'establir els requisits que han de complir els diferents elements de la instal·lació elèctrica en llocs perillosos, es classifiquen segons les substàncies presents en: classe I (gasos, vapors i boires), classe II (pols) i classe III (fibres).

Considerant la planta com a Classe I, pot classificar-se en tres zones:

- Zona 0: zona de treball on un ambient explosiu consistent en una mescla d'aire i gas o vapor o boira inflamable és present permanentment o per un període prolongat de temps o amb una freqüència de més de 1000 hores/any.
- Zona 1: àrea de treball on la formació ocasional d'una atmosfera explosiva (de 10 a 1000 hores/any) és probable que es doni en condicions normals de funcionament.
- Zona 2: zona de treball on és poc probable, en condicions normals de funcionament, que es formi una atmosfera explosiva (menys de 10 hores/any).

En aquest cas, la instal·lació de fabricació de PLA es considera Classe I Zona 2, perquè en condicions normals de funcionament, és molt poc probable que es formi una atmosfera explosiva, ja que la lactida no és inflamable. No obstant això, podrien haver-hi presents altres substàncies inflamables, però amb una probabilitat molt baixa i de forma molt puntual. Això és degut al fet que la planta està ubicada en un recinte industrial on hi ha presents productes inflamables.

5.3. Protecció d'equips a sobrepressions

S'ha dissenyat un conjunt de vàlvules de seguretat pels equips i línies que siguin propicis a patir sobrepressió. L'objectiu d'aquestes vàlvules és prevenir riscos de sobrepressions en el sistema que puguin derivar en possibles danys en equips i en línies, o fins i tot en explosions. Així doncs, aquests elements de seguretat també redueixen el risc de patir un accident que afecti la salut de persones.

Les vàlvules de seguretat estan dissenyades per obrir-se en cas que s'arribi a una pressió fixada que suposi un risc pels elements del procés. Propiciant d'aquesta manera un alleujament de pressió en el sistema. D'altra banda, la pressió fixada ha de situar-se entre la pressió màxima d'operació i de la pressió de disseny de l'equip. Garantint d'aquesta manera l'operació en un rang segur de pressions, assegurant que la vàlvula no s'obri en pressions habituals de treball, però que obri abans de sobrepassar la pressió de disseny de l'equip o línia, fet que suposaria un risc d'explosió.

En la majoria de les PSV, el contingut alliberat va a parar a l'atmosfera directament, ja que és vapor d'aigua, i aigua, lactida o PLA en fase líquida. No obstant això, pels líquids es compta

amb uns cubells i embornals que envolten el tanc i la planta de PLA, evitant-ne així la dispersió del líquid a un lloc segur on es puguin tractar aquests vessaments.

També es compta amb les vàlvules de seguretat PSV5006 i PSV5007 que tenen incorporades les bombes P5546A/B en cas de sobrepressions. Aquestes tenen un funcionament diferent, ja que la vàlvula de seguretat descarrega a una canonada que recircula sobre la mateixa bomba en cas de sobrepressió, evitant d'aquesta manera l'augment descontrolat de pressió en la línia.

En els següents apartats d'aquest capítol, s'explica el procediment seguit pel disseny i elecció de les vàlvules de seguretat. També es presenten els resultats obtinguts i el full d'especificacions de les vàlvules de seguretat.

5.3.1.1. Càlcul de l'àrea de l'orifici i elecció de les PSV

Per l'elecció de la PSV s'han seguit els procediments fixats pel catàleg del proveïdor de vàlvules de seguretat: Válvulas Nacional S.A. (ref. 29). El catàleg presenta dos models de vàlvules (3-5211/3-5261), i dins dels models presenten variacions en el tipus d'orifici, la grandària i el *rating*.

Els procediments distingeixen el càlcul de l'àrea de l'orifici segons l'estat físic i el tipus de producte involucrat. Aquest càlcul permet dimensionar-la correctament, assegurant un correcte flux d'alliberament per evacuar una quantitat superior al cabal d'entrada a l'equip o línia, que conseqüentment propiciaria l'alleujament immediat de la sobrepressió.

En els següents subapartats s'explica el procediment seguit segons els diferents casos del projecte.

5.3.1.1.1. Disseny de les PSV per líquids

Pel càlcul de les vàlvules de seguretat per líquids, s'ha aplicat la següent equació:

$$A = \frac{W}{5042 \cdot K \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_v \sqrt{(P - P_b) \cdot E}} \quad (5.1)$$

On W és el cabal de descàrrega en kg/h, la K és el coeficient de descàrrega, la K_p és el coeficient corrector de sobrepressió diferent a 25%, K_3 el coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules convencionals, K_v el coeficient corrector per líquids viscosos, P la pressió de descàrrega en kg/cm², P_b la contrapressió absoluta i E la densitat relativa del líquid en kg/dm³.

Aquesta equació s'ha utilitzat per calcular totes les PSV de les línies per on flueixen líquids i també s'ha aplicat per la PSV5001, corresponent al tanc d'emmagatzematge de lactida TK5553 i és l'exemple que es representa tot seguit.

En aquest cas, s'ha determinat que l'escenari de sobrepressió més possible i que comportaria un major risc fora causat pel sobre emplenat del tanc. Que seria conseqüència d'una major entrada que sortida de lactida en el tanc durant un temps prolongat, fent augmentar el nivell fins al 100% i, un cop arribat a aquest punt, augmentant la pressió. Així doncs, es fixa el cabal de descàrrega de la vàlvula (W) en un cabal capaç d'evacuar com a mínim el líquid que hauria de sortir en condicions normals d'operació, que correspon a 657,9 kg/h.

El coeficient de descàrrega (K) en els líquids té un valor fixat de 0,64. Altrament, es fixa una sobrepressió del 25%, per tant, $K_p = 1$. I per establir el coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules convencionals (K_3) es disposa de la següent gràfica:

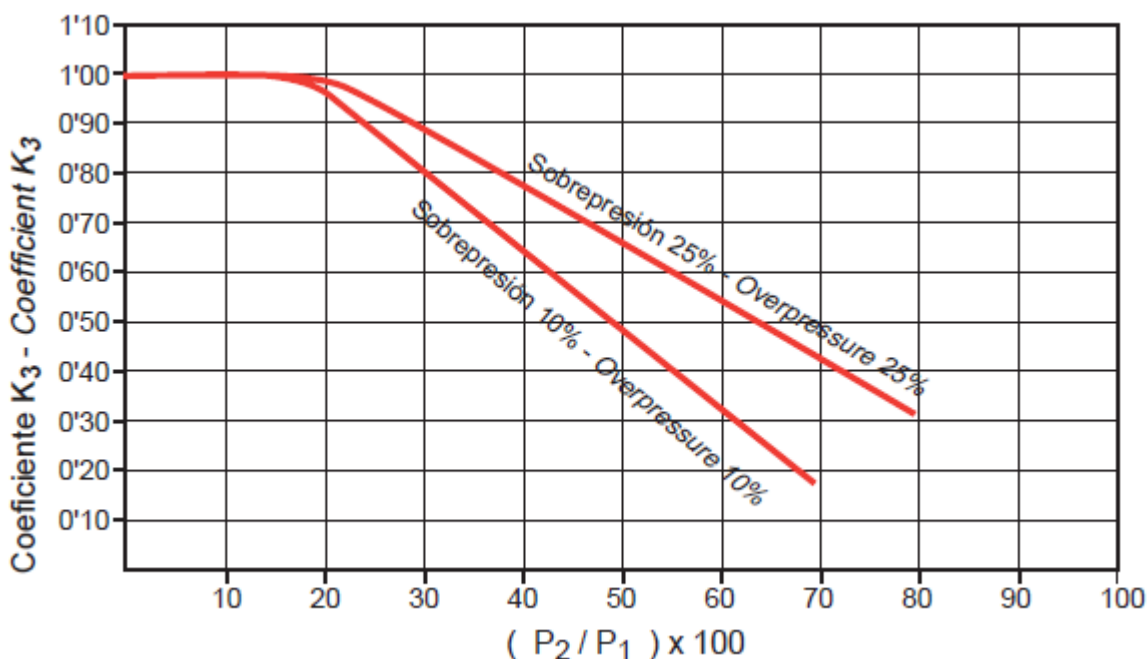


Figura 5.1. Coeficient corrector per contrapressió en vàlvules equilibrades K_3 (líquids). Extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

On P_2 i P_1 representen la contrapressió i la pressió d'apertura, respectivament. En aquest cas la $P_2=1,03 \text{ kg/cm}^2$, perquè la PSV té la descàrrega a pressió atmosfèrica. I la pressió d'apertura, és la pressió fixada perquè s'obri la vàlvula de seguretat i, es fixa en un valor entre la pressió d'operació del tanc i la pressió de disseny del tanc. De manera que no intervingui durant la correcta operació del tanc, però que abans d'arribar a la pressió de disseny, obri per evitar danys en l'estructura del tanc. En aquest cas, com la pressió d'operació és d' $1,2 \text{ kg/cm}^2$, la pressió de disseny correspon a $2,2 \text{ kg/cm}^2$ i es fixa la pressió d'apertura en 2 kg/cm^2 . Així doncs, s'obté: $(P_2/P_1) \times 100 = 51$ i pel 25% de sobrepressió $K_3 = 0,64$.

Referent al coeficient corrector per a líquids viscosos (K_v), no s'aplica, ja que la lactida en aquestes condicions té una viscositat inferior a 30 cSt. I tampoc s'aplicaria pels càlculs de la resta de PSV, perquè el PLA i l'aigua també es troben per sota d'aquesta viscositat.

En següent lloc, la pressió de descàrrega (P) correspon a la suma de la pressió d'apertura, la sobrepressió i la pressió atmosfèrica per convertir-ho a escala absoluta:

$$P = P_1 + 0,25 \cdot P_1 + 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.2)$$

$$P = (2 + 0,25 \cdot 2 + 1,033) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 3,53 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.3)$$

En darrer lloc, la contrapressió absoluta (P_b) correspon a la pressió atmosfèrica perquè la sortida de la PSV dona a l'exterior. I la densitat és de $1,15 \text{ kg/dm}^3$.

Aleshores, l'equació queda de la següent manera:

$$A = \frac{657,9 \frac{kg}{h}}{5042 \cdot 0,64 \cdot 1 \cdot 0,64 \cdot 1 \cdot \sqrt{(3,533 - 1,033) \frac{kg}{cm^2} \cdot 1,15 \frac{kg}{dm^3}}} = 0,188 cm^2 \quad (5.4)$$

A partir de l'àrea de l'orifici obtinguda, s'escull el diàmetre immediatament superior del que es disposa en la taula que es disposa a continuació.

Taula 5.2. Fragment de la taula de caudals de descàrrega per líquids al 25% de sobrepressió, en funció de la pressió d'apertura i el tipus d'orifici de la PSV. Extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

Caudales de Descarga para Líquidos (m ³ /h) al 25% de Sobrepresión • Liquids Discharge Flow (m ³ /h) at 25% Overpressure															
Densidad relativa al agua distinta 1, multiplicar por K _g Relative to water specific gravity different to 1, multiply by K _g															
Sobrepresión distinta del 25%, multiplicar por K _p Overpressure different to 25%, multiply by K _p															
P ₁ Kg/cm ²	Orificios cm ² • Orifices cm ²														
	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T
	0'31	0'71	1'265	1'98	3'245	5'06	8'3	11'85	18'4	23'2	28	41'2	71'3	103'2	167'5
0,5	0'79	1'81	3'23	5'05	8'28	12'91	21'17	30'23	46'94	59'18	71'43	105'10	181'89	263'27	427'30
1	1'12	2'56	4'56	7'14	11'71	18'26	29'94	42'75	66'38	83'70	101'02	148'64	257'23	372'32	604'30
1,5	1'37	3'14	5'59	8'75	14'34	22'36	36'67	52'36	81'30	102'51	123'72	182'05	315'05	456'00	740'11
2	1'58	3'62	6'45	10'10	16'56	25'82	42'35	60'46	93'88	118'37	142'86	210'21	363'78	526'54	854'61
2,5	1'77	4'05	7'22	11'29	18'51	28'86	47'35	67'60	104'96	132'34	159'72	235'02	406'72	588'69	955'48
3	1'94	4'44	7'90	12'37	20'28	31'62	51'87	74'05	114'98	144'97	174'97	257'45	445'54	644'88	1046'68
3,5	2'09	4'79	8'54	13'36	21'90	34'15	56'02	79'98	124'19	156'59	188'99	278'08	481'24	696'55	1130'54
4	2'24	5'12	9'13	14'29	23'41	36'51	59'89	85'50	132'77	167'40	202'03	297'28	514'47	744'64	1208'60

Es descarta l'orifici C perquè no es troben vàlvules amb aquest tipus d'orifici en el catàleg. Per consegüent, el següent orifici amb l'àrea superior és l'orifici D. A continuació, mitjançant la mateixa taula, es comprova que l'orifici és capaç d'evacuar el cabal de descàrrega segons la pressió d'apertura. En aquest cas, per l'orifici tipus D i per una pressió d'apertura de 2 kg/cm², es podrien evacuar fins a 3,62 m³/h. Un cabal més que suficient tenint en compte el cabal fixat, que suposaria 0,57 m³/h.

Finalment, s'escull el model i especificacions de la vàlvula a través de la taula següent.

Taula 5.3. Fragment de la taula de pressions màximes per les vàlvules de seguretat 3-5211 i 3-5261 segons la temperatura i les característiques de la vàlvula. Extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

Presiones Máximas (Kg/cm ²) Válvulas de Seguridad 3-5211/3-5261 • Maximum Pressure (Kg/cm ²) Safety Valves 3-5211/3-5261												
Orificio Orifice	Tamaño Size	Rating	Entrada • Inlet								Salida • Outlet	
			Temperatura °C • Temperature °C								Modelo Model 3-5211	Modelo Model 3-5261
			-270 a -100	-100 a -50	-50 a -30	-30 a 38	38 a 230	230 a 425	230 a 425	230 a 540		
D	1 x 2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	
	1 x 2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	
	1 x 2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	
	1 1/2 x 2	900 x 300	130	151	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	
	1 1/2 x 2	1500 x 300	216	253	253	253	228	128	143	75'2	42'1	
	1 1/2 x 2 1/2	2500 x 300	281	281	421	421	381	214	239	125	42'1	

A partir del tipus d'orifici escollit i segons la temperatura d'operació (entre 38 i 230°C), es busca la pressió màxima immediatament superior que suporta la vàlvula. S'obté 11,6 kg/cm², molt per sobre de les pressions de treball i de disseny del tanc. Així doncs, aquesta pressió correspon a la vàlvula més petita de l'orifici tipus D: el model 3-5211, de 1x2 polsades i Rating 150x150.

