



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

TREBALL DE FINAL DE GRAU

Identificador: TFGEQ_2006

Membres: Itmar Alsinet Gili
Roger Català Dalmau
Myroslav Pidhorodetsky

Grau: Enginyeria Química

Tutor: Dr. Josep Basco

Tarragona, 28 de juny del 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: UNITAT DE RECUPERACIÓ D'ÀCID ACÈTIC
D'UNA PLANTA D'ACETAT DE VINIL MONOMER

SUBTÍTOL

AUTOR: ITMAR ALSINET / ROGER CATALÀ / MYROSLAV PIDHORODETSKY

CURS ACADÈMIC: 2019 - 2020

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na JOSEP BASCO MONTIA

en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ

és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa

no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex

Signatura:



Data:

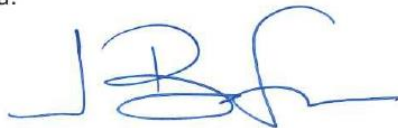
27/6/2020

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

En/Na JOSEP BASCO MONTIA, 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

^(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció

Signatura:



Data:

27/6/2020

ÍNDIX

1. Introducció.....	1
1.1. Agraïments	1
2. Etapa preliminar	2
2.1. Descripció del projecte	2
2.2. Abast del projecte.....	2
2.3. Estudi bibliogràfic.....	2
2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt).....	3
3. Bases per al desenvolupament del projecte	4
3.1. Descripció dels processos de cada unitat	4
3.1.1. Unitat columna azeotròpica.....	4
3.1.2. Unitat columna d'acetat d'etil.....	4
3.1.3. Unitat deshidratadora	4
3.2. Bases de disseny.....	4
3.2.1. Especificacions de l'alimentació.....	4
3.2.1.1. Unitat de columna azeotròpica.....	4
3.2.1.2. Unitat de columna d'acetat d'etil	5
3.2.1.3. Unitat deshidratadora	6
3.2.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei	6
3.2.3. Especificacions dels productes.....	6
3.2.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el límit de bateria.	7
3.3. Dades bàsiques pel desenvolupament de l'enginyeria.....	8
3.3.1. Energies (“Utilities”) disponibles	8
3.3.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats.....	8
3.3.1.2. Energia elèctrica: Nivells de tensió i aplicacions.....	8
3.3.1.3. Aigües: Tipus, usos i qualitats	8
3.3.1.4. Aire: Especificacions i aplicacions	8
3.3.2. Preus de les energies	8
3.3.3. Dades de l'emplaçament (“Site”).....	8
3.3.3.1. Climàtics, pluviomètrics i sísmics	9
3.3.3.2. Elevació i estructura del terreny.....	9
3.3.4. Normes i codis de disseny (oficials)	9
3.3.4.1. Recipients i canonades	9
3.3.4.2. Intercanviadors de calor	9
3.3.4.3. Instrumentació.....	9
3.3.4.4. Seguretat industrial.....	9
4. Desenvolupament de l'enginyeria bàsica	10
4.1. Elaboració de diagrames	10
4.1.1. De blocs: disseny conceptual	10
4.1.2. De simulació: Estudi de simulació.....	12
4.1.2.1. Simulació columna azeotròpica C-101	12
4.1.2.2. Simulació etapes de separació.....	13

4.1.2.3. Simulació columna d'acetat d'etil C-201.....	14
4.1.2.4. Simulació columna deshidratadora C-301	15
4.1.3. De flux de procés (PFD)	16
4.1.4. D'implantació (<i>PLOT PLAN</i>)	20
4.1.5. De canonades i instruments (P&ID)	22
4.2. <i>Disseny bàsic</i>	26
4.2.1. Disseny de canonades	26
4.2.2. Disseny de la instrumentació i control	37
4.2.2.1. Llistat de la instrumentació	37
4.2.2.2. Disseny de les vàlvules de control	50
4.2.2.2.1. Selecció de la vàlvula de control V-106	50
4.2.2.2.2. Selecció de la vàlvula de control V-202	51
4.2.2.2.3. Selecció de la vàlvula de control V-306	52
4.2.2.3. Disseny de plaques d'orifici.....	53
4.2.2.3.1. Disseny de la placa d'orifici FT-1701	53
4.2.2.3.2. Disseny de la placa d'orifici FT-2007	54
4.2.2.3.3. Disseny de la placa d'orifici FT-3007	55
4.3. <i>Sistema de control</i>	56
4.3.1. Sistema de control unitat de columna azeotròpica.....	56
4.3.1.1. Sistema de control de caps	56
4.3.1.2. Sistema de control de fons	56
4.3.1.3. Sistema de control dels condensadors E-101, E-102 i E-103.	56
4.3.1.4. Sistema de control de l'evaporador flash F-101.	56
4.3.1.5. Sistema de control de l'acumulador de reflux A-101.	56
4.3.1.6. Sistema de control de les bombes (variador de freqüència).....	57
4.3.2. Sistema de control unitat de columna d'acetat d'etil	57
4.3.2.1. Sistema de control columna C-201	57
4.3.2.2. Control de la columna de destil·lació.....	57
4.3.2.3. Cap de columna.....	57
4.3.2.4. Condensador E-201.....	57
4.3.2.5. Acumulador de reflux A-201.....	58
4.3.2.6. Fons de columna i reboiler	58
4.3.2.7. Control de les bombes	58
4.3.3. Sistema de control unitat de columna de deshidratació	58
4.3.3.1. Sistema de control del cap de la columna C-301	58
4.3.3.2. Sistema de control de fons de la columna C-301	59
4.3.3.3. Sistema de control de E-301, E-302 i E-303.....	59
4.3.3.4. Sistema de control de l'acumulador de reflux A-301	59
4.3.3.5. Sistema de control de P-301, P-302 i P-303	59
4.4. <i>Disseny d'equips</i>	59
4.4.1. Columna de destil·lació C-101.....	59
4.4.1.1. Disseny dels plats	60
4.4.1.2. Disseny mecànic de la columna	61
4.4.2. Decantador A-101	63
4.4.2.1. Disseny mecànic del decantador A-101	63
4.4.3. Condensador parcial E-101	65
4.4.4. Condensador parcial E-102	67
4.4.5. Refredador E-103	69