5.3.1.1.2. Disseny de les PSV per vapor d'aigua

Pel càlcul de les vàlvules de seguretat per línies de vapor d'aigua, s'aplica la següent equació:

$$A = \frac{W}{112,7 \cdot C \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2} \sqrt{\frac{V_1}{P}} \quad (5.5)$$

On W és el cabal de descàrrega en kg/h, la C el coeficient d'expansió, la K és el coeficient de descàrrega, la K_1 és el coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules convencionals, K_2 el coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules equilibrades, V_1 el volum específic del vapor en m^3/kg i P la pressió de descàrrega en kg/cm^2 .

L'exemple de càlcul que s'exposa a continuació correspon a la vàlvula de seguretat de la línia de vapor MS de l'entrada del bescanviador E5533, la PSV6001.

En primer lloc, el cabal (W) que flueix per la línia és de 20kg/h. El coeficient d'expansió (C) depèn de la relació de calors específiques (k):

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (5.6)$$

Pel vapor d'aigua saturat a 12 bar(g): $k = 1,30$. I en la taula següent, es troba el valor del coeficient d'expansió (C) en funció de k .

Taula 5.4. Valors del coeficient d'expansió (C) en funció de la relació de calors específiques (k) extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

Valores de C en función de k • Values of C as function of k							
k	C	k	C	k	C	k	C
0'40	0'417	1'01	0'609	1'40	0'685	1'82	0'747
0'45	0'439	1'02	0'611	1'42	0'688	1'84	0'750
0'50	0'459	1'04	0'615	1'44	0'691	1'86	0'752
0'55	0'478	1'06	0'620	1'46	0'695	1'88	0'755
0'60	0'496	1'08	0'624	1'48	0'698	1'90	0'758
0'65	0'512	1'10	0'628	1'50	0'701	1'92	0'760
0'70	0'528	1'12	0'633	1'52	0'704	1'94	0'763
0'75	0'543	1'14	0'637	1'54	0'707	1'96	0'765
0'80	0'557	1'16	0'641	1'56	0'710	1'98	0'767
0'82	0'562	1'18	0'645	1'58	0'713	2'00	0'770
0'84	0'567	1'20	0'649	1'60	0'716	2'10	0'781
0'86	0'573	1'22	0'652	1'62	0'719	2'20	0'793
0'88	0'578	1'24	0'656	1'64	0'722	2'30	0'803
0'90	0'583	1'26	0'660	1'66	0'725	2'40	0'813
0'92	0'588	1'28	0'664	1'68	0'728	2'50	0'823
0'94	0'593	1'30	0'667	1'70	0'731	2'60	0'832
0'96	0'597	1'32	0'671	1'72	0'734	2'7	0'841
0'98	0'602	1'34	0'674	1'74	0'736	2'80	0'850
0'99	0'604	1'36	0'678	1'78	0'742	2'90	0'858
1'001	0'607	1'38	0'681	1'80	0'745	3'00	0'866

Per $k = 1,30$, correspon a $C = 0,667$.

El coeficient de descàrrega (K) té un valor fixat de 0,946 per tots els gasos i vapors. El coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules convencionals (K_1) no s'aplica perquè sol és necessari en cas que $P_b > 0,5 P$. Tampoc s'aplica el coeficient corrector per sobrepressió en vàlvules equilibrades (K_2), ja que sol s'utilitza si $P_2 > 0,3 P_1$. I el volum específic (V_1) del vapor saturat a 12 bar(g) és de $0,151 m^3/kg$.

La pressió d'apertura (P_1) s'ha fixat en 13 kg/cm^2 i la sobrepressió pel vapor es fixa en el 10%. Per tant la pressió de descàrrega:

$$P = P_1 + 0,10 \cdot P_1 + 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.7)$$

$$P = (13 + 0,10 \cdot 13 + 1,033) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 15,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5.8)$$

Així doncs, l'equació de l'àrea de l'orifici queda de la següent forma:

$$A = \frac{23 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{112,7 \cdot 0,667 \cdot 0,946 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt{\frac{0,151 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{15,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}} = 0,032 \text{ cm}^2 \quad (5.9)$$

A partir de l'àrea de l'orifici obtinguda, s'escull el diàmetre immediatament superior del que es disposa en la taula que es disposa a continuació.

Taula 5.5. Fragment de la taula de caudals de descàrrega per gasos al 10% de sobrepressió, en funció de la pressió d'apertura i el tipus d'orifici de la PSV. Extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

Caudales de Descarga para Gases (Nm ³ /h) al 10% de Sobrepresión • Gases Discharge Flow (Nm ³ /h) at 10% Overpressure															
Valores de k distintos de 1'01, multiplicar por K _C k values different to 1'01, multiply by K _C			Densidad relativa al aire distinta 1, multiplicar por K _G Relative to air specific gravity different to 1, multiply by K _G								Temperatura distinta de 15°, multiplicar por K _t Different temperature to 15°, multiply by K _t				
P ₁ Kg/cm ²	Orificios cm ² • Orifices cm ²														
	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T
0,5	0'31	0'71	1'265	1'98	3'245	5'06	8'3	11'85	18'4	23'2	28	41'2	71'3	103'2	167'5
1	27	61	109	171	280	437	716	1023	1588	2002	2416	3555	6153	8906	14454
1,5	36	83	147	230	377	588	965	1378	2140	2698	3256	4791	8291	12000	19477
2	45	104	185	290	475	740	1214	1733	2691	3393	4095	6026	10428	15094	24499
2,5	55	125	223	349	572	892	1463	2088	3243	4089	4935	7261	12566	18188	29521
3	64	146	261	408	669	1044	1712	2444	3795	4784	5774	8497	14704	21283	34543
3,5	73	168	299	468	766	1195	1961	2799	4346	5480	6614	9732	16842	24377	39565
4	83	189	337	527	864	1347	2209	3154	4898	6176	7453	10967	18979	27471	44587
4,5	92	210	375	586	961	1499	2458	3510	5450	6871	8293	12202	21117	30565	49609
5	101	232	413	646	1058	1650	2707	3865	6001	7567	9132	13438	23255	33659	54631
6	110	253	451	705	1156	1802	2956	4220	6553	8262	9972	14673	25393	36754	59653
7	129	295	526	824	1350	2105	3454	4931	7656	9654	11651	17143	29668	42942	69697
8	148	338	602	943	1545	2409	3951	5641	8760	11045	13330	19614	33944	49130	79742
9	166	381	678	1061	1739	2712	4449	6352	9863	12436	15009	22085	38219	55319	89786
10	185	423	754	1180	1934	3016	4947	7063	10966	13827	16688	24555	42495	61507	99830
11	203	466	830	1299	2129	3319	5445	7773	12070	15218	18367	27026	46770	67696	109874
12	222	508	906	1418	2323	3623	5942	8484	13173	16610	20046	29496	51046	73884	119918
13	241	551	982	1536	2518	3926	6440	9194	14276	18001	21725	31967	55321	80072	129962
14	259	593	1057	1655	2712	4229	6938	9905	15380	19392	23404	34437	59597	86261	140007
15	278	636	1133	1774	2907	4533	7435	10616	16483	20783	25083	36908	63872	92449	150051
15	296	679	1209	1892	3102	4836	7933	11326	17587	22174	26762	39379	68148	98638	160095

Es descarta l'orifici C perquè no es troben vàlvules amb aquest tipus d'orifici en el catàleg. En conseqüència, el següent orifici amb l'àrea superior és l'orifici D. A continuació, mitjançant la mateixa taula, es comprova que l'orifici és capaç d'evacuar el cabal de descàrrega segons la pressió d'apertura. En aquest cas, per l'orifici tipus D i per una pressió d'apertura de 13 kg/cm^2 , es podrien evacuar fins a $593 \text{ m}^3/\text{h}$. Un cabal molt més que suficient tenint en compte el cabal fixat, que suposaria $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Finalment, s'escull el model i especificacions de la vàlvula a través de la taula següent.

Taula 5.6. Fragment de la taula de pressions màximes per les vàlvules de seguretat 3-5211 i 3-5261 segons la temperatura i les característiques de la vàlvula. Extret del catàleg de vàlvules (ref. 29).

Presiones Máximas (Kg/cm ²) Válvulas de Seguridad 3-5211/3-5261 • Maximum Pressure (Kg/cm ²) Safety Valves 3-5211/3-5261												
Orificio Orifice	Tamaño Size	Rating	Entrada • Inlet								Salida • Outlet	
			Temperatura °C • Temperature °C								Modelo Model 3-5211	Modelo Model 3-5261
			-270 a -100	-100 a -50	-50 a -30	-30 a 38	38 a 230	230 a 425	230 a 425	230 a 540		
D	1 x 2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	
	1 x 2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	
	1 x 2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	
	1 1/2 x 2	900 x 300	130	151	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	
	1 1/2 x 2	1500 x 300	216	253	253	253	228	128	143	75'2	42'1	
	1 1/2 x 2 1/2	2500 x 300	281	281	421	421	381	214	239	125	42'1	

A partir del tipus d'orifici escollit i segons la temperatura d'operació (entre 38 i 230°C), es busca la pressió màxima immediatament superior que resisteix la vàlvula. En aquest cas, com es sobrepassen els 11,6 kg/cm², és necessari escollir una vàlvula que permeti treballar a més pressió. Per tant, s'escull la vàlvula d'orifici tipus D, model 3-5211, de 1x2 polsades i Rating 300x150, capaç de resistir una pressió de treball de fins a 45,7 kg/cm².

5.3.1.2. Resultats obtinguts

S'han obtingut unes àrees dels orificis de descàrrega de les vàlvules de seguretat molt petits com que es treballa amb cabals molt baixos. Com a conseqüència, s'ha escollit l'orifici de descàrrega més petit disponible en el catàleg, el tipus D. El model obtingut en tots els casos és el 3-5211 de grandària de 1x2 polsades i en la majoria de casos un Ràting de 150x150, tret de les PSV de les línies d'alta pressió que necessiten un Ràting superior de 300x150 per resistir a la pressió de disseny de l'equip. En la següent taula, s'exposen totes les vàlvules de seguretat i els resultats obtinguts en cadascun dels casos.

Taula 5.7. Vàlvules de seguretat del procés i les seves característiques.

Vàlvules	Descripció	Model	Grandària	Ràting
PSV5001	Vàlvula de seguretat de sobrepressió del TK5553.	3-5211	1x2''	150x150
PSV5002	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de lactida a l'E5533 (25LT01104-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV5003	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de lactida a l'R5504 (25LT01105-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV5004	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de PLA a l'E5534 (25PLA01101-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV5005	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de PLA al l'S5523 (25PLA01102-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV6001	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de vapor MP a l'E5533 (25MPS01101-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV6002	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada d'aigua de refrigeració a l'R5504 (25TW01101).	3-5211	1x2''	150x150
PSV6003	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de vapor HP a l'E5534 (25HPS01101-HI).	3-5211	1x2''	300x150
PSV6004	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de vapor LS1 al traçat calefactor del TK5553 (25HPS01101-HI).	3-5211	1x2''	150x150
PSV6005	Vàlvula de seguretat de sobrepressió de la línia d'entrada de vapor HP a l'S5523 (25HPS01102-HI).	3-5211	1x2''	300x150

6. ESTUDI MEDIAMBIENTAL

6.1. Identificació i avaluació de les emissions a l'aire, aigua i sòl

Pel que fa a les emissions, la planta tracta un procés tancat i es preveuen emissions canalitzades a l'exterior. No hi hauria d'haver sobrepressions a l'estiu perquè es treballa a temperatures relativament elevades.

Respecte a les fuites de lactida, sigui per fuites de vàlvules manuals o per alguna pujada de pressió i, en conseqüència, obertura d'una vàlvula de seguretat; tota la planta estarà rodejada d'una xarxa de drenatges que aniran conduïts a la planta de tractament químic i biològic i el tanc d'emmagatzemament disposarà d'un cub de retenció per contenir les possibles fuites.

6.2. Identificació i avaluació dels residus sòlids produïts

Els residus sòlids que hi poden haver seran els provocats per canvis de juntes de les vàlvules i brides de la planta i/o, petites partícules de polímer provinents de neteges els diferents equips.

6.3. Consums d'energia i de recursos naturals

Respecte als consums elèctrics, la planta compta amb dues bombes de 0,0701 kW de potència cada una. Com es treballa 8000 h/any, l'energia consumida és de 1.121,60 kWh/any.

La instal·lació també compta amb un agitador del tanc de 0,75 kW de potència. En aquest cas, l'agitador no estarà sempre en marxa. Estarà engegat els mesos d'hivern per mantenir la temperatura del tanc constant, s'ha estimat 2.160 h/any. L'energia consumida és de 1.620 kWh/any.

I pel que fa a l'energia calorífica, el cabal vapor LS1 és de 2,40 kg/h, doncs, 19.200 kg/any si es té en compte les hores treballades. Així mateix, la calor latent d'aquest corrent és de 2.034 kJ/kg, llavors, l'energia d'aquest corrent és de 39.052.800 kJ/any. Finalment, com 1.000 kJ són 0,278 kWh, l'energia calorífica és de 10.848 kWh/any.

I referent als recursos naturals, el cabal d'aigua de refrigeració és de 2.544,4 kg/h i la seva densitat a les condicions donades és de 996,9 kg/m³. L'utilització de la planta és de 8.000 h/any, doncs, el consum d'aigua de refrigeració és de 20.418 m³/h.

Resumint, el consum elèctric estimat és 2741,60 de kWh/any, l'energia calorífica és de 10.848 kWh/any i el consum d'aigua de refrigeració és de 20.418 m³/any.

6.4. Generació de gasos d'efecte hivernacle

Les calderes de vapor queden fora de l'abast d'aquest projecte. No obstant, la generació de gasos d'efecte hivernacle és menyspreable en comparació a una instal·lació adjacent que és gran consumidora de vapor.

6.5. Altres impactes

El Real Decret 286/2006 (ref. 30) tracta els principis bàsics de protecció dels treballadors davant del soroll. A més a més, també estableix una sèrie d'obligacions de l'empresari sobre els problemes de soroll, com per exemple, protegir als treballadors contra els riscos del soroll, avaluar l'exposició dels treballadors al soroll o proporcionar els equips de protecció individual necessaris als treballadors.

Tenint en compte que el procés inclou algunes bombes, el RD estableix que el valor límit d'exposició, per una jornada de 8 hores al dia, és de 87 dBA i el Ppic de 140 dBC, com a un soroll impulsiu que només es produeix un cop.

Les bombes utilitzades compleixen aquesta normativa en tractar-se de bombes dosificadores d'un cabal relativament baix.

7. MANUAL DE MANTENIMENT

7.1. Tanc d'emmagatzematge

La planta té un tanc que emmagatzema lactida a pressió atmosfèrica i a 140 °C de temperatura. Segons les normes API 510 i ASME VIII, per a definir l'estat actual del tanc s'ha de determinar un pla de manteniment per evitar qualsevol fuga i/o trencament. El principal problema d'un tanc és la corrosió, per això, es mantindrà una anàlisi exhaustiva del seu gruix.

Taula 7.1. Pla de manteniment del tanc d'emmagatzematge.

<u>Tasca a realitzar</u>	<u>Freqüència (mesos)</u>
Inspecció visual de l'equip per fora	6
Control de l'eficiència	6
Inspecció visual de l'equip per dins	12
Neteja química de l'interior	12
Revisió de l'agitador del tanc	12
Revisió calorifugat	12
Revisió traçat de vapor	12

7.2. Bombes de desplaçament positiu

El manteniment de les dues bombes serà més específic pel tipus que s'ha escollit: desplaçament positiu.

Els principals problemes d'aquestes bombes són que no inclouen un límit de pressió, per tant, es requereix una vàlvula de seguretat. Les nostres bombes ja les tenen incloses. Si el tipus de construcció és complicat, el muntatge es propens a avaries amb les vàlvules. I, per últim, té un major nombre de peces de desgast que les bombes centrífugues.

Taula 7.2. Pla de manteniment de les bombes de desplaçament positiu.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Mesurar la temperatura dels rodaments	0,5
Observar l'alineació de l'eix	1
Control de fugues	3
Comprovar nivell de líquid de lubricació i si s'escau substituir-lo	3
Lubricació de les vàlvules adjacents	3
Comprovar el nivell de vibracions	6
Comprovar el nivell de sorolls	6
Verificar pressió de succió i descàrrega	6
Manteniment elèctric	6
Revisió calorifugat	6
Revisió radiografiat interior	12
Comprovar els suports	12
Inspecció de la bancada o la cimentació	12
Estrènyer els borns elèctrics	12
Verificació de la pressa de terra	12

7.3. Bescanviadors de calor

En els dos bescanviadors de calor de la planta, s'ha de generar una anàlisi interna i externa de l'equip. Sobretot dels tubs interns, ja que per aquests ha de passar el fluid més corrosiu: lactida i PLA, i tenen major tendència a formar incrustacions. En conseqüència, podrien trencar-se i desviar el flux de procés a la línia de vapor o viceversa.

Respecte als bullidors, si un deixés de funcionar provocaria una desviació de les especificacions requerides del producte.

En definitiva, les condicions de l'embrutiment dels tubs, la corrosió i el desgast són les que afecten més a l'eficiència d'un bescanviador. A més, per precaució, es canviaran les juntes cada vegada que es desmunti l'equip.

Taula 7.3. Pla de manteniment dels bescanviadors de calor.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Inspecció visual de l'equip per fora	6
Control de l'eficiència	6
Revisió calorifugat	6
Revisió equip aïllament	6
Inspecció visual de l'equip per dins	12
Revisió radiografiat	12
Neteja química de l'interior	24

7.4. Evaporador

Finalment, l'evaporador que serveix per a separar la lactida restant del corrent de PLA. El pla de manteniment es troba a la següent taula:

Taula 7.4. Pla de manteniment del evaporador.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Inspecció visual de l'equip per fora	6
Control de l'eficiència	6
Revisió calorifugat	6
Revisió aïllament de l'equip	6
Inspecció visual de l'equip per dins	12
Revisió radiografiat	12
Neteja química de l'interior	24

7.5. Canonades

Totes les canonades del procés, excepte la de l'entrada de nitrogen i les d'aigua de torre, seran calorifugades. El principal problema és la corrosió de la canonada; això s'ha tingut en compte alhora de calcular el seu gruix.

Taula 7.5. Pla de manteniment de les canonades.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Inspecció visual per fora	6
Mesurar el gruix de les canonades	12
Radiografiat calorifugades	24
Radiografiat no calorifugades	24
Radiografiat de colzes	12

7.6. Vàlvules de seguretat

Les vàlvules que estan incloses en les bombes, també tindran el següent pla de manteniment.

Taula 7.6. Pla de manteniment de les vàlvules de seguretat.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Desmuntar, provar i ajustar-les	Durant una inspecció de l'equip que protegeix
Revisió de la pressió de tara	Durant les parades anuals

8. ESTUDI ECONÒMIC

8.1. Pressupost d'execució del projecte

Per començar, s'ha buscat el preu dels equips al software: *Matches* (ref. 31), on s'obté el preu en dòlars de l'any 2014. Per buscar els preus, s'ha utilitzat les especificacions dels equips que hi ha a la taula H.1. del annex H.1.

Taula 8.1. Preus dels equips de la planta.

Equip	Preu 2014 (\$)
Tanc	51.700
Bomba	3.800
Bescanviador de calor	16.100
Bescanviador de calor	31.600
Evaporador	482.600
Reactor	121.700
TOTAL	711.300

Per tenir els preus més actualitzats, s'ha utilitzat l'índex CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) (ref. 32).

Taula 8.2. Valors del CEPCI segons l'any.

Any	CEPCI
2014	576,1
2015	556,8
2016	541,7
2017	567,5
2018	603,1
2019	607,5

Aleshores, s'aplica la següent fórmula utilitzant el valor mitjà del CEPCI del 2014 i l'últim valor confirmat: el valor final de l'índex a desembre de l'any 2019.

$$C_{2019} = C_{2014} \cdot \frac{CEPCI_{2019}}{CEPCI_{2014}} = 711.300 \$ \cdot \frac{607,5}{576,1} = 750.069 \$ \quad (8.1)$$

Finalment, si es té en compte el canvi de divisa del dia 22/04/2020 de 1 \$ = 0,9228 € (ref. 33), el preu dels diferents equips es troben a la següent taula i el preu total dels equips és de 694.038€.

Taula 8.3. Preus dels diferents equips.

Equip	Preu 2019 (€)
Tanc	50.445
Bomba (2 unitats)	3708
Bescanviador de calor	15.709
Bescanviador de calor	30.833
Evaporador	470.889
Reactor	118.747
TOTAL	694.038

Després d'haver obtingut el preu total dels equips, s'ha calculat el cost total de la inversió a l'annex H.1. Els detalls de la inversió es troben a la taula següent:

Taula 8.4. Detalls de la inversió.

Factors	Cost (€)
Equips principals	694.039
Equips no llistats	34.702
Instal·lació	413.834
Costos indirectes	331.347
Imprevistos	159.960
TOTAL	1.633.881

8.2. Avaluació econòmica

En aquest apartat es mostren els resultats d'una anàlisi amb més detall dels ingressos i costos de la planta. Aquesta anàlisi es troba a l'annex H.2.

Per començar, s'ha tingut en compte els costos fixos de la planta. Aquests són els de personal, que es comptarà amb 9 persones i els de manteniment, que només es preveu el cost de la instal·lació ja que no es construirà un nou edifici. Es consideren uns costos anuals de manteniment de la instal·lació d'un 2% de la inversió inicial. Els costos d'estructura fan referència als costos fixos indirectes (personal de direcció, seguretat, recursos humans, entre d'altres) i no es tindran en compte.

Pel que fa als costos variables, es tindrà en compte els ingressos, el preu de les matèries primeres: la lactida i el catalitzador, els serveis i les energies. Aquests dos últims factors, es troben a la taula H.8. de l'annex H.2.

Taula 8.5. Costos de l'avaluació.

Costos		Cost (€)
Costos fixos	Personal	335.000
	Manteniment	32.589
	Estructura	0
Costos variables	Matèries primeres	8.638.510
	Serveis	13.376
	Energies	112.000
TOTAL		9.131.564

Doncs, els ingressos s'obtidran a partir de la venda del PLA. La planta s'ha dissenyat a partir d'una producció de 5.000 ton/any de PLA i el preu mitjà (ref. 34) és de 2.500 €/ton, amb uns ingressos totals de 12.500.000 €/any.

Segons els ingressos, s'ha calculat el preu de la lactida i el catalitzador. Com que la planta compta amb una recirculació del 100% del que queda restant de lactida després de la reacció, es necessita 5.000 ton/any de lactida. El preu mitjà (ref. 34) és de 1.700 €/ton, amb un preu total de 8.500.000 €/any. I pel catalitzador, s'ha calculat un consum de 0,000277 ton/unitat produïda, és a dir, 1,39 ton/any amb un preu mitjà (ref. 34) de 100.000 €/ton, per tant, amb un preu total de 138.510 €/any.

Respecte a l'amortització i el benefici brut de la planta, s'ha establert 20 anys de la planta i que el seu valor residual serà un 15% del cost total de la inversió: 1.633.881 €, és a dir, el valor residual és de 245.082 €. Doncs, l'amortització i el benefici brut s'han calculat segons la següent equació:

$$\text{Amortització} = \frac{\text{Inversió} - \text{Valor Residual}}{\text{Anys de vida}} = \frac{1.633.881\text{€} - 245.082\text{€}}{20} = 69.440\text{€} \quad (8.2)$$

$$\text{Benefici Brut} = \text{Ingressos} - \text{Costos totals} - \text{Amortització} = 12.500.000\text{€} - 9.131.564\text{€} - 69.440\text{€} = 3.298.996\text{€} \quad (8.3)$$

Referent als impostos, són un 35% del benefici brut i, finalment, el *cash flow* és la resta entre el benefici brut i els impostos.

Taula 8.6. Resultats de l'avaluació.

Paràmetres	Preu (€)
Ingressos	12.500.000
Costos totals	9.131.564
Amortització	69.440
Benefici brut	3.298.996
Impostos	1.154.649
<i>Cash flow</i>	2.144.347

8.3. Avaluació global de la inversió

En aquest apartat, s'avalua la inversió en funció de diferents indicadors financers per tal de conèixer la seva rendibilitat. Tenint en compte que el *cash flow* és constant al llarg dels anys, segons el mètode *payback*, la recuperació de la inversió s'ha calculat segons la següent equació i és de 9 mesos.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversió}}{\text{Cash Flow}} \quad (8.4)$$

Tot i així, com que el mètode *payback* no és un mètode financer, es procedeix a calcular el VAN i la TIR. El VAN és de 14.230.716€ amb un 10,5% de taxa d'interès i la TIR és de 131,2% que és molt superior a la taxa d'interès. En conclusió, el projecte és econòmicament favorable.

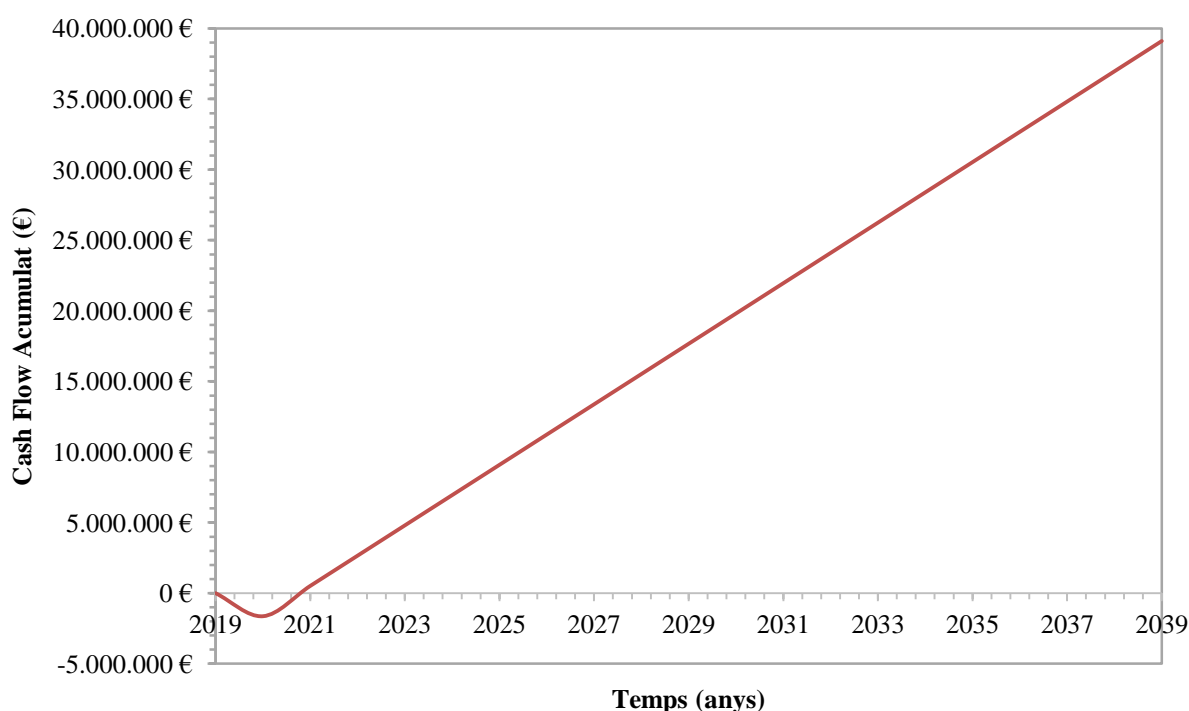


Figura 8.1. Rendibilitat de la planta.