4.4.6. Reboiler R-101 i R-102.....	71
4.4.7. Bomba P-101.....	73
4.4.8. Disseny de la columna C-201	76
4.4.9. Decantador A-201	79
4.4.9.1. Disseny mecànic del decantador A-201	79
4.4.10. Reboiler R-201	81
4.4.11. Condensador E-201	83
4.4.12. Bomba P-201 A/B	85
4.4.13. Columna de destil·lació C-301.....	88
4.4.13.1. Disseny dels plats.....	88
4.4.13.2. Disseny mecànic de la columna	89
4.4.14. Decantador A-301	91
4.4.14.1. Disseny mecànic del decantador A-301	91
4.4.15. Condensador parcial E-301	93
4.4.16. Bescanviador E-302	95
4.4.17. Condensador total E-303.....	97
4.4.18. Reboiler R-301	99
4.4.19. Bomba P-301.....	101
4.5. Disseny d'obra civil.....	104
4.5.1. Disseny de la sabata de la cimentació de C-101	104
4.5.2. Disseny de la sabata de la cimentació de C-201	105
4.5.3. Disseny de la sabata de la cimentació de C-301	106
5. Seguretat en el disseny d'instal·lacions.....	107
5.1. Seguretat de processos.....	107
5.1.1. HAZOP + MiniLOPA.....	107
5.1.2. Zones ATEX	127
5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions.....	129
5.1.4. Equips de protecció contra incendis.....	133
5.1.5. Pla d'autoprotecció.....	133
5.1.5.1. Detecció d'alerta	133
5.1.5.2. Mecanismes d'alarma.....	133
5.1.5.3. Evacuació i/o confinament.....	134
5.1.5.4. Prestació de les primeres ajudes.....	134
5.1.5.5. Mode de recepció de les ajudes externes	134
5.2. Seguretat laboral.....	135
5.2.1. Avaluació de Riscos Laborals.....	135
5.2.2. Equips de protecció individual.....	135
5.2.3. Incidents i accidents	136
5.2.4. Formació en seguretat	136
6. Manual de manteniment.....	137
6.1. Manteniment correctiu.....	137
6.2. Manteniment preventiu	137
6.3. Manteniment predictiu	138
6.4. Manteniment legal.....	138

6.5. RCM (<i>Reliability Centered Maintenance</i>)	141
6.5.1. Separació d'àrees o sistemes.....	141
6.5.2. Càlcul de la criticitat d'àrees o sistemes	143
6.5.3. Elecció del nivell crític d'anàlisi	145
6.5.4. Anàlisi de fallades funcionals crítiques.....	145
6.5.5. Anàlisi de causes de fallades tècniques.....	147
6.6. <i>Conclusions del manteniment basat en la fiabilitat a les diferents unitats (RCM).</i>	148
7. Manual de mediambient	149
7.1. <i>Emissions atmosfèriques</i>	149
7.1.1. Emissions contínues de la unitat de columna azeotròpica	149
7.2. <i>Abocaments líquids</i>	149
7.3. <i>Residus sòlids</i>	149
7.4. <i>Gasos d'efecte hivernacle</i>	149
7.5. <i>Sorolls i vibracions</i>	150
7.6. <i>Contaminació lumínica</i>	150
7.7. <i>Olors</i>	151
7.8. <i>Millors tècniques disponibles (MTD)</i>	151
7.8.1. MTD residus sòlids	151
7.8.2. MTD emissions atmosfèriques.....	151
7.8.3. MTD emissions d'olors.....	152
7.8.4. MTD emissions de sorolls.....	152
7.9. <i>Registre REACH</i>	153
8. Manual d'operació	154
8.1. <i>Comprovacions prèvies</i>	154
8.2. <i>Funcionament de la unitat de columna azeotròpica</i>	154
8.2.1. Posada en marxa.....	154
8.2.2. Funcionament en estat estacionari	155
8.3. <i>Aturada normal de planta de la unitat de columna azeotròpica</i>	155
8.4. <i>Funcionament de la unitat d'acetat d'etil</i>	155
8.4.1. Posada en marxa.....	155
8.4.2. Funcionament en estat estacionari	155
8.5. <i>Aturada normal de planta de la unitat d'acetat d'etil</i>	156
8.6. <i>Funcionament de la unitat de deshidratació</i>	156
8.6.1. Posada en marxa.....	156
8.6.2. Funcionament en estat estacionari	156
8.7. <i>Aturada normal de planta de la unitat de deshidratació</i>	156
8.8. <i>Aturades d'emergència</i>	157
8.8.1. Fallada de subministrament elèctric.....	157
8.8.2. Fallada d'aire d'instruments.....	157
8.8.3. Fallada vapor d'aigua	157

8.8.4. Fallada d'aigua de refrigeració.....	157
9. Estudi econòmic.....	158
9.1. Estimació dels costos d'instal·lació.....	158
9.2. Evaluació econòmica de les unitats.....	163
9.2.1. Costos directes fixos.....	163
9.2.2. Costos directes variables.....	164
9.2.3. Costos indirectes fixos.....	165
9.2.4. Ingressos.....	165
9.2.5. VAN, TIR i <i>payback period</i>	166
9.3. Anàlisi de sensibilitat.....	166
9.3.1. Evolució del flux de caixa acumulat en funció del temps.....	166
9.3.2. Increment del cost d'instal·lació.....	168
9.3.3. Decreixement del preu de venda del producte final.....	168
10. Conclusions.....	169
11. Webgrafia i bibliografia.....	170
Annexos.....	172
A.1 Disseny de canonades.....	172
A.2 Disseny dels plats.....	172
A.3 Disseny dels reboilers termosifons.....	175
A.3.1 Balanç d'energia en l'intercanviador.....	175
A.3.2 Càlcul de l'àrea.....	175
A.3.3 Correcció de la U.....	176
A.3.4 Determinació de la taxa de recirculació i el gradient motor.....	176
A.3.5 Càlcul de la U neta.....	177
A.4 Disseny de condensadors.....	178
A.5 Disseny d'intercanviadors sense canvi de fase.....	182
A.6 Disseny de decantadors.....	187
A.7 Disseny mecànic dels equips.....	188
A.8 Disseny de bombes.....	189
A.9 Disseny de plaques d'orifici.....	191
A.10 Disseny de vàlvules de control.....	192
A.11 Mètode de disseny d'una sabata per a una columna.....	193
A.12 Disseny de vàlvules de seguretat.....	195
A.13 Càlcul gasos d'efecte hivernacle.....	196
A.14 Mètode de l'estudi econòmic.....	196
A.15 Zones ATEX.....	199
A.16 Cas de foc extern en una vàlvula de seguretat.....	199

1. INTRODUCCIÓ

Per a començar, s'adjunten les dades sobre el projecte i com s'identifica la part realitzada per cada membre.

Taula 1.1. Informació sobre el projecte

Títol	Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer	
Identificador	TFGEQ_2006	
Data	28 de juny de 2020	
Autors	Itmar Alsinet Gili	Color verd
	Myroslav Pidhorodetsky	Color vermell
	Roger Català Dalmau	Color blau

En aquest projecte es dissenyen 3 columnes de destil·lació d'una planta d'acetat de vinil i tots els equips associats a aquestes. S'ha realitzat l'enginyeria bàsica i parcialment de detall del procés amb els corresponents estudis econòmics, ambientals, de manteniment i el de seguretat industrial. Això inclou la simulació en estat estacionari, la localització a la planta i una visió detallada del procés a través de diferents diagrames (Diagrama de blocs, PFD, P&ID i Plot Plan) de les unitats dissenyades.