8.4. Anàlisi de sensibilitat

Finalment, s'ha realitzat un anàlisi de sensibilitats per fer un estudi més acurat de la viabilitat de la planta. Doncs, s'ha variat el preu de la lactida, que en principi és de 1.700 €/ton. En la següent figura es mostra com el preu de la lactida afectaria a la rendibilitat de la planta.

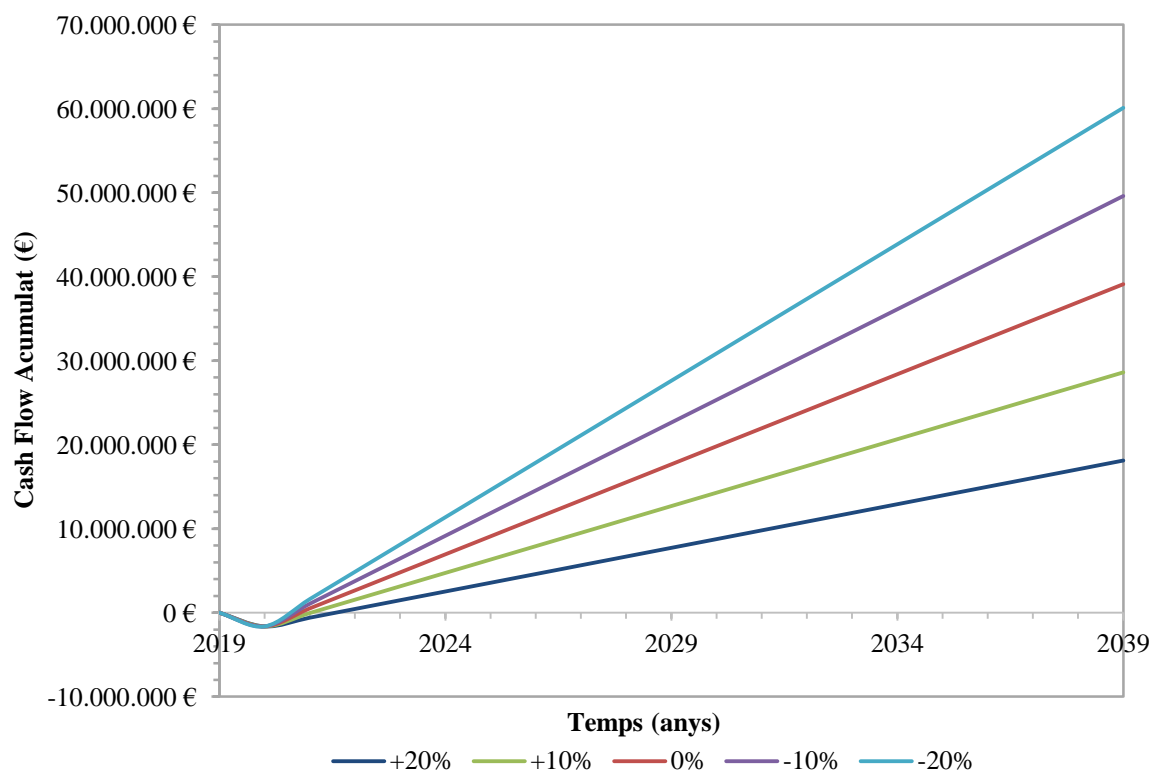


Figura 8.2. Anàlisi de sensibilitats segons el preu de la lactida.

Taula 8.7. Payback, VAN i TIR.

%	Payback	VAN	TIR
+20%	1 any i 7 mesos	6.135.562 €	63,6%
+10%	1 any	10.183.139 €	97,4%
0	9 mesos	14.230.716 €	131,2%
-10%	7 mesos	18.278.294 €	165,1%
-20%	6 mesos	22.325.871 €	198,9%

Després de l'anàlisi, es conclou que la TIR és molt superior a la taxa d'interès de 10,5% i el VAN segueix sent positiu, tot i la diferència de preu de la lactida.

Llavors, tenint en compte la desviació del preu de la lactida, la planta segueix sent econòmicament viable i la inversió es recuperaria en menys de dos anys.

9. CONCLUSIONS

L'obtenció del PLA a partir de la polimerització de la lactida és una de les alternatives a la producció de plàstics convencionals que estan tenint més èxit en el mercat. Això és degut a l'alta qualitat i les bones prestacions que ofereix el producte final.

A més a més, tenint en compte que actualment es vol recórrer sistemes de producció més nets mediambientalment i a la reducció d'emissions d'efecte hivernacle, aquesta és una solució per les dues bandes, ja que prové de fonts renovables i el procés de producció té un impacte molt menor pel medi ambient en comparació amb els plàstics convencionals. El PLA també destaca per ser reciclable i biocompostable. Per tant, ajuda a reduir l'acumulació de plàstics en el conjunt del planeta, sobretot, en mars i oceans.

Amb tot això, considerant que el projecte és econòmicament molt viable, la demanda de la lactida està creixent amb força i, que a Espanya no hi ha cap planta de producció de PLA, aquest projecte és una clara aposta de futur i pot ajudar a impulsar l'economia local.

També és important destacar que en la Unió Europea cada cop hi ha legislacions més estrictes en relació amb els plàstics convencionals, especialment en envasos i plàstics d'un sol ús. Per tant, és un altre benefici clar respecte a la viabilitat del projecte.

10. REFERÈNCIES

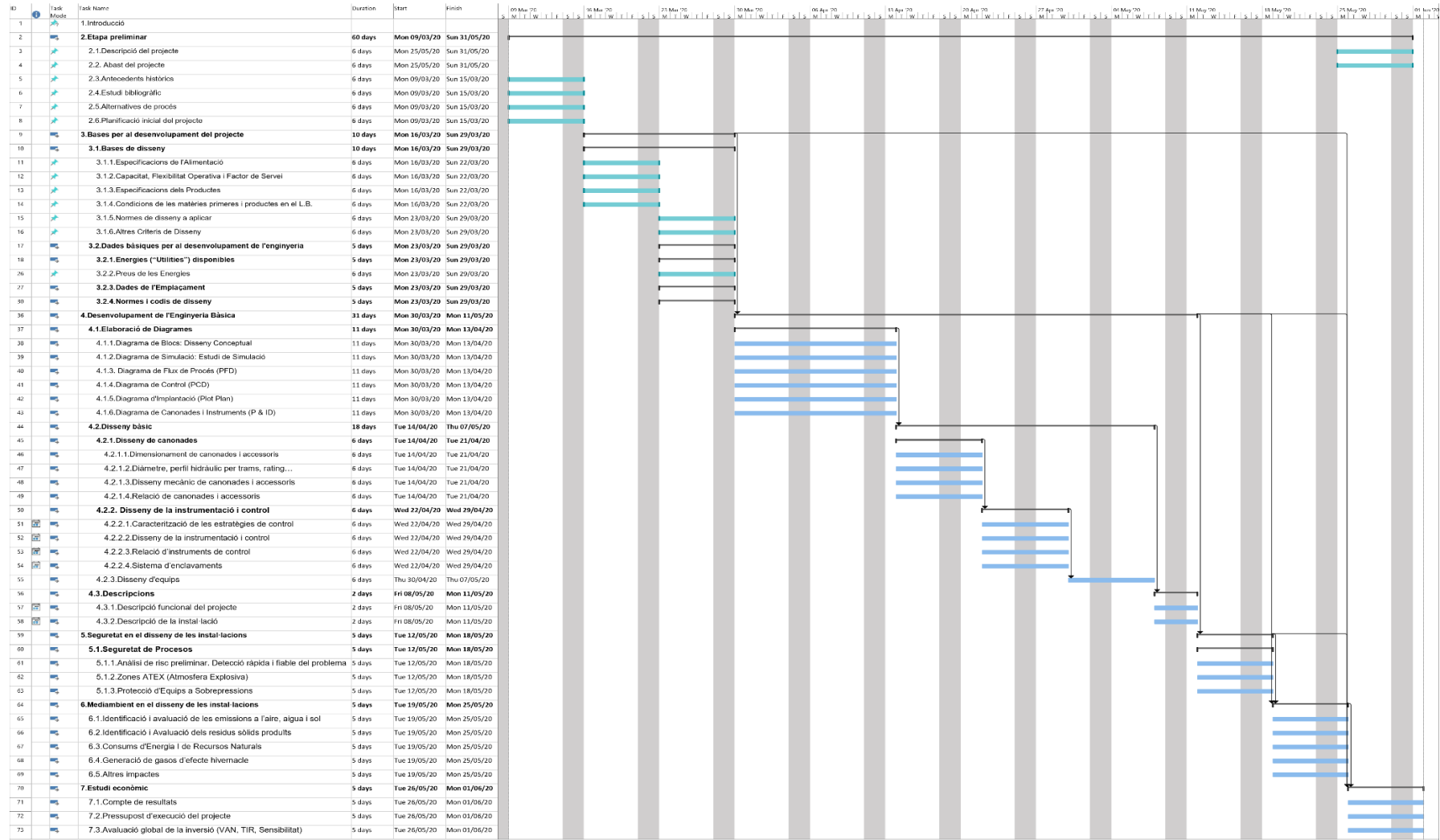
- [1] <https://www.european-bioplastics.org/market/> <10/03/2020>
- [2] http://www.ercros.es/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=906&Itemid=647 <10/04/2020>
- [3] F. Grossman, R. and Nwabunma, D., 2010. Poly(Lactic Acid). 1st ed. Hoboken, New Jersey: Rafael Auras; Loong-Tak Lim; Susan E. M. Selke; Hideto Tsuji, pp.26-33. <11/03/2020>
- [4] E. Castro-Aguirre, et al., Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Adv. Drug Deliv. Rev.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>, pp.3-5. <11/03/2020>
- [5] Hu, Y., A. Daoud, W., Ka Leung Cheuk, K. and Sze Ki Lin, C., 2016. Newly Developed Techniques on Polycondensation, Ring-Opening Polymerization and Polymer Modification: Focus on Poly(Lactic Acid). In: <https://www.mdpi.com/journal/materials>. Marek Kowalezuk. <11/03/2020>
- [6] M. Ajioka, K. Enomoto, K. Suzuki, A. Yamaguchi, The basic properties of poly(lactic acid) produced by the direct condensation polymerization of lactic acid, *J. Environ. Polym. Degr.* 3 (1995) pp.225–234. <11/03/2020>
- [7] R. Auras, B. Harte, S. Selke, An overview of polylactides as packaging materials, *Macromol. Biosci.* 4 (2004) pp.835–864. <11/03/2020>
- [8] E.T. Vink, S. Davies, Life cycle inventory and impact assessment data for 2014 Ingeo™ polylactide production, *Ind. Biotechnol.* 11 (2015) pp.167–180. <11/03/2020>
- [9] https://lccorp.com/assets/documents/CE_Evap_Selection.pdf <13/03/2020>
- [10] Vijay Kumar Thakur, Manju Kumari Thakur. *Handbook of Sustainable Polymers: Processing and Applications (English Edition)* 1st Edition, Kindle Version, Table 11.1. <16/03/2020>
- [11] S. Farah, et al., Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review, *Adv. Drug Deliv. Rev.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>, pp.5. <17/03/2020>
- [12] Siparsky GL, Voorhees KJ, Dorgan JR, Schilling K. 1997. Water transport in polylactic acid (PLA), PLA/polycaprolactone copolymers, and PLA/polyethylene glycol blends. *J Environ Polym Degrad* 5:pp.125–136. <17/03/2020>
- [13] J.R. Dorgan, H. Lehermeier, M. Mang, *J. Polym. Environ.* 8 (2000), pp. 1–9. <17/03/2020>

- [14] H.J. Lehermeier, J.R. Dorgan, J.D. Way, J. Membr. Sci. 190 (2001), pp. 243–251. <17/03/2020>
- [15] K. Hamad, M. Kaseem, H.W. Yang, F. Deri, Y.G. Ko1, Express Polym Lett 9 (2015), pp.435–455. <17/03/2020>
- [16] <https://www.wolframalpha.com/> <16/05/2020>
- [17] Allowable stresses of Carbon Steel, CIS Inspector: <https://www.cis-inspector.com/asme-code-calculation-allowable-stresses.html>. <17/05/2020>
- [18] Allowable Stresses of High Alloy Steel, CIS Inspector: <https://www.cis-inspector.com/asme-code-calculation-allowable-stresses-high-alloy.html>. <17/05/2020>
- [19] “Spot radiography” <https://www.pveng.com/joint-efficiency/> <30/03/2020>
- [20] Peninsulardevastagos.es. 2015. Peninsular Steel Tubes - ASME. [online] Disponible a: <https://www.peninsulardevastagos.es/wp-content/uploads/Peninsular-asme.pdf> <30/03/2020>
- [21] Split range control loop, Instrumentation Tools <https://instrumentationtools.com/split-range-control-loop/> <13/04/2020>
- [22] Witzke, D., Narayan, R. and Kolstad, J., 1997. Reversible Kinetics and Thermodynamics of the Homopolymerization of L-Lactide with 2-Ethylhexanoic Acid Tin(II) Salt. *Macromolecules*, 30(23), pp.7075-7085. <23/03/2020>
- [23] European Patent Application, EP 2 607 399 A1: Process for producing polylactic acid and reactors for use in said process <https://patentimages.storage.googleapis.com/1d/26/47/f058cf84e2bd8a/EP2607399A1.pdf> <23/03/2020>
- [24] Liu, P., Yang, G. and Shao, H., 2017. Synthesis of poly(L-lactide) by static mixing reaction technique via ring-opening polymerization of L-lactide. *European Polymer Journal*, 93, pp.815-821. <23/03/2020>
- [25] Sulzer.com. n.d. Monotube Heat Exchanger SMXL™ | Sulzer. [online] Disponible a: <https://www.sulzer.com/en/shared/products/monotube-heat-exchanger-smxl> <23/03/2020>
- [26] <https://checalc.com/calc/pump.html> <26/03/2020>
- [27] Catàleg Talleres Pujol S.A: http://www.tallerespujol.com/catalogos/Catalogo_JM.pdf <26/03/2020>
- [28] Geankoplis, Christie J. “Transport Processes And Unit Operations” 1993 <06/04/2020>

- [29] Válvulas Nacional S.A., n.d. Catàleg de vàlvules de seguretat. 3-5211 y 3-5261. pp.13-22. <27/05/2020>
- [30] Real Decret 286/2006:
http://www.ugt.cat/download/salut_laboral/higiene_industrial/cuaderno_ruido_correcciones.pdf <18/05/2020>
- [31] <http://www.matche.com/equipcost/Default.html> <22/04/2020>
- [32] <https://www.chemengonline.com/tag/cepci/> <22/04/2020>
- [33] Conversió del dia 22/04/2020: <https://www.infobolsa.es/divisas/conversor> <22/04/2020>
- [34] <https://www.alibaba.com/> <23/04/2020>
- [35] J. Bell, K., 1998. 3.1.2 INTRODUCTION TO HEAT EXCHANGER DESIGN: Types of heat exchangers and their applications. *Begell house*, Table 2 <06/04/2020>
- [36] <https://5.imimg.com/data5/HD/QF/BL/SELLER-8912321/wiped-film-evaporators-engineered-systems.pdf> <06/04/2020>
- [37] <https://manualzz.com/doc/5375361/manual-agitadores-fluidmix> <30/03/2020>

ANNEXOS

A. DIAGRAMA DE GANTT



B. FITXA DE SEGURETAT DE LA LACTIDA**Safety data sheet****FUTERRO L-LACTIDE**

Page : 2 / 8

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Revised : 15/10/2009

Supersedes : 26/05/2008

	Risk of serious damage to eyes , loss of vision : lactic acid
Ingestion	Risk of irritation of respiratory system May cause gastrointestinal irritation, nausea, vomiting and diarrhoea
Adverse environmental effects	the product is inherently biodegradable

3. Composition / information on ingredients

chemical name	3,6-dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione
Synonym	L-Lactide
Concentration (%)	> 99 %
CAS number	CAS: 4511-42-6
EINECS or ELINCS number	EINECS: 224-832-0
Symbol(s)	Xi
R Phrase(s)	37/38-41
R Phrase(s) used	some of the components of this preparation are classified following the European directives and have risk phrases (R), but only their code are indicated in this rubric. you may find the full text of them in rubric 16.