1.1. Agraïments

Es vol agrair l'ajuda proporcionada pel Dr. Josep Basco en la realització de les diverses tasques d'aquest projecte. També es vol agrair el suport donat pel Sr. Miquel Àngel Artiol en referència a les tasques relacionades amb la simulació.

Per últim, donar les gràcies a les famílies que ens han estat donant suport quan es necessitava.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

En la figura 2.1. es pot observar un diagrama de blocs de la planta de producció d'acetat de vinil emprant el procés de Bayer. En l'apartat 2.3 s'explicarà, detalladament, el funcionament d'aquest procés. Els blocs seleccionats en la figura 2.1. són les unitats de procés a estudiar en aquest projecte. La descripció tècnica d'aquestes unitats es durà a terme als apartats 3.1.1, 3.1.2 i 3.1.3.

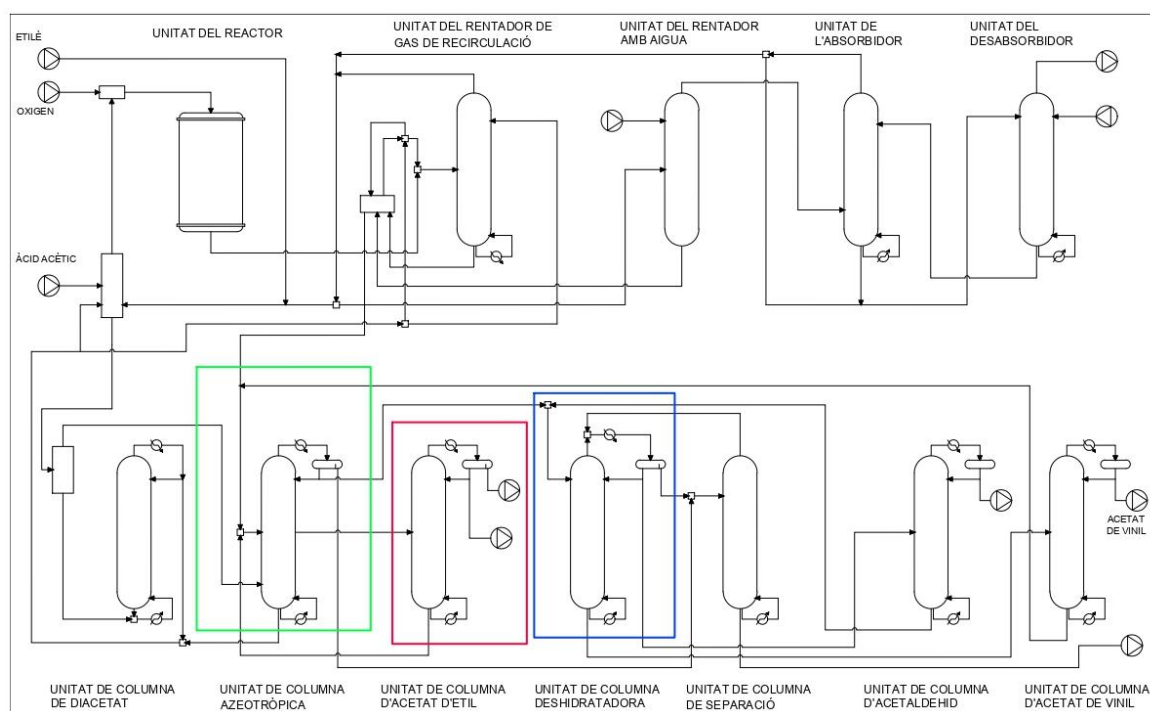


Figura 2.1. Diagrama de flux simplificat del procés Bayer. (ref. 22 i elaboració pròpia.)

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte consisteix en:

- Disseny de columnes de destil·lació, reboilers termosifons verticals, condensadors, acumuladors de reflux, bombes, etc. D'aquests equips se'n farà tant el disseny funcional com el mecànic.
- Disseny de l'estratègia de control tenint en compte la instrumentació que cada equip necessita.
- Disseny hidràulic i mecànic de les canonades i equips a pressió.
- Realització dels manuals de seguretat, manteniment, medi ambient i operació.
- Estudi econòmic amb anàlisi de sensibilitat.

2.3. Estudi bibliogràfic

La planta química sobre la qual es realitza el projecte en qüestió utilitza la tecnologia del procés Bayer. Aquest procés consisteix en la producció d'acetat de vinil monòmer a partir d'àcid acètic, etilè i oxigen.



La primera unitat del procés és el bloc de reacció. En aquesta etapa s'alimenta oxigen, etilè i àcid acètic en fase gas al reactor tubular de llit fix. La sortida del reactor conté reactius que no han reaccionat, acetat de vinil i altres subproductes.

El corrent de gas provinent del reactor s'alimenta a una primera columna, la unitat del rentador de gas de recirculació. En la figura 2.1. es pot observar que, a partir d'aquesta unitat, el procés segueix en dues direccions. En la primera direcció es pretén recuperar l'etilè no reaccionat i purgar gasos incondensables. En la segona direcció l'objectiu és recuperar l'àcid acètic i obtenir acetat de vinil monòmer el més pur possible.

Les unitats responsables de recuperar l'etilè són la unitat del rentador amb aigua, la unitat de l'absorbidor de CO₂ i la unitat del desabsorbidor de CO₂.

Pel que fa a l'àcid acètic, la recuperació d'aquest es duu a terme en tres columnes. La primera és la unitat de la columna de diacetat en la qual només es recupera part de l'àcid acètic i s'envia de nou cap al bloc de reacció. La segona unitat és la columna azeotròpica, on es recupera una altra part de l'àcid acètic per fons de columna i com a destil·lat surten dos corrents que posteriorment s'alimenten a altres columnes per obtenir acetat de vinil pur.

L'última unitat que recupera àcid acètic és la unitat d'acetat d'etil. Aquesta és alimentada a partir d'una extracció lateral de la columna azeotròpica. L'àcid acètic recuperat en la columna d'acetat d'etil és alimentat a la columna azeotròpica.

Les unitats encarregades de purificar l'acetat de vinil monòmer són la unitat de columna deshidratadora, unitat de columna de separació, unitat de columna d'acetaldehid i unitat de columna d'acetat de vinil. El producte final, que és l'acetat de vinil s'obté pur en la última etapa de separació.

2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)

En els documents proporcionats pel tutor han estat indicades totes les tasques a efectuar. Una vegada feta una estimació inicial del temps de cada tasca, s'ha realitzat la planificació i elaborat el diagrama de Gantt mostrat en la figura 2.2.

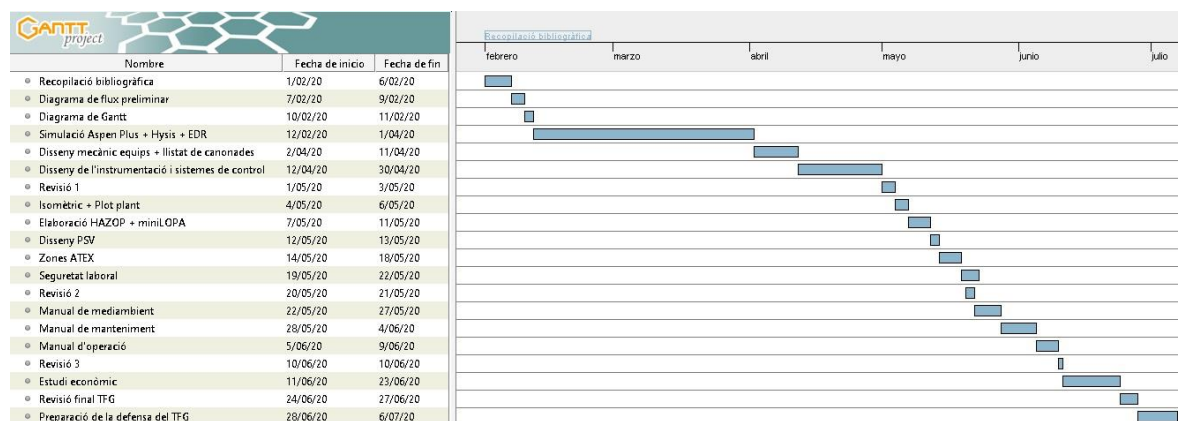


Figura 2.2. Diagrama de Gantt del TFG

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

3.1. Descripció dels processos de cada unitat

Als següents apartats s'explicarà de manera resumida l'equipament i la funció de cada unitat estudiada de la planta de producció d'acetat de vinil.

3.1.1. Unitat columna azeotròpica

Aquesta unitat està formada per una columna de destil·lació de plats de vàlvula, dos reboilers termosifó verticals, 2 condensadors parcials, 1 refredador, 1 evaporador flash, 1 acumulador de reflux i 3 bombes. S'alimenta una mescla composta de majoritàriament acetat de vinil, aigua i àcid acètic. Mitjançant els equips d'aquesta unitat s'aconsegueix separar aquests 3 compostos, obtenint-los amb una puresa del 98% en massa cadascun d'ells.

3.1.2. Unitat columna d'acetat d'etil

La unitat de columna d'acetat d'etil és constituïda per una columna de rebliment, un reboiler termosifó vertical, un condensador total i un acumulador de reflux. La columna té una alimentació majoritàriament d'àcid acètic, acetat d'etil, acetat de vinil i aigua. La columna separa els compostos en 3 sortides. Sortida de fons de columna per on surt àcid acètic i dos sortides de destil·lat. Un orgànic que conté l'acetat de vinil i acetat d'etil i un aquós que conté aigua pura.

3.1.3. Unitat deshidratadora

La unitat de deshidratadora està formada per una columna de plats de vàlvula, un reboiler termosifó vertical, un condensador parcial, un condensador total, un refredador i un acumulador de reflux. La funció d'aquesta unitat, com indica el seu nom, és separar l'aigua del producte desitjat, l'acetat de vinil.

3.2. Bases de disseny

En aquest apartat es descriuen els paràmetres fixats per endavant pel client, que reflecteixen numèricament els objectius que es desitgen aconseguir. Aquestes bases es componen dels següents elements:

3.2.1. Especificacions de l'alimentació

Pel procés Bayer es requereix alimentar etilè al 99,8% en volum, oxigen al 99,7% en volum i àcid acètic en un 99% en pes com a mínim.

A continuació s'especificaran els cabals dels diferents corrents d'entrada de les unitats estudiades. Aquests valors són proporcionats pel tutor (ref. 29).

3.2.1.1. Unitat de columna azeotròpica

Aquesta unitat té 5 entrades diferents. A la taula 3.1. es mostren els valors sumats de cabal de totes les entrades per a cada component:

Taula 3.1. Especificació de l'alimentació de la unitat de columna azeotròpica

Compost	Cabal (kg/h)
Etilè	67
Oxigen	2,9
Diòxid de carboni	$1,2 \cdot 10^2$
Età	14
Argó	14
Acetat de vinil	$1,1 \cdot 10^4$
Àcid acètic	$4,9 \cdot 10^4$
Aigua	$3,3 \cdot 10^3$
Acetaldehid	$1,4 \cdot 10^2$
Acetat d'etil	45
Acetat de metil	5,9
Acroleïna	1,1
Diacetat etilidè	$1, \cdot 10^2$
Hidroquinona	12

3.2.1.2. Unitat de columna d'acetat d'etil

La unitat de la columna d'acetat d'etil té només una alimentació. En la taula 3.2 es mostren els valors dels corrents individuals de cada component.

Taula 3.2. Especificació de l'alimentació per a la unitat columna d'acetat d'etil.

Compost	Cabal (kg/h)
Acetat de vinil	24
Àcid acètic	$1,2 \cdot 10^2$
Aigua	6,5
Acetat d'etil	8,8
Hidroquinona	1,1

3.2.1.3. Unitat deshidratadora

Aquesta unitat disposa de tres alimentacions diferents. En la taula 3.3. es mostren els valors totals dels cabals que s'alimenten de cada component.

Taula 3.3. Especificació de l'alimentació de la unitat de columna deshidratadora

Component	Cabal (kg/h)
Acetat de vinil	$1,1 \cdot 10^4$
Aigua	$2,8 \cdot 10^2$
Acetaldehid	94
Acetat d'etil	1,8
Acetat de metil	5,9
Acroleïna	1,1
Hidroquinona	1,1

3.2.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei

La capacitat de producció de la planta d'acetat de vinil són 75000 tones/any d'acetat de vinil. El període de Servei són 8000 hores/any. La resta de temps s'utilitza en parades de manteniment programades. Per tant el factor de servei és de 0.91. Donat que les unitats estudiades estan incloses dintre de la planta, se'ls hi aplica el mateix factor de servei i d'altres característiques similars.

3.2.3. Especificacions dels productes

Les característiques de qualitat que ha de complir el producte fabricat en el global de la planta és el següent: Acetat de vinil en un 99,9% en pes mínim.