4. First-aid measures

IN CASE OF HEAVY OR PERSISTENT DISTURBANCES, CALL A DOCTOR OR SEEK MEDICAL ADVICE URGENTLY

Route of exposure

Inhalation	bring patient into fresh air if necessary, give oxygen if breathing has stopped: administer artificial respiration. seek medical advice.
Skin contact	after contact with skin, wash immediately with plenty of soap and water
Eye contact	flush immediately with plenty of water, holding the eyelids open (> 20') Get medical advice (ophthalmologist)
Ingestion	do not induce vomiting. seek medical advice.

5. Fire - fighting measures**FUTERRO**

23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®©

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Page : 3 / 8

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008

Technical measures	stop the fire spreading. call the fire brigade immediately. evacuate non-essential personnel
Extinguishing media	
Suitable	for minor fires : carbon dioxide (CO ₂) or powder for more extensive fires : foam. water spray (mist) to cool the surfaces exposed to the fire.
Not to be used	do not use water jets (stick jets) for extinguishing fire since they could help to spread the flames
Special peril	complete combustion, with an excess of oxygen forms: carbon dioxide (CO ₂) and water vapour. partial combustion, forms also: carbon monoxide (CO), soot and cracked products: aldehydes, ketones
Protective equipment for firefighters	wear suitable breathing equipment, in case of risk of exposure to vapour or fumes.

6. Accidental release measures

Personal precautions	Avoid contact with skin and eyes and inhalation.
refer to points 8 and 13	
After spillage / leakage	
on soil	recover the spilled product by sweeping or suction; put it in containers to facilitate its disposal. dispose safely in accordance with local or national regulations.
on water	the product is water soluble. refer to a specialist for waste disposal in a safe manner in accordance with local or national regulations.

7. Handling and storage

HANDLING	
Technical measures	Avoid contact with skin and eyes and inhalation. all pneumatic transport equipment must be electrically earthed. avoid dust accumulation by use of filters in the pneumatic transport equipment.
STOCKAGE	
Storage conditions	store at ambient temperature (< 20 °C) store away from heating source. avoid static electricity build up with connection to earth. store in dry, well-ventilated area.

FUTERRO
23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Page : 4 / 8

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008

Incompatible materials	avoid contact with strong oxidizing materials , water
SPECIFIC USE(S)	no information available
refer to point 8	

8. Exposure controls / personal protection

Exposure controls

OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMIT

respirable dust particles:
 US (ACGIH-2007): TLV- 8h TWA: 3 mg/m³
 UK: HSE EH40/2005:
 Long-term exposure limit (8-hour TWA reference period) : 4 mg/m³
 (Respirable Dust)
 IRL(2002): OEL (8h): 4 mg/m³ (respirable)
 ZA (2006): OEL (8h): 5 mg/m³ (respirable particulate: PNOC)
 inhalable dust particles:
 US (ACGIH-2007): TLV-8h TWA: 10 mg/m³
 UK: HSE EH40/2005:
 Long-term exposure limit (8-hour TWA reference period) : 10 mg/m³
 (Total Inhalable Dust)
 IRL(2002): OEL (8h): 10 mg/m³ (total inhalable)
 ZA (2006): OEL (8h): 10 mg/m³ (inhalable particulate: PNOC)

EXPOSURE CONTROLS

Occupational exposure controls

Personal protection

Respiratory protection

in case of risk of overexposure to dust, vapour or fumes (during product processing), it is recommended that a local exhaust system is placed above the conversion equipment (a fume hood) and the working area must be properly ventilated.
 wear a suitable anti-dust respirator
 recommended filter type : P1

Skin and body protection

where exposure is likely, protective clothing must be worn including gloves

Eye protection

goggles/spectacles

Other personal protection

safety non-slip shoes in areas where spills or leaks can occur.
 shower and eye fountain available.

Industrial health measures

avoid contact with skin and eyes.
 do not store near food products.
 remove all contaminated clothing and remove protective clothing when the work is completed.

Environmental exposure controls

unregulated

FUTERRO

23 Place d'Escauffles
 B-7760 Escauffles
 BELGIUM
 phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Page : 5 / 8
Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008

9. Physical and chemical properties

GENERAL INFORMATION

Appearance	crystals
Physical state at 20°C	solid
Colour	white
Odour	odourless

IMPORTANT HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENTAL INFORMATION

Change in physical state at 1013 hPa

Melting point (°C)	98,7
Flash point (ASTM D 1929)(°C)	154
Decomposition point (°C)	no information available
Auto-ignition temperature (°C)	388
Explosion limits (kg/m ³)	no information available
Density, mass at 20°C (kg/m ³)	1340
Solubility in water at 20°C (mg/l)	soluble
pH value (concentrated product)	7
Viscosity (mm ² /s)	not applicable
Molecular weight (kg/kmol)	144

OTHER INFORMATION

no information available

10. Stability and reactivity

Stability	stable under normal operating conditions of storage, handling and use the product reacts with water. hydrolysis in water produces: lactic acid Corrosive
-----------	--

CONDITIONS TO AVOID

water
avoid contact with strong oxidizing materials
avoid proximity or contact with flames or sparks

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

complete combustion, with an excess of oxygen forms: carbon dioxide (CO₂) and water vapour.
partial combustion, forms also: carbon monoxide (CO), soot and

FUTERRO

23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Page : 6 / 8

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008

Hazardous properties

cracked products: aldehydes, ketones
hygroscopic
May polymerize on exposure to temperature rise

11. Toxicological information

ACUTE TOXICITY

Ingestion

in case of ingestion of small quantities, no important effect observed. in case of ingestion of larger amounts: abdominal pain, diarrhoea, ...

Rat, oral LD50 (mg/kg)

> 5

Skin contact

irritant

Rabbit dermal LD50 (mg/kg)

> 2000

LOCAL EFFECT

Inhalation

dust may cause irritation of respiratory system.

Skin contact

may be irritating
thermal decomposition products are produced at elevated temperatures and these may be irritating

Eye contact

Irritating to eyes
fine dust may cause irritation to ocular mucous.
Risk of serious damage to eyes , loss of vision (lactic acid)

SENSITIZATION

Skin contact

following the available information, not regarded as a sensitiser

SPECIFIC EFFECTS

no particular preoccupation for man
(According to available experimental data)

12. Ecological information

Information on ecological effects

avoid losses to the environment whenever possible.

MOBILITY

water / air

the product is water soluble.

soil and sediments

because of its physico-chemical properties, the product has a low soil mobility

PERSISTENCE AND DEGRADABILITY

Biodegradation

the product is inherently biodegradable

BIOACCUMULATIVE POTENTIAL

potential bioaccumulation of the product in environment is very low

FUTERRO

23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Page : 7 / 8

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008**ECOTOXICITY**

because of its structure, the product should not be dangerous for aquatic life

13. Disposal considerations

Waste disposal

dispose in a safe manner in accordance with local/national regulations. authorized disposal
do not dispose off by means of sinks, drains or into the immediate environment

Disposal of contaminated packaging

dispose in a safe manner in accordance with local/national regulations.

14. Transport information

Road (ADR) / Rail (RID)

Not restricted for transport.

UN Number

not applicable

Marine (IMO)

Not restricted for transport.

Air transport (ICAO / IATA)

Not restricted for transport.

15. Regulatory information

Labelling and Classification EC

Classification according to directives 67/548/EEC and 1999/45/EC.

Symbol(s) EC

Xi : Irritant

R Phrase(s)

R 37/38 :Irritating to respiratory system and skin.
R 41 :Risk of serious damage to eyes.

S Phrase(s)

S 24 :Avoid contact with skin.
S 26 :In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.
S 37/39 :Wear suitable gloves and eye / face protection.**Germany**

Wassergefährdungsklasse

NWG: non-hazardous to waters

Registration

listed on the ASIA-PAC inventory.
listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)- EEC Directive 79/831, sixth Amendment of the directive 67/548 (dangerous substances).
listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory
listed on the Japanese ENCS (Existing & New Chemical Substances) inventory.
listed on the Canadian NDSL (Non Domestic Substances List) inventory.**FUTERRO**23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®©

Safety data sheet

FUTERRO L-LACTIDE

Product :
PRUB-PLA02

Version (en) nr : 3.00

Page : 8 / 8
Revised : 15/10/2009
Supersedes : 26/05/2008

16. Other information

Training advice

The use of this product requires specific training.
The user must receive all product information in order to handle the product safely
(personal protection equipment and best practice standards)

Recommended uses

Restricted to professional users

Further information

no information available

R Phrase(s) used

R 37/38 :Irritating to respiratory system and skin.
R 41 :Risk of serious damage to eyes.

Safety data sheet conforms to the Regulation (EU) N° 1907/2006

This information applies to the PRODUCT AS SUCH and conforming to specifications of FUTERRO.
In case of formulations or mixtures, it is necessary to ascertain that a new danger will not appear.
The information contained is based on our knowledge of the product, at the date of publishing and it is given quite sincerely. However the revision of some data is in progress.
Users are advised of possible additional hazards when the product is used in applications for which it was not intended. This sheet shall only be used and reproduced for prevention and security purposes.
The references to legislative, regulatory and codes of practice documents cannot be considered as exhaustive.
It is the responsibility of the person receiving the product to refer to the totality of the official documents concerning the use, the possession and the handling of the product.
It is also the responsibility of the handlers of the product to pass on to any subsequent persons who will come into contact with the product. (usage, storage, cleaning of containers, other processes) the totality of the information contained within this safety data sheet and necessary for safety at work, the protection of health and the protection of environment.

The (*) indicate the changes made with respect to the previous version.

FUTERRO
23 Place d'Escanaffles
B-7760 Escanaffles
BELGIUM
phone : + 32(0)69.45.22.76 - fax : + 32(0)69.45.22.97

ExESS®

C. DIMENSIONAMENT DE LES BOMBES

Chemical Engineering Calculations

Pump Sizing Calculation<https://checalc.com/calc/pump.html>

Project	pumps		Developed By	CheCalc
Date	14/4/2020 18:58:41		Reviewed By	
Revision	0		Approved By	

Data

Flowrate	m ³ /h	0.570	Vapor Pressure	barg	0.0250
Density	kg/m ³	1153	Pump Efficiency	%	50.00
Viscosity	cP	2.37			

Hydraulic Data

		Suction	Discharge
Operating Pressure	barg	0.200	2.00
Static Head	m	0.900	0.000000000
Equipment Loss	bar	0.000000000	0.500
Length	m	2.50	8.00
Pipe Selected		1", Sch 40	1", Sch 40
Pipe Inside Diameter	mm	26.64	26.64
Velocity	m/s	0.284	0.284
Reynold's Number		3681	3681
Pipe, ΔP	kPa/100 m	7.58	7.58
Pressure at Pump Suction / Discharge	barg	0.298	2.51

Pipe Fitting Loss

	Suction			Discharge		
Fittings	#	K	ΔP	#	K	ΔP
Elbows, 90LR	1	0.61	0.00	5	0.61	0.00
Elbows, 45LR	0	0.43	0.00	0	0.43	0.00
Tees, Thru	0	1.02	0.00	0	1.02	0.00
Tees, Branch	1	1.78	0.00	1	1.78	0.00
Ball Valve	2	0.43	0.00	4	0.43	0.00
Butterfly Valve	0	0.71	0.00	0	0.71	0.00
Gate Valve	0	0.28	0.00	0	0.28	0.00
Globe Valve	0	8.22	0.00	0	8.22	0.00
Check Valve	0	3.34	0.00	1	3.34	0.00
Plug Valve	0	0.76	0.00	0	0.76	0.00
Pipe Entrance / Exit	1	0.54	0.00	1	1.00	0.00
Total ΔP, bar		0.00176			0.00505	

Result

Differential Pressure	bar	2.21	Pump BKW	kW	0.0701
Differential Head	m	19.59	NPSH Available	m	2.42
Hydraulic Power	kW	0.0350			