Si es desglossa en productes obtinguts a cada unitat, s'observa que la unitat de columna azeotròpica proporciona un acetat de vinil al 98% en pes i un àcid acètic al 98% en pes.

Els productes obtinguts en la unitat d'acetat d'etil són un corrent de fons d'àcid acètic amb una puresa del 91% molar, un corrent de destil·lat aquós amb una puresa del 99% molar i un corrent de destil·lat orgànic amb una puresa de l'acetat de vinil del 68% molar.

En la unitat deshidratadora s'obté un corrent d'acetat de vinil al 99,9% molar, un corrent que és aigua al 96% en massa i un últim corrent que és acetat de vinil al 86% molar.

3.2.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el límit de bateria.

A continuació, en la taula 3.4. s'especificaran les condicions dels corrents d'entrada i sortida de la unitat de columna azeotròpica:

Taula 3.4. Condicions de les matèries primeres i productes a la unitat columna azeotròpica

Corrent entrada / sortida	Pressió (bara)	Temperatura (°C)
Corrent 1	1,6	90
Corrent 2	1,6	90
Corrent 3	1,6	40
Corrent 4	1,6	134
Corrent 6	1,6	73
Corrent 7	1,6	133
Corrent 15	1,2	40
Corrent 18	1,2	40

A continuació, en la taula 3.5. s'especificaran les condicions dels corrents d'entrada i sortida de la unitat d'acetat d'etil:

Taula 3.5. Condicions de les matèries primeres i productes a la unitat columna d'acetat d'etil

Corrent entrada / sortida	Pressió (bara)	Temperatura (°C)
Corrent 1	1,2	100
Corrent 2	1,2	121
Corrent 3	1,1	40
Corrent 5	1,1	40

A continuació, en la taula 3.6. s'especificaran les condicions dels corrents d'entrada i sortida de la unitat de columna deshidratadora:

Taula 3.6. Condicions de les matèries primeres i productes a la unitat columna deshidratadora

Corrent entrada / sortida	Pressió (bara)	Temperatura (°C)
Corrent 1	1,4	98
Corrent 2	1,4	40
Corrent 5	1,4	82
Corrent 7	1,2	68
Corrent 11	1,2	40
Corrent 13	1,2	40

3.3. Dades bàsiques pel desenvolupament de l'enginyeria

3.3.1. Energies (“Utilities”) disponibles

Les condicions de les *utilities* venen donades pel tutor (ref. 29).

3.3.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats

El vapor disponible a la planta està a 6 barg i lleugerament reescalfat.

3.3.1.2. Energia elèctrica: Nivells de tensió i aplicacions

El corrent elèctric disponible de mitja tensió és de 6 kV, trifàsic i a 50 Hz. De baixa tensió està disponible un corrent a 890 v, trifàsic i a 50 Hz i un altre a 380 v, trifàsic i 50 Hz.

3.3.1.3. Aigües: Tipus, usos i qualitats

Hi ha dos tipus d'aigua disponibles: la de refrigeració i la desmineralitzada. L'aigua de refrigeració s'utilitza per als bescanvis de calor. La seva alta disponibilitat i les seves propietats físiques la fan idònia per aquesta funció. L'aigua desmineralitzada sol ser utilitzada quan és necessària que tingui una baixa conductivitat elèctrica o un aigua que no contingui excessives substàncies dissoltes. Un cas molt habitual és el de les calderes de vapor. En aquests casos se sol emprar aigua desmineralitzada.

L'aigua de refrigeració dona un salt tèrmic de 27°C fins a 37°C i amb un contingut màxim de crom 150 mg/L.

L'aigua desmineralitzada està disponible a 5 bar, amb una conductivitat màxima de 1 mS/cm, un consum de permanganat de 4 mg/L com a màxim, un pH d'entre 6,5 i 7 i una concentració màxima d'òxid de silici de 0,1 g/l.

3.3.1.4. Aire: Especificacions i aplicacions

L'aire d'instruments s'utilitza per a accionar els actuadors de les vàlvules de la planta. Aquest es subministrat a 6 bar, temperatura ambient, amb un punt de rosada de -20°C i exempt d'oli i pols

3.3.2. Preus de les energies

A la taula 3.7. es mostren els preus de les energies (ref. 29) utilitzades a la planta estudiada.

Taula 3.7. Preus de les energies requerides pel funcionament de la planta

Energia	Preu
Vapor d'aigua (€/t)	27
Electricitat (€/kWh)	$4,1 \cdot 10^{-2}$
Aigua industrial (€/t)	0,41
Aire d'instruments (€/Nm ³)	$5,0 \cdot 10^{-3}$

3.3.3. Dades de l'emplaçament (“Site”)

La planta de d'acetat de vinil està situada de la vista aèria de la figura 3.1. Està situada al costat de la carretera N-340, km 1155, codi postal 43006, al subpolígon TAQSA el qual pertany al Polígon Sud de Tarragona. Està situada prop de la localitat de Vila-Seca.



Figura 3.1. Localització de la planta de producció d'acetat de vinil. (ref. 39)

3.3.3.1. Climàtics, pluviomètrics i sísmics

La regió on està situada la planta té unes condicions climàtiques suaus. La temperatura mitjana és de 16,1 °C i els mm de pluja al llarg de l'any són 560. En la figura 3.2. es pot observar la temperatura i les precipitacions al llarg de l'any.

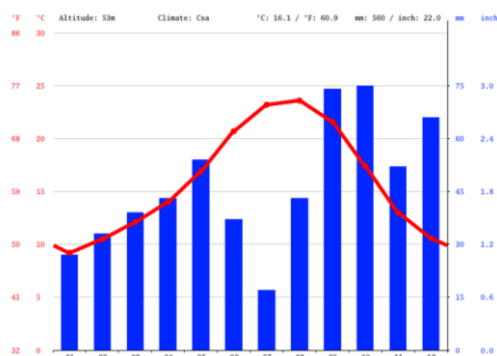


Figura 3.2. Climograma de Tarragona (ref. 37)

Referent al risc sísmològic, efectuat pel Institut Cartogràfic i Sísmològic de Catalunya (ref. 38), la zona es considera com a poc perillosa.

3.3.3.2. Elevació i estructura del terreny

Les característiques del terreny indiquen una capacitat de carrega de 2 kg/cm², una elevació sobre el nivell del mar de 23 m i la línia de congelació està situada a 0,8 m sota terra (ref. 29).

3.3.4. Normes i codis de disseny (oficials)

3.3.4.1. Recipients i canonades

Pel disseny dels equips s'ha utilitzat el codi ASME secció VIII divisió I. La pressió de prova hidràulica s'ha determinat a partir de l'estàndard europeu *Pressure equipment directive*.

3.3.4.2. Intercanviadors de calor

Pel disseny dels intercanviadors de calor s'ha seguit el codi TEMA.

3.3.4.3. Instrumentació

Per la elaboració de diagrames s'ha emprat la norma EN ISO 10628:2000.

3.3.4.4. Seguretat industrial

Per a determinar les zones ATEX de la planta s'ha seguit les normatives UNE 202007-2006 IN, UNE-EN 60079-10-1-2016. Normes API 520 apartats 1 i 2 i API 521.

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

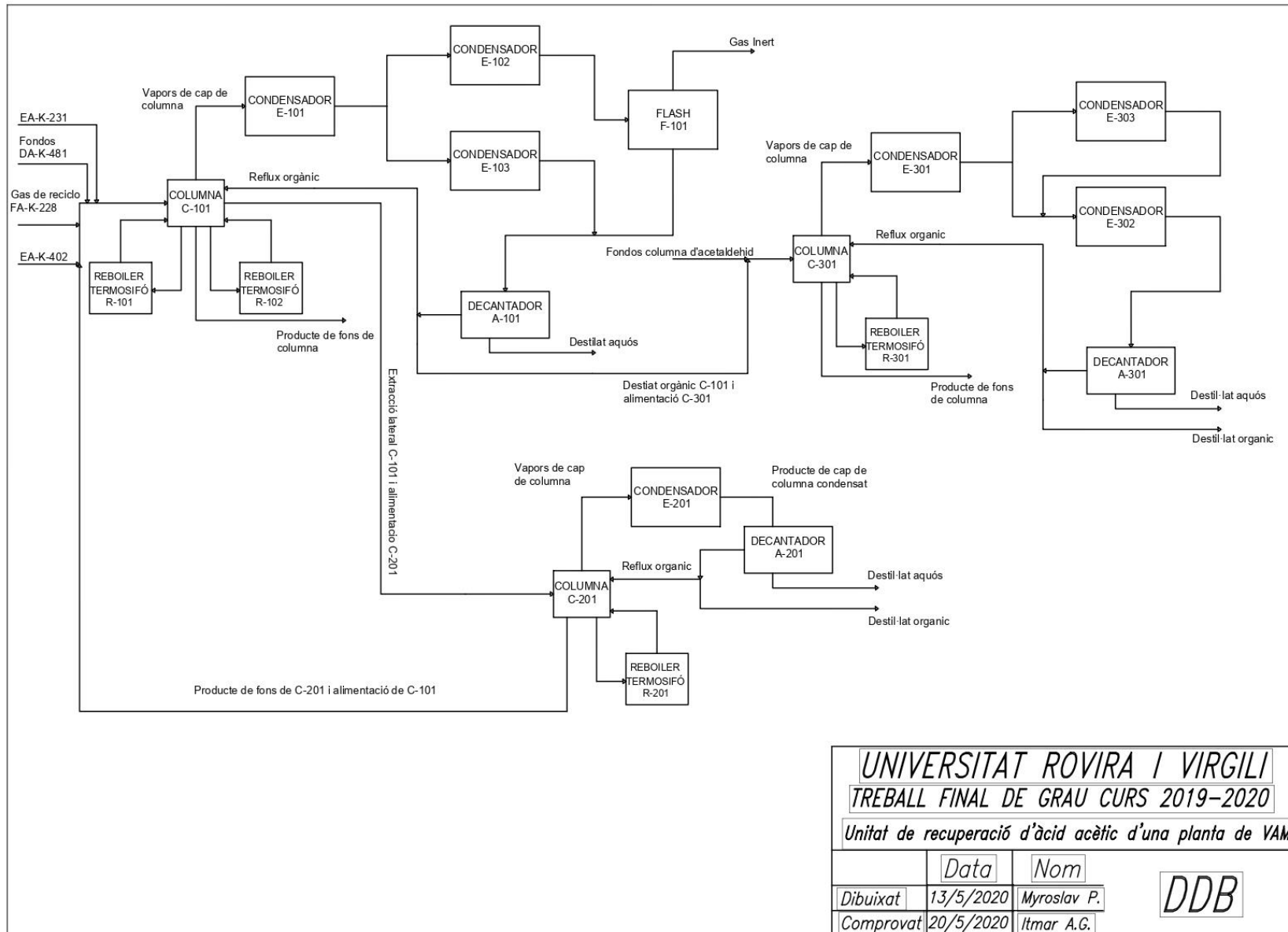
4.1. Elaboració de diagrames

En aquest apartat es mostraran els diferents diagrames de procés i de control.

4.1.1. De blocs: disseny conceptual

En la figura 4.1 es mostra una visió general del procés a estudiar en forma de blocs, on cadascun d'ells representa una reacció química o una operació bàsica.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
TREBALL FINAL DE GRAU CURS 2019-2020		
Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta de VAM		
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>
<i>Dibuixat</i>	13/5/2020	Myroslav P.
<i>Comprovat</i>	20/5/2020	Itmar A.G.

DDB

4.1.2. De simulació: Estudi de simulació

Per poder dur a terme aquest apartat, s'ha utilitzat el programa *Aspen Plus V11*. Amb ell s'ha simulat el procés a estudiar. A continuació s'explicaran totes les dades que es van introduir al simulador, així com els models utilitzats, el procediment utilitzat i les suposicions efectuades.

4.1.2.1. Simulació columna azeotròpica C-101

El procés gira al voltant de la C-101. Aquesta consta de 4 entrades i una extracció lateral. En un primer moment es va intentar simular tal i com va estar construïda a la realitat. Malauradament, va ser impossible poder fer convergir la columna. Es va intentar canviar el model termodinàmic que s'utilitzava, variar el nombre màxim d'iteracions permeses, però no es va aconseguir solucionar.

Per a poder aconseguir simular el procés correctament, es va decidir simplificar-lo, és a dir, el reflux va a passar a ser una alimentació fresca de la columna i l'objectiu de la simulació va esdevenir aconseguir que el corrent 9 (Reflux) introduït manualment tingués el mateix cabal i composició que el corrent 19, que equivalia al reflux de la columna després d'haver refredat i separat alguns components del producte de cap de columna. A la figura 4.1, es pot observar l'esquema de simulació realitzada.