D. TAULES FACTOR D'EMBRUTIMENT PER BESCANVIADORS DE CALORTaula D.1. *Fouling* de diferents substàncies (ref. 35).

Fluid conditions		α , W/m ² K ^{a, b}	Fouling resistance, m ² K/W ^a
Sensible heat transfer			
Water ^c	Liquid	5 000-7 500	1×10^{-4} - 2.5×10^{-4}
Ammonia	Liquid	6 000-8 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Light organics ^d	Liquid	1 500-2 000	1×10^{-4} - 2×10^{-4}
Medium organics ^e	Liquid	750-1 500	1.5×10^{-4} - 4×10^{-4}
Heavy organics ^f	Liquid,		
	Heating	250-750	2×10^{-4} - 1×10^{-3}
	Cooling	150-400	2×10^{-4} - 1×10^{-3}
Very heavy organics ^g	Liquid,		
	Heating	100-300	4×10^{-4} - 3×10^{-3}
	Cooling	60-150	4×10^{-4} - 3×10^{-3}
Gas ^h	Pressure 100-200 kN/m ² abs	80-125	$0-1 \times 10^{-4}$
Gas ⁱ	Pressure 1 MN/m ² abs	250-400	$0-1 \times 10^{-4}$
Gas ^h	Pressure 10 MN/m ² abs	500-800	$0-1 \times 10^{-4}$
Condensing heat transfer			
Steam, ammonia	Pressure 10 kN/m ² abs, no noncondensables ^{l, j}	8 000-12 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Steam, ammonia	Pressure 10 kN/m ² abs, 1% noncondensables ^k	4 000-6 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Steam, ammonia	Pressure 10 kN/m ² abs, 4% noncondensables ^k	2 000-3 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Steam, ammonia	Pressure 100 kN/m ² abs, no condensables ^{l, j, k, l}	10 000-15 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Steam, ammonia	Pressure 1 MN/m ² abs, no condensables ^{l, j, k, l}	15 000-25 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Light organics ^d	Pure component, pressure 10 kN/m ² abs, no noncondensables ^l	1 500-2 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Light organics ^d	Pressure 10 kN/m ² abs, 4% noncondensables ^k	750-1 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Light organics ^d	Pure component, pressure 100 kN/m ² abs, no noncondensables ^l	2 000-4 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Light organics ^d	Pure component, pressure 1 MN/m ² abs	3 000-7 000	$0-1 \times 10^{-4}$
Medium organics ^e	Pure component or narrow condensing range, pressure 100 kN/m ² abs ^{m, n}	1 500-4 000	1×10^{-4} - 3×10^{-4}
Heavy organics	Narrow condensing range, pressure 100 kN/m ² abs ^{m, n}	600-2 000	2×10^{-4} - 5×10^{-4}
Light multicomponent mixtures, all condensable ^d	Medium condensing range, pressure 100 kN/m ² abs ^{k, m, o}	1 000-2 500	$0-2 \times 10^{-4}$
Medium multicomponent mixtures, all condensable	Medium condensing range, pressure 100 kN/m ² abs ^{k, m, o}	600-1 500	1×10^{-4} - 4×10^{-4}
Heavy multicomponent mixtures, all condensable ^f	Medium condensing range, pressure 100 kN/m ² abs ^{k, m, o}	300-600	2×10^{-4} - 8×10^{-4}
Vaporizing heat transfer ^{p, q}			
Water ^r	Pressure < 0.5 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 25$ K	3 000-10 000	1×10^{-4} - 2×10^{-4}
Water ^r	Pressure > 0.5 MN/m ² abs, pressure < 10 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 20$ K	4 000-15 000	1×10^{-4} - 2×10^{-4}
Ammonia	Pressure < 3 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 20$ K	3 000-5 000	1×10^{-4} - 2×10^{-4}

(See footnotes on page 3.1.4-5.)

Taula D.2. *Fouling* de diferents substàncies (continuació) (ref. 35).

Fluid conditions	α , W/m ² K ^{a, b}	Fouling resistance, m ² K/W ^a
Light organics ^d	Pure component, pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 20$ K	1 × 10 ⁻⁴ –2 × 10 ⁻⁴
Light organics ^d	Narrow boiling range ^e , pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 15$ K	1 × 10 ⁻⁴ –3 × 10 ⁻⁴
Medium organics ^e	Pure component, pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 20$ K	1 × 10 ⁻⁴ –3 × 10 ⁻⁴
Medium organics ^e	Narrow boiling range ^e , pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 15$ K	1 × 10 ⁻⁴ –3 × 10 ⁻⁴
Heavy organics ^f	Pure component, pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 20$ K	2 × 10 ⁻⁴ –5 × 10 ⁻⁴
Heavy organics ^g	Narrow boiling ranges ^e , pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 15$ K	2 × 10 ⁻⁴ –8 × 10 ⁻⁴
Very heavy organics ^h	Narrow boiling range ^e , pressure < 2 MN/m ² abs, $\Delta T_{SH, max} = 15$ K	2 × 10 ⁻⁴ –1 × 10 ⁻³

^aHeat transfer coefficients and fouling resistances are based on area in contact with fluid. Ranges shown are typical, not all-encompassing. Temperatures are assumed to be in normal processing range; allowances should be made for very high or low temperatures.

^bAllowable pressure drops on each side are assumed to be about 50–100 kN/m² except for (1) low-pressure gas and two-phase flows, where the pressure drop is assumed to be about 5% of the absolute pressure; and (2) very viscous organics, where the allowable pressure drop is assumed to be about 150–250 kN/m².

^cAqueous solutions give approximately the same coefficients as water.

^d“Light organics” include fluids with liquid viscosities less than about 0.5 × 10⁻³ N s/m², such as hydrocarbons through C₈, gasoline, light alcohols and ketones, etc.

^e“Medium organics” include fluids with liquid viscosities between about 0.5 × 10⁻³ and 2.5 × 10⁻³ N s/m², such as kerosene, straw oil, hot gas oil, absorber oil, and light crudes.

^f“Heavy organics” include fluids with liquid viscosities greater than 2.5 × 10⁻³ N s/m², but not more than 50 × 10⁻³ N s/m², such as cold gas oil, lube oils, fuel oils, and heavy and reduced crudes.

^g“Very heavy organics” include tars, asphalts, polymer melts, greases, etc., having liquid viscosities greater than about 50 × 10⁻³ N s/m². Estimation of coefficients for these materials is very uncertain and depends strongly on the temperature difference, because natural convection is often a significant contribution to heat transfer in heating, whereas conglomeration on the surface and particularly between fins can occur in cooling. Since many of these materials are thermally unstable, high surface temperatures can lead to extremely severe fouling.

^hValues given for gases apply to such substances as air, nitrogen, carbon dioxide, light hydrocarbon mixtures (no condensation), etc. Because of the very high thermal conductivities and specific heats of hydrogen and helium, gas mixtures containing appreciable fractions of these components will generally have substantially higher heat transfer coefficients.

ⁱSuperheat of a pure vapor is removed at the same coefficient as for condensation of the saturated vapor if the exit coolant temperature is less than the saturation temperature (at the pressure existing in the vapor phase) and if the (constant) saturation temperature is used in calculating the mean temperature difference. But see note *k* for vapor mixtures with or without noncondensable gas.

^jSteam is not to be condensed on conventional low-finned tubes; its high surface tension causes bridging and retention of the condensate and a severe reduction of the coefficient below that of the plain tube.

^kThe coefficients cited for condensation in the presence of noncondensable gases or for multicomponent mixtures are only for very rough estimation purposes because of the presence of mass transfer resistances in the vapor (and to some extent, in the liquid) phase. Also, for these cases, the vapor-phase temperature is not constant, and the coefficient given is to be used with the mean temperature difference estimated using vapor-phase inlet and exit temperatures, together with the coolant temperatures.

^lAs a rough approximation, the same relative reduction in low-pressure condensing coefficients due to noncondensable gases can also be applied to higher pressures.

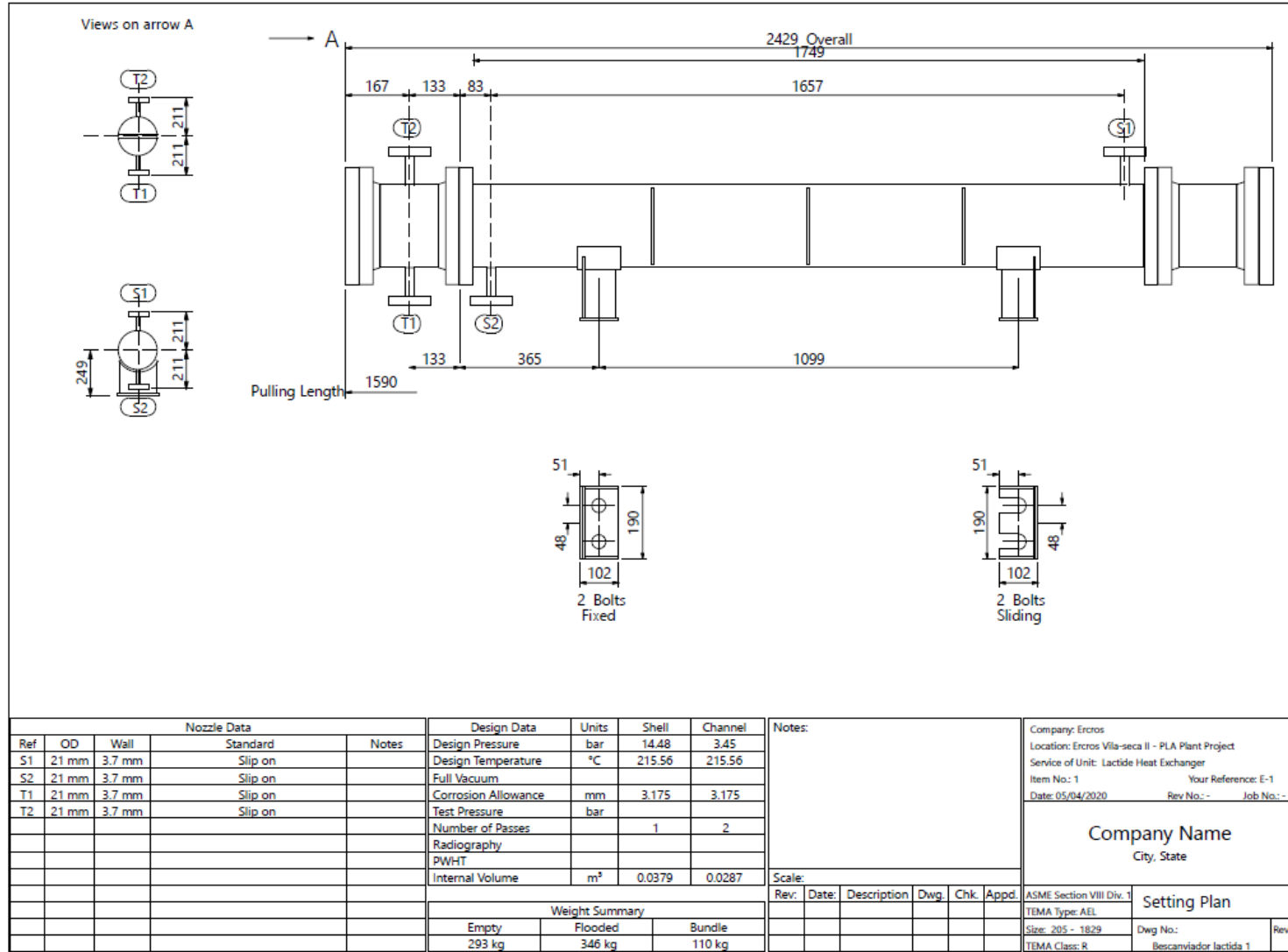
^mAbsolute pressure and noncondensables affect condensing coefficients for medium and heavy organics in approximately the same proportion as for light organics. Because of thermal degradation, fouling may become quite severe for the heavier condensates. For large fractions of noncondensable gas, interpolate between pure component condensation and gas cooling coefficients.

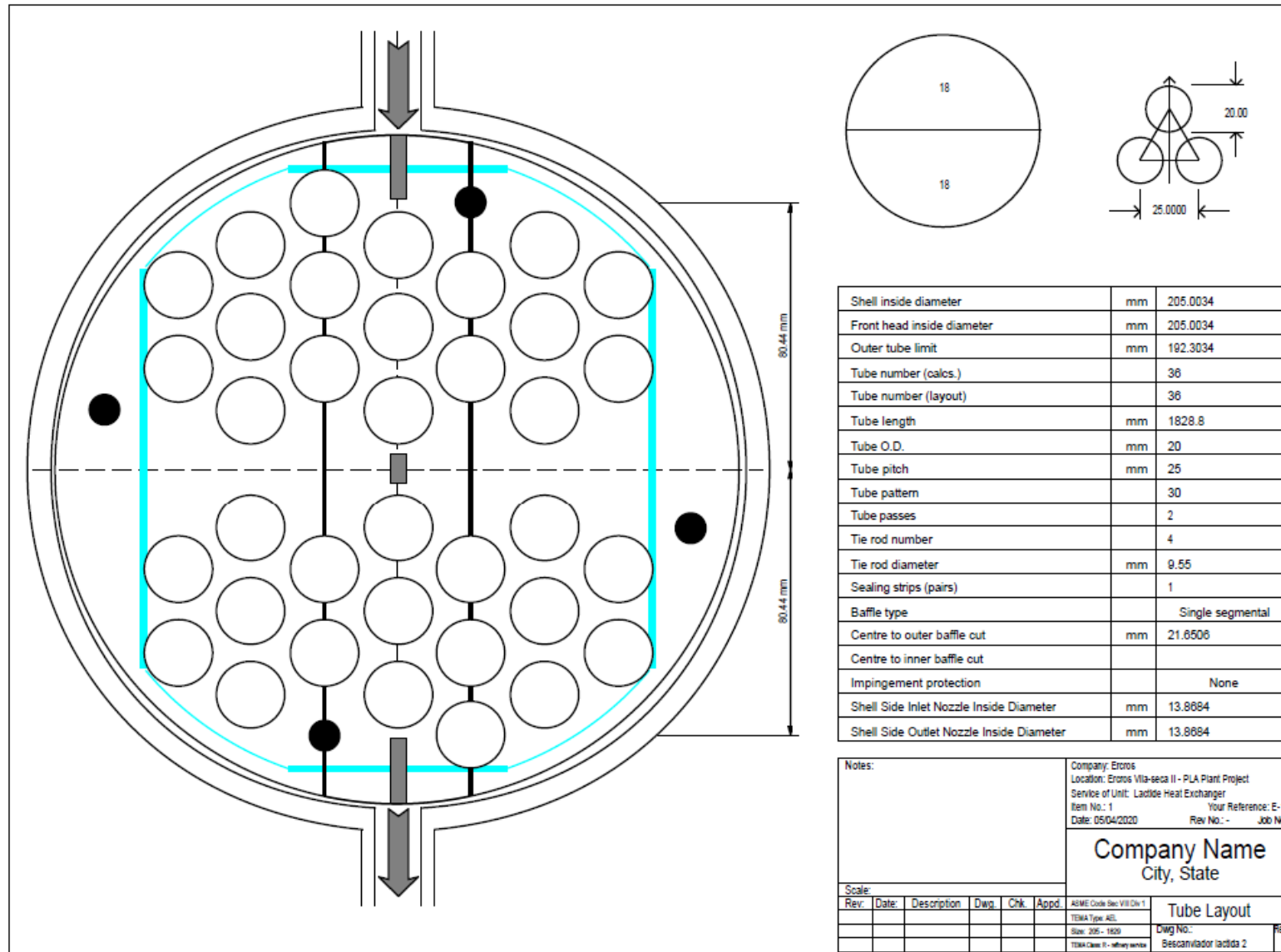
ⁿ“Narrow condensing range” implies that the temperature difference between dew point and bubble point is less than the smallest temperature difference between vapor and coolant at any place in the condenser.