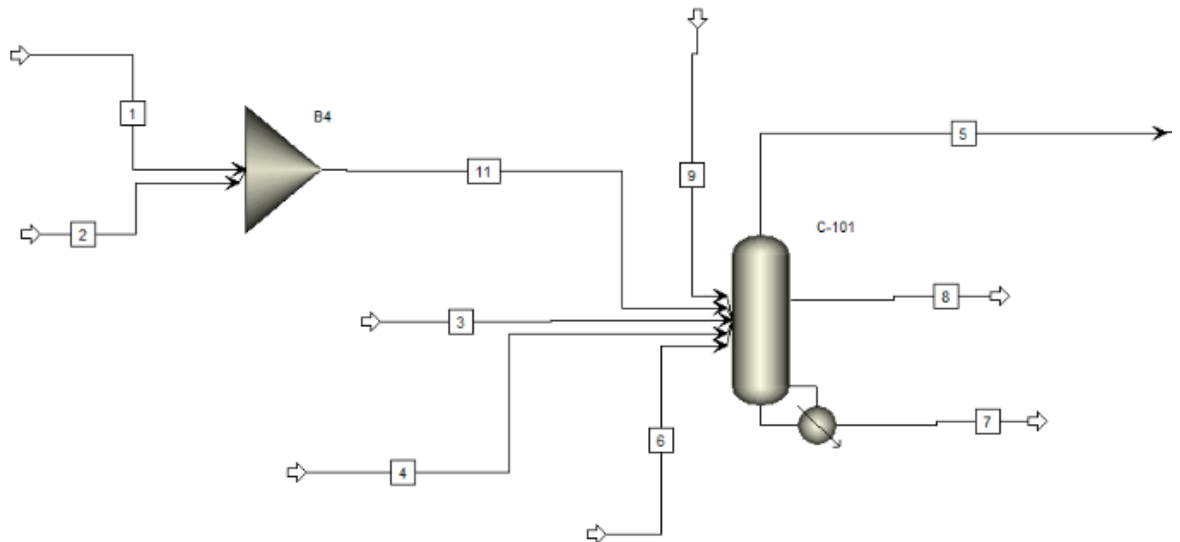


Figura 4.1. Esquema simulació de la C-101 en Aspen Plus V11.

Per a simular la columna es va utilitzar el model *RadFrac* sense condensador. El paquet utilitzat es el *NRTL*. Es van proporcionar els cabals i les composicions dels corrents d'entrada a la columna, els components clau de les dues fases líquides existents i el tipus de *reboiler* utilitzat. Altres paràmetres bibliogràfics introduïts al simulador per tal de simular l'equip van ser els següents:

Taula 4.1. Paràmetres per a la simulació de la C-101

Paràmetres	Valor
Nombre de plats ideals	51
Pressió cap (barg)	0,20
Pressió fons (barg)	0,62
Plat alimentació corrent 11	21
Plat alimentació corrent 3, 4, 6	42
Plat extracció lateral	42
Cabal extracció lateral (kmol/h)	2,8
Cabal fons de columna (kmol/h)	$8,71 \cdot 10^2$
Cabal reboiler (kg/h)	$9,3 \cdot 10^5$

Amb aquestes dades i seguint el procediment explicat anteriorment, es va aconseguir fer convergir la columna.

4.1.2.2. Simulació etapes de separació

A continuació s'explicarà com es va manipular el corrent 5 utilitzant els mateixos equips que es feien servir a la planta pilot per tal d'intentar aconseguir l'objectiu explicat prèviament. S'adjunta l'esquema de la simulació feta a *Aspen Plus V11*:

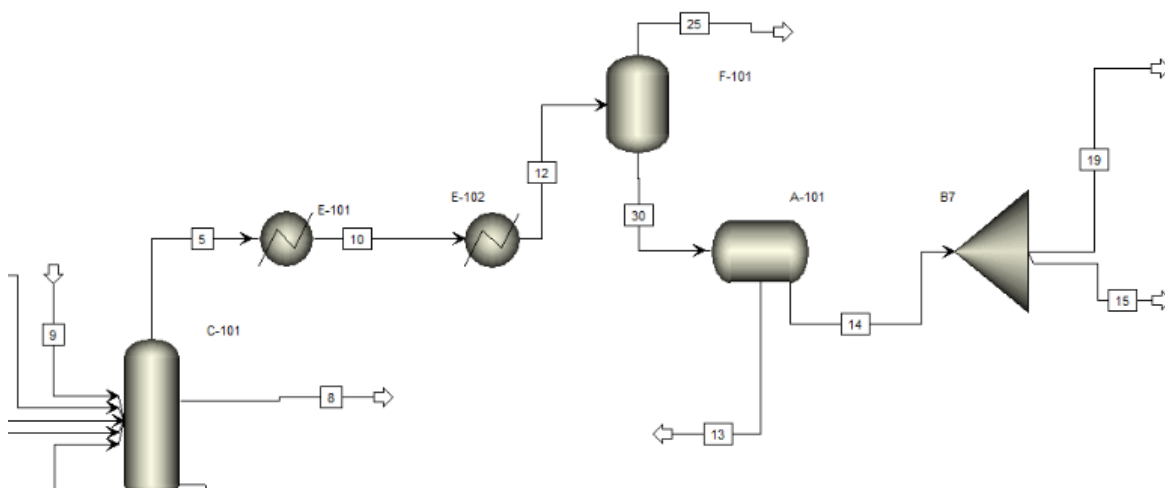


Figura 4.2. Esquema de la simulació de la resta d'equips del procés amb Aspen Plus V11.

En primer lloc, el producte obtingut a cap de columna que forma un heteroazeòtrop és condensat parcialment al condensador E-101. Després es refreda fins als 40°C al refrigerador E-102. L'evaporador flash F-101, que treballa a aquesta temperatura, s'encarrega de separar els components incondensables de la resta de compostos. Aquests són introduïts en un decantador, la funció del qual es separar la fase orgànica de la aquosa. La fase aquosa s'extreu del procés pel corrent 13 i l'orgànica pel 14. Finalment, després de passar per un *splitter*, s'obté en el

corrent 19, un cabal amb una composició semblant a la del reflux real (corrent 9). A la taula 4.2. es comparen els cabals i composicions d'aquests dos corrents. Es pot apreciar la bona convergència dels resultats.

Taula 4.2. Comparació de resultats obtinguts al corrent 19 respecte el corrent 9

Paràmetre	Corrent 9	Corrent 19
Cabal (kg/h)	$6,6 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$
Fracció massica aigua	0,015	0,012
Fracció massica acetat de vinil	0,98	0,98
Fracció massica acetaldehid	0,005	0,008

4.1.2.3. Simulació columna d'acetat d'etil C-201

La columna C-201 és una columna de rebliment, té una sola entrada, una sortida per fons de columna, un decantador en el qual s'hi donen dues fases líquides de les quals es recircula com a reflux només part de la orgànica. El reboiler utilitzat es un termosifó vertical i el condensador es total amb subrefredament fins a 40°C, pel que fa al splitter del corrent 8 s'ha ajustat aquesta proporció amb l'objectiu d'obtenir el cabal de destil·lat orgànic pel corrent 3 desitjat. En la figura 4.3 es pot veure l'esquema del procés en el simulador.