^o“Medium condensing range” implies that the temperature difference between dew point and bubble point is greater than the smallest temperature difference between vapor and coolant, but less than the temperature difference between inlet vapor and outlet coolant.

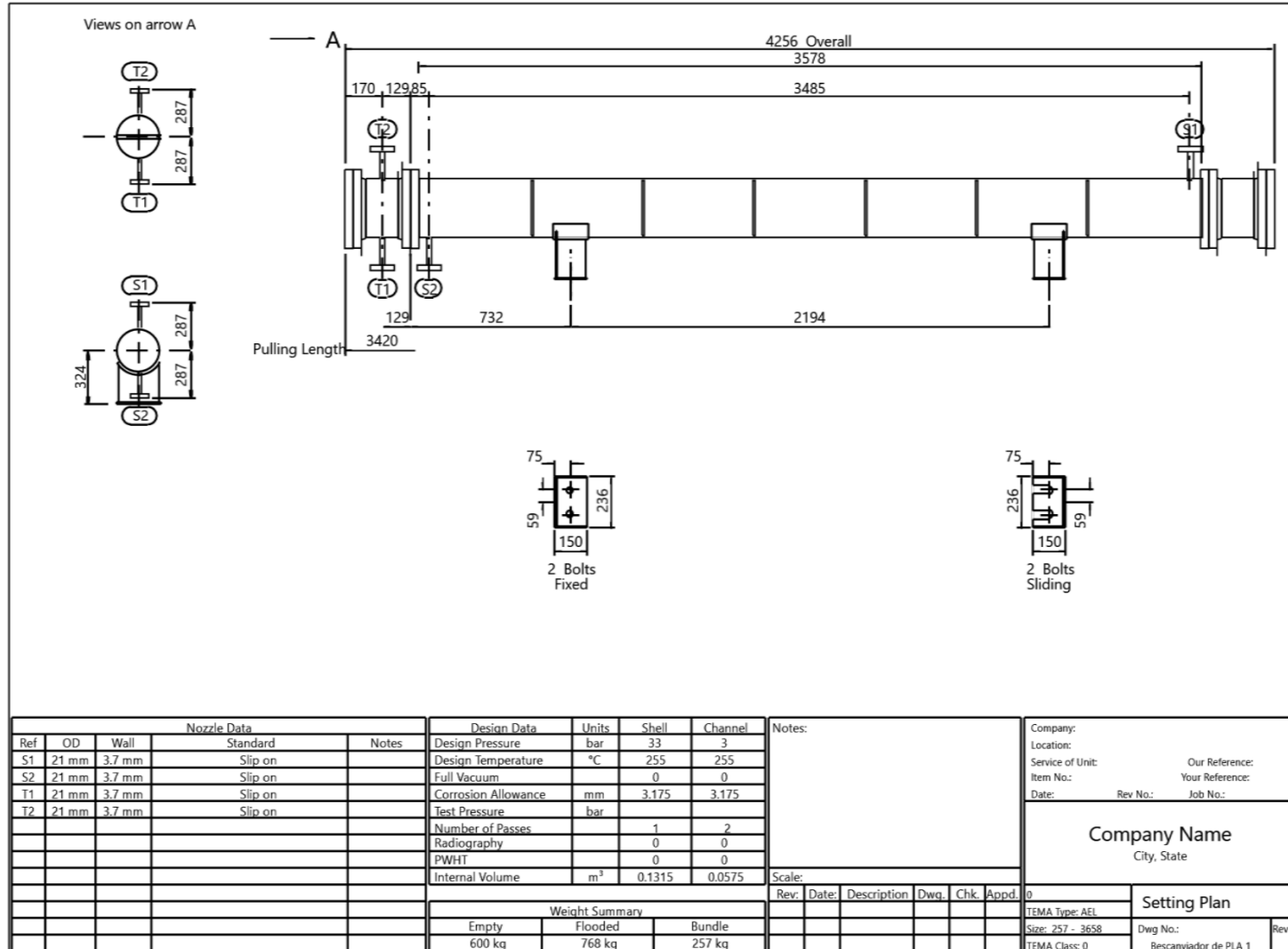
^pBoiling and vaporizing heat transfer coefficients depend very strongly on the nature of the surface and the structure of the two-phase

E. PLÀNOLS DEL BESCOANVIADOR DE LA LACTIDA: E5533





F. PLÀNOLS DEL BESCOANVIADOR DEL PLA: E5534



Nozzle Data				Design Data		Units	Shell	Channel	Notes:
Ref	OD	Wall	Standard	Design Pressure	bar	33	3		
S1	21 mm	3.7 mm	Slip on	Design Temperature	°C	255	255		
S2	21 mm	3.7 mm	Slip on	Full Vacuum		0	0		
T1	21 mm	3.7 mm	Slip on	Corrosion Allowance	mm	3.175	3.175		
T2	21 mm	3.7 mm	Slip on	Test Pressure	bar				
				Number of Passes		1	2		
				Radiography		0	0		
				PWHT		0	0		
				Internal Volume	m³	0.1315	0.0575		
				Scale:					
				Weight Summary					
				Empty	Flooded	Bundle			
				600 kg	768 kg	257 kg			
								Rev. Date: Description Dwg. Chk. Appd.	
								Company:	
								Location:	
								Service of Unit: Our Reference:	
								Item No.: Your Reference:	
								Date: Rev No.: Job No.:	
								Company Name	
								City, State	
								Setting Plan	
								ITEMA Type: AEL	
								Size: 257 - 3658	
								Dwg No.:	
								ITEMA Class: 0	
								Bescanviador de PLA 1	
								Rev.:	

G. REPORT DE LA SIMULACIÓ DEL EVAPORADOR

ProSimPlus Simulation Report

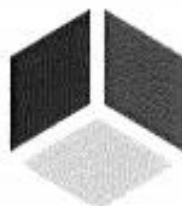
Page 1 of 7

ProSim Plus

EXE Version: 3.6.14.0

DLL Version: 4.0.8.820

Mon Apr 27 2020 - 10:43:30



ProSim

ProSim is a registered trademark from ProSim SA

ProSim SA
Immeuble Stratège A
51, rue Ampère
31670 Labège - France
☎ +33 (0)5 62 88 24 30

ProSim, Inc.
Suite 800
325 Chestnut Street
Philadelphia, PA 19106 - USA
☎ +1 215-600-3760

E-mail : support@prosim.net web : <http://www.prosim.net>

LACTIDE
M. TIERNO

Process flowsheet^[1]

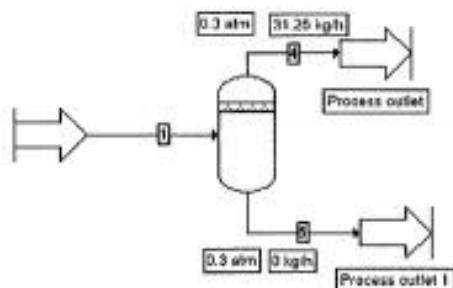


Table of Contents ⁽⁻⁾

[Process matrix](#)

[Equipment parameters](#)

[Calculation sequence \(2\)](#)

[Simulation report](#)

[Streams output report](#)

1
4
5

[Equipment output report](#)

[LACTIDA](#)

[Liquid-vapor separator \(V\)](#)

of type : Process feed

of type : Liquid-vapor separator (V)

[Elapsed times](#)

Process matrix ⁽⁻⁾

MATERIAL STREAMS

STREAM	ORIGIN	TARGET
1	LACTIDA	Liquid-vapor sepa...
4	Liquid-vapor sepa...	>>>>
5	Liquid-vapor sepa...	>>>>

Equipment parameters ⁽⁻⁾

COMPONENT	INPUTS	OUTPUTS	I/O BALANCE
DILACTIDE (d1)	31.2500	31.2500	0.00000
WATER	0.00000	0.00000	0.00000
TOTAL FLOWRATE (kg/h)	31.2500	31.2500	0.00000

Streams output report ^{t-1}

STREAM NAME: 1
DESCRIPTION:

THERMO. CALCULATOR: [\[New calculator\]](#)
FROM: [LACTIDA](#)
TO: [Liquid-vapor separator \(V\)](#)
PHASE: LIQUID

COMPONENT	(kmol/h)	MOL-FR	(kg/h)	MAS-FR
1 DILACTIDE (d1)	0.216826	1.00000	31.2500	1.00000
2 WATER	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TOTAL	0.216826		31.2500	
TOTAL VOLUME FLOWRATE			2.815527E-02 (m3/h)	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000
LIQUID FRACTION		1.00000		1.00000
SOLID FRACTION		0.00000		0.00000
TEMPERATURE	220.000	(°C)		
PRESSURE	1.00000	(atm)		
ENTHALPY	-1690.19	(kcal/h)		
ENTROPY	-1.96383	(kcal/h/K)		
MOLECULAR WEIGHT	144.125	(g/mol)		
DENSITY	1109.92	(kg/m3)		
DYNAMIC VISCOSITY	4.581979E-04	(Pa.s)		
THERMAL CONDUCTIVITY	0.183382	(W/m/K)		
CP	76.2992	(cal/mol/K)		
CV	NOT CALCULATED	(cal/mol/K)		
SPEED OF SOUND	NOT CALCULATED	(m/s)		
SURFACE TENSION	26.2696	(dyn/cm)		
JOULE-THOMPSON COEFF.	NOT CALCULATED	(K/atm)		

[Process matrix](#)
[Streams table](#)

STREAM NAME: 4
DESCRIPTION:

THERMO. CALCULATOR: [\[New calculator\]](#)
FROM: [Liquid-vapor separator \(V\)](#)
TO: >>>>
PHASE: VAPOR

COMPONENT	(kmol/h)	MOL-FR	(kg/h)	MAS-FR
1 DILACTIDE (d1)	0.216826	1.00000	31.2500	1.00000
2 WATER	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TOTAL	0.216826		31.2500	

ProSimPlus Simulation Report

Page 5 of 7

TOTAL VOLUME FLOWRATE	29.6347	(m3/h)
VAPOR FRACTION	1.00000	1.00000
LIQUID FRACTION	0.00000	0.00000
SOLID FRACTION	0.00000	0.00000
TEMPERATURE	220.000	(°C)
PRESSURE	0.296077	(atm)
ENTHALPY	1931.51	(kcal/h)
ENTROPY	5.42876	(kcal/h/K)
MOLECULAR WEIGHT	144.125	(g/mol)
DENSITY	1.05451	(kg/m3)
DYNAMIC VISCOSITY	1.266548E-05	(Pa.s)
THERMAL CONDUCTIVITY	1.772667E-02	(W/m/K)
CP	54.0642	(cal/mol/K)
CV	52.0778	(cal/mol/K)
SPEED OF SOUND	171.857	(m/s)
SURFACE TENSION	NOT CALCULATED	(dyn/cm)
JOULE-THOMPSON COEFF.	0.00000	(K/atm)

[Process matrix](#)[Streams table](#)

STREAM NAME: 5
DESCRIPTION:

THERMO. CALCULATOR: [\[New calculator\]](#)FROM: [Liquid-vapor separator \(V\)](#)

TO: >>>>

PHASE: LIQUID

COMPONENT	(kmol/h)	MOL-FR	(kg/h)	MA5-FR
1 DILACTIDE (dl)	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2 WATER	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TOTAL	0.00000		0.00000	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000
LIQUID FRACTION		1.00000		1.00000
SOLID FRACTION		0.00000		0.00000
TEMPERATURE	220.000	(°C)		
PRESSURE	0.296077	(atm)		
ENTHALPY	0.00000	(kcal/h)		
ENTROPY	0.00000	(kcal/h/K)		
MOLECULAR WEIGHT	0.00000	(g/mol)		
DYNAMIC VISCOSITY	0.00000	(Pa.s)		
THERMAL CONDUCTIVITY	0.00000	(W/m/K)		
CP	0.00000	(cal/mol/K)		
CV	NOT CALCULATED	(cal/mol/K)		
SPEED OF SOUND	NOT CALCULATED	(m/s)		
SURFACE TENSION	NOT CALCULATED	(dyn/cm)		
JOULE-THOMPSON COEFF.	NOT CALCULATED	(K/atm)		

[Process matrix](#)[Streams table](#)

Equipment output report ^[1]



EQUIPMENT: LACTIDA
TYPE: Process feed

DESCRIPTION:

OUTLET STREAM:

1THERMODYNAMIC CALCULATOR: [\[New calculator\]](#)

*** MATERIAL STREAM FROM FEED MODULE ***

TEMPERATURE = 220.000 (°C)
 PRESSURE = 1.00000 (atm)

COMPONENT * MOLAR FLOWRATE
 * (kmol/h)
 *
 DILACTIDE (dl) * 0.216826
 WATER * 0.00000

TOTAL MOLAR FLOWRATE = 0.216826 (kmol/h)

[Process matrix](#)
[Equipment table](#)

0

EQUIPMENT: Liquid-vapor separator (V)
 TYPE: Liquid-vapor separator (V)
 DESCRIPTION:

INLET STREAM:

1

OUTLET STREAMS:

45THERMODYNAMIC CALCULATOR: [\[New calculator\]](#)**VAPOR-LIQUID SEPARATOR CALCULATION DATA**

INPUT DATA

FLASH WITH T, P GIVEN:

TEMPERATURE = 220.000 (°C)
 PRESSURE = 0.296877 (atm)

RESULTS

OUTPUT MIXTURE - VAPORIZATION RATIO = 1.00000 (MOLAR)

COMPONENTS	MOLE FRACTIONS VAPOR
1 DILACTIDE (dl)	1.00000
2 WATER	0.00000

DUTY = 3621.70 (kcal/h)

ProSimPlus Simulation Report

Page 7 of 7

UTILITY EXCHANGER PROPERTIES

- LMDT	:	13.9625	(°C)
- F FACTOR	:	0.800000	
- MDT	:	11.1700	(°C)
- U*A	:	324.235	(kcal/h/K)

UTILITY SIDE CONDITIONS:

- FLOWRATE	:	7.83436	(kg/h)
- VAPOR PRESSURE	:	29.6208	(atm)
- SATURATION TEMPERATURE	:	233.962	(°C)

[Process matrix](#)
[Equipment table](#)

Elapsed times [-]

TIMES ELAPSED	
INITIALIZATIONS.....	0.453
READING.....	8.453
DATA REPORT.....	8.984
EXECUTION.....	0.391
OUTPUT REPORT.....	12.438
TOTAL.....	30.719

H. ESTUDI ECONÒMIC

H.1. Avaluació econòmica

Per tal de calcular el preu dels equips, s'ha utilitzat al software Matches:

Taula H.1. Especificacions dels equips.

Equip	Unitats	Especificacions	Material	Dades
Tanc	1	<i>type vert, cone top & bottom, small</i>	<i>stainless steel 316</i>	18 m ³
Bomba	2	<i>positive displacement, type gear chemical, seal type mechanical seal</i>	<i>stainless steel 316</i>	0,57 m ³ /h
Bescanviador de calor	1	<i>type shell/Tube, floating Head, medium, pressure 150 psi rating</i>	<i>stainless steel 316</i>	4 m ²
Bescanviador de calor	1	<i>type shell/Tube, floating Head, medium, pressure 150 psi rating</i>	<i>stainless steel 316</i>	10,8 m ²
Evaporador	1	<i>heat exchanger evaporator, adigated film, pressure 150 psi rating</i>	<i>stainless steel 316</i>	10 m ²
Reactor	1	<i>type jacketed & agitated, pressure atmospheric to 25 psi</i>	<i>stainless steel 316</i>	2,23 m ³

Un cop calculat el preu total dels equips, es calcula el cost total de la inversió. Com que la planta està ben especificada, només s'augmentarà un 5% al preu dels equips per tal de cobrir els possibles errors de l'especificació dels equips.

$$C_{equip\ base} = 649.039 \text{ €} + 5\% \cdot 649.039 \text{ €} = 728.441 \text{ €} \quad (\text{H.1})$$

Cal destacar que el cost dels equips no llistats és el 5% del preu dels equips, és a dir, els 34.702 €. Per continuar, es farà referència a la taula H.2. on hi ha els factors per calcular els costos indirectes de la instal·lació.

També s'ha adjuntat els càlculs del full d'excel d'aquest apartat a la taula H.3.

Taula H.2. Factors per estimar el cost de la instal·lació.

		<15000	>15.000 a 30.000	>30.000 a 45.000	>45.000 a 60.000	>60.000 a 75.000	>75.000 a 100.000	>100.000
Equip principal i equipo no llistat		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Muntatge d'equip bàsic	Alt muntatge, molt d'equip	23/18	21/17	19/16	18,5/15	17,5/14	16,5/13,5	15,5/13
	Mitjà	18/12,5	17/11,5	16/10,8	15/10,5	14/9,2	13/8,5	12/7,5
	Eq. car o poc muntatge	12,5/7,5	11,5/6,7	10,8/6	10/5,5	9,2/5,2	8,5/5	8/4,8
Estructures	Alt-Eq. Cars o complicats		18/13	17/12,2	15/10,2	14/9,3	12/8,2	10/5,6
	Mitjà- Acer al carboni	16/9,2	14/8,5	12/5,7	11/6,5	9,5/5	8,2/4	7/3,2
	Mitjà- Aliatges	7,1/3,2	8/3,1	8,5/3	7,5/3	6,5/2,5	5,5/2	4,5/1,5
	Baix- Equip sobre el terra	5/0,3	4/0,2	3/0,2	2,5/0,1	2/0,1	1,5/0,1	1/0,1
	Pilotes o ruptura roca	Augmentar tots entre 25 a 100%						
Piping i racks sense aïllament	Alt-Petroquím. Racks	105/65	90/58	80/45	70/40	58/34	50/30	42/25
	Mitjà-Líquids, Electròlisi	65/33	58/27	48/22	40/16	34/12	30,5/10	25/9,2
	Baix-Líquids/sòlids	33/13	27/10,5	22/8,5	16/6,5	12/5,5	10/4,5	9/3,5
	Baix-Sòlids	13/5,5	10/4,5	8/3,5	6/2,5	5/1,5	4/0,5	3/0
Aïllament d'equips i canonades	Molt alt-Acer baixes temp.	35/26	30/21	26/16	23/15	20/12,5	16/9,2	12/7,3
	Alt-Temp. elevada	28/21	24/18	14/15	18/12,2	14/9,3	12/7,4	9/5,2
	Mitjà-Plantes químiques	24/15	20/13	18/10,3	14/8,2	12/5,4	09/3,3	6/2,2
	Baix	18/8,5	15/6,3	12/5,1	10/4,3	8/3,2	5/2,4	3/1,3
Electricitat i il·luminació	P. Electrolítica	56/45	55/42	50/38	45/33	40/30	35/26	30/19
	Grans interruptors	26/17	22/15	19/12,5	17/10,3	14/8,5	12/7,5	10/6,5
	Líquids	18/10,5	16/9,3	13/7,5	11/6,2	9/5,4	7/4,1	6/3,5
Instrumentació	Elevada	60/32	58/31	46/24	37/18	29/13	23/10,5	18/7,5
	Mitjana	35/15	32/13	26/10,5	20/7,5	15/5,5	11/3,5	8/2,5
	Baixa o sòlids	24/13	21/9,3	17/7,5	13/5,5	10/3,5	7/2,5	5/1,3
No comptabilitzat	Procés complicat	Afegir en tots els casos entre 6% a 3%						
	Procés simple	Afegir en tots els casos entre 2% a 0.5%						
Edificis	La majoria d'equips són dins	70/40	60/30	50/28	45/25	38/19	35/18	30/15
	Equips al exterior	36/15	32/13	28/11,2	24/8,5	20/5,5	17/4,5	14/2,5

Taula H.3. Estimació del cost de la instal·lació de la planta.

(EP)	Índex de cost			Baix	Probable	Alt	
	1			0	694.039	0	
Cost d'equips principals (CEP) M€				624.635	694.039	763.443	
Cost d'equips no llistats M€	PFC: Molt elaborat 2-10%	5%		31.232	34.702	38.172	
	PFC: Preliminar 10-20%						
Equip base (CEB)				655.867	728.741	801.615	
Cost mitjà M€	99.148						
	Comentaris	Factors					
Muntatge d'equip bàsic	Mitjà	8,5	10,8	13,0	78339,6		
Estructures	Mitjà- Aliatges	2,0	3,8	5,5	27327,8		
Piping i racks sense aïllament	Baix- Líquids/sòlids	4,5	7,3	10,0	52833,7		
Aïllament d'equips i canonades	Alt-Temp. elevada	7,4	9,7	12,0	70687,9		
Electricitat i il·luminació	Líquids	4,1	5,6	7,0	40445,1		
Instrumentació	Mitjana	3,5	7,3	11,0	52833,7		
No comptabilitzat	Procés simple	0,5	1,3	2,0	9109,3		
Edificis	Equips al exterior	4,5	10,8	17,0	78339,6		
Altres							
Serveis de l'edifici %							
Il·luminació	5				413833,7		
Ventilació i aire	0						
Calefacció	0						
Fontaneria	0						
Altres	0						
Total serveis	5	0	1	1	3917,0		
Subtotal factors		35	57	78			
		Baix		Alt			
		5%		-5%			
Cost dels factors (CF)		37	57	74	242.580	413.834	596.662
Cost directe dels límits de planta (CD)				898.447	1.142.574	1.398.277	
Costos indirectes (CI)	29% de CD			260.550	331.347	405.500	
Subtotal				1.158.997	1.473.921	1.803.777	
Imprevistos	14% de CD			125.783	159.960	195.759	
				1.284.779	1.633.881,5	1.999.536	
Cost total de la instal·lació (CTI)				-21,4%	1.633.881,5	22,4%	

Resumint, a les següents es mostren els factors escollits segons la planta i els serveis de l'edifici:

Taula H.4. Factors per estimar el cost de la instal·lació.

Equip principal i no llistat	Especificacions	Factors (petit-mitjana-gran)		
Muntatge d'equip bàsic	Mitjà	8,5	10,8	13,0
Estructures	Mitjà-aïllatges	2,0	3,8	5,5
Piping i racks sense aïllament	Baix-Líquids/sòlids	4,5	7,3	10,0
Aïllament d'equipos i canonades	Alt-Temp.elevada	7,4	9,7	12,0
Electricitat i il·luminació	Líquids	4,1	5,6	7,0
Instrumentació	Mitjana	3,5	7,3	11,0
No contabilitzat	Procés simple	0,5	1,3	2,0
Edificis	Equips al exterior	4,5	10,8	17,0

Taula H.5. Serveis de l'edifici.

Serveis	%
Il·luminació	5
Ventilació i aire condicionat	0
Calefacció	0
Fontaneria	0
Altres	0
TOTAL	5

Així la desviació és de 5%, s'ha aplicat al cost dels equips i s'anomena total dels serveis. A la següent taula també hi podem veure com el subtotal dels factors és la suma dels factors anteriors més la desviació aplicada al cost dels equips. El cost directe dels límits de la planta és la suma d'entre el cost dels factors i el cost dels equips no llistats. Finalment, els costos indirectes són un 29% del càlcul anterior.

Taula H.6. Costos indirectes.

Especificacions	Baix	Mitjana	Alt
Total dels serveis	0,2	0,5	0,9
Subtotal factors	35,2	56,8	78,4
Cost dels factors	37,0 (5%) 242.580€	56,8 413.834€	74,4 (-5%) 596.662€
Cost directe dels límits de la planta	898.447€	1.142.574€	1.398.277€
Costos indirectes (29%)	260.550€	331.347€	405.500€

Cal destacar que la mitjana del cost dels factors de 413.834€ és el cost de la instal·lació.

Per acabar, la taula següent mostra el subtotal que és la suma d'entre el cost directe dels límits de la planta i els costos indirectes. I, finalment, els imprevistos que és el 14% del subtotal.

Taula H.7. Imprevistos.

Especificacions	Baix	Mitjana	Alt
Subtotal	1.158.997€	1.473.921€	1.803.777€
Imprevistos (14%)	125.783€	159.960€	195.759€

H.2. Avaluació econòmica

Finalment, es mostra el full d'excel on hi ha els càlculs d'aquest apartat:

Taula H.8. Avaluació econòmica.

COSTS DE FABRICACIÓ					
COSTS FIXES					
DIRECTES					
1. Costos de personal					
Tipus	Nº Persones	Cost unitari mitjà (€/any)		Cost (€/any)	
Operaris	5	40.000		200.000	
Laboratori	1	40.000		40.000	
Envasat	2	30.000		60.000	
Supervisió	0	40.000		0	
Gestió	1	35.000		35.000	
Total costos de personal				335.000	
2. Manteniment					
Tipus	CTI (€/any)	CTI (%/any)	Cost (€/any)		
Edificis	0	1%	0		
Instal·lació	1.633.881,47	2%	32.678		
Altres			0		
Total cost manteniment				32.678	
COSTOS VARIABLES					
DIRECTES					
3. Materias Primas					
	Unitat	Consum/Unitat produïda	Unitats/any	Preu/unitat	Cost (€/any)
Lactida	tones	1,000	0	1700	8.500.000
Catalitzador	tones	0,00027702	0,00	100000	138.510
Total matèries primeres				8.638.510	
4. Energies i serveis					
Serveis	Unitat	Consum/Unitat produïda	Unitats/any	Preu/unitat	Cost (€/any)
Vapor alta (<12)	tones	0,08056	0	27,3	10.996
Aigua refrigerada	m3	0,85	0	0,56	2.380
Energies	Unitat	Consum/Unitat produïda	Unitats/any	Preu/unitat	Cost (€/any)
Energia elèctrica	kW-h	280	0	0,08	112.000
Combustible/gas	Gcal.	0	0	0,0317	0
Total serveis				125.376	
INGRESSOS DE PRODUCCIO					
INGRESSOS VARIABLES					
1. Productes finals:					
	Unitat	Unitats/any	Preu/unitat	Ingressos (€/any)	
PLA	tones	5.000	2.500	12.500.000	
Total ingressos				12.500.000	
CAPITAL DIRECTE / AMORTIZACIO					
(Activo Fijo)					
	Anys de vid	Valor	Valor residual	Amortització/anys	
Edificis	20		0	0	
Equips/instal·lació	20	1.633.881,47	245.082,22	69.440,0	
Totals		1.633.881,47	245.082,22	69.440,0	

Fent referència a la taula anterior, en l'anàlisi dels costos i ingressos de la instal·lació s'ha tingut en compte els costos fixos de la planta. Aquests són els de personal i els de manteniment.

Pel que fa als costos de personal, es preveu que la planta tindrà 5 operaris d'instal·lació: torn de matí, de tarda, de nit, un que tindrà festa i un operari de cobertura. A més, també es comptarà amb un operari de laboratori, dos d'envasat i un més de gestió.