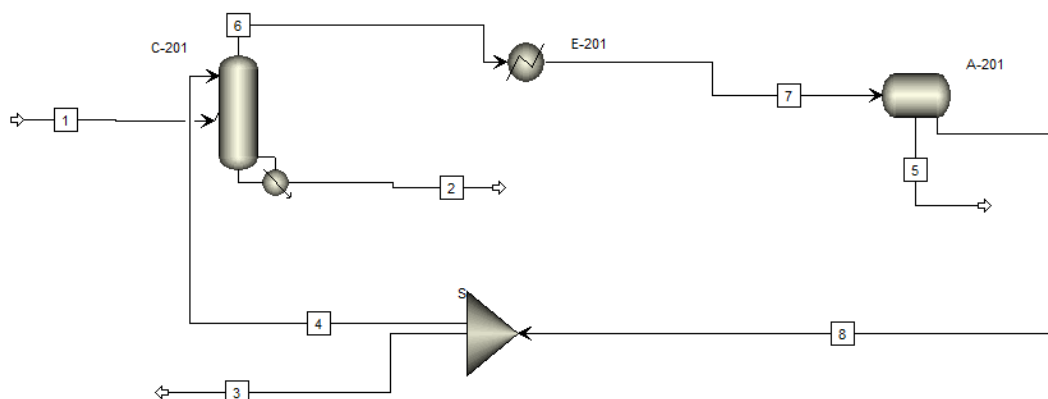


Figura 4.3. Esquema de la simulació de la columna C-201 en Aspen Plus V11.

En una primera aproximació en el simulador, la columna no difereix d'una columna de plats pel fet de que el programa usa etapes d'equilibri. La simulació s'ha pogut realitzar repetint al 100% la configuració de la columna construïda a la realitat. En el simulador s'ha utilitzat la columna *RadFrac* sense condensador, el model termodinàmic emprat en el càlcul és el NRTL, ja que hi ha un heteroazeòtrop i una separació en dues fases líquides.

Els resultats de la simulació pel que fa a balanç de matèria han sigut molt semblants a les dades reals obtingudes de la columna. En la taula 4.3 es troben els valors de partida usats per a la simulació.

Taula 4.3. Paràmetres per a la simulació de la C-201

Paràmetres	Valor
Nombre d'etapes	30
Pressió cap (barg)	0,14
Pressió fons (barg)	0,19
Etapa d'alimentació	17
Cabal fons de columna (kmol/h)	2,3
Cabal reboiler (kg/h)	$6,5 \cdot 10^3$

Un cop es tenen uns resultats satisfactoris sobre el balanç de matèria el següent pas és la simulació dels interns de la columna i l'estudi de la hidrodinàmica. En aquesta part de la simulació s'ha escollit com a rebliment muntures Berl.

En el càlcul d'una columna de rebliment es té en compte el HETP, aquest valor indica l'altura de rebliment que cal per tindre una etapa d'equilibri. Aquest valor cal introduir-lo en el simulador, després d'una recerca s'ha escollit el valor aconsellat per Kister (ref. 10) de 1,5 ft. Per altra banda el diàmetre de la columna depèn de diversos factors, la mida del rebliment i la seva marca influeixen fortament en aquest. S'han realitzat diverses simulacions i s'ha escollit simular la columna amb un rebliment genèric.

Amb els resultats obtinguts de les simulacions efectuades s'ha obtingut un balanç de matèria satisfactori i una hidrodinàmica que no presenta problemes d'operació. A causa de que el resultat del diàmetre de columna és tant petit per a ser considerat no vàlid, és presa la decisió d'emprar el valor de diàmetre de columna de 0,3 m. Aquest diàmetre és recomanat pel tutor (ref. 29).

4.1.2.4. Simulació columna deshidratadora C-301

La simulació de la columna C-301 es va dur a terme exactament igual que la C-101, emprant *Aspen Plus V11* amb el model termodinàmic NRTL. És una columna azeotròpica de plats de vàlvula. La simulació s'ha fet amb el model d'un absorbidor amb reboiler termosifó vertical (*Radfrac*) i la part de la condensació i la separació de fases s'ha portat a terme a part del model de la columna. El model *Radfrac* permet calcular columnes azeotròpiques. La idea de la simulació és que el corrent número 4 que representaria l'entrada del reflux a la columna sigui igual al corrent 14, que també és el reflux després de passar pels condensadors i el decantador. En realitat, l'intercanviador E-301 simula dos condensadors en la planta real, el E-301 i el E-303, per simplificar el procés. E-302 és un refredador per baixar la temperatura del fluid de procés i així poder millorar la separació de fases en el decantador. En la figura 4.4 es mostra el diagrama del procés simulat.

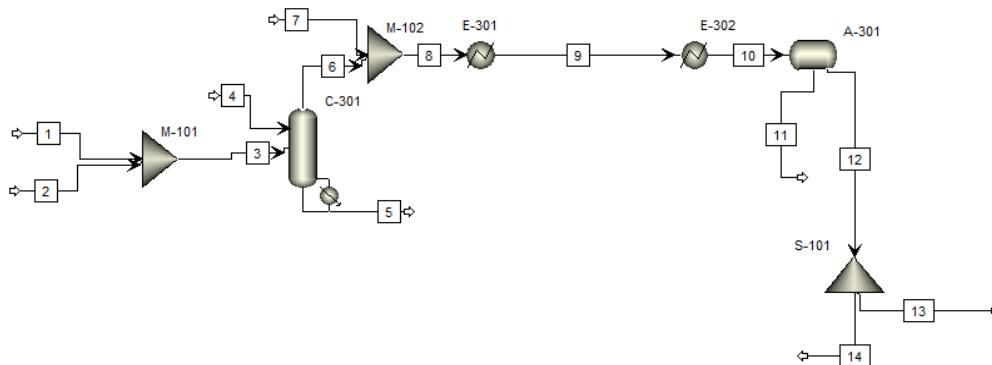


Figura 4.4. Diagrama del procés simulat de la columna C-301 en Aspen Plus V11.

En la taula 4.4. es mostraran els paràmetres fixats de la columna C-301 per poder simular el procés.

Taula 4.4. Paràmetres fixats de la columna C-301

Paràmetres	Valor
Nombre de plats ideals	34
Pressió cap (barg)	0,14
Pressió fons (barg)	0,35
Plat alimentació	9
Cabal fons de columna (kmol/h)	$1,2 \cdot 10^2$
Cabal reboiler (kg/h)	$2,83 \cdot 10^5$

En la taula 4.5. es presenten els valors del corrent 4 i el corrent 14 de la simulació per a la comparació dels resultats obtinguts en cadascun. Es pot apreciar la bona concordança entre els resultats.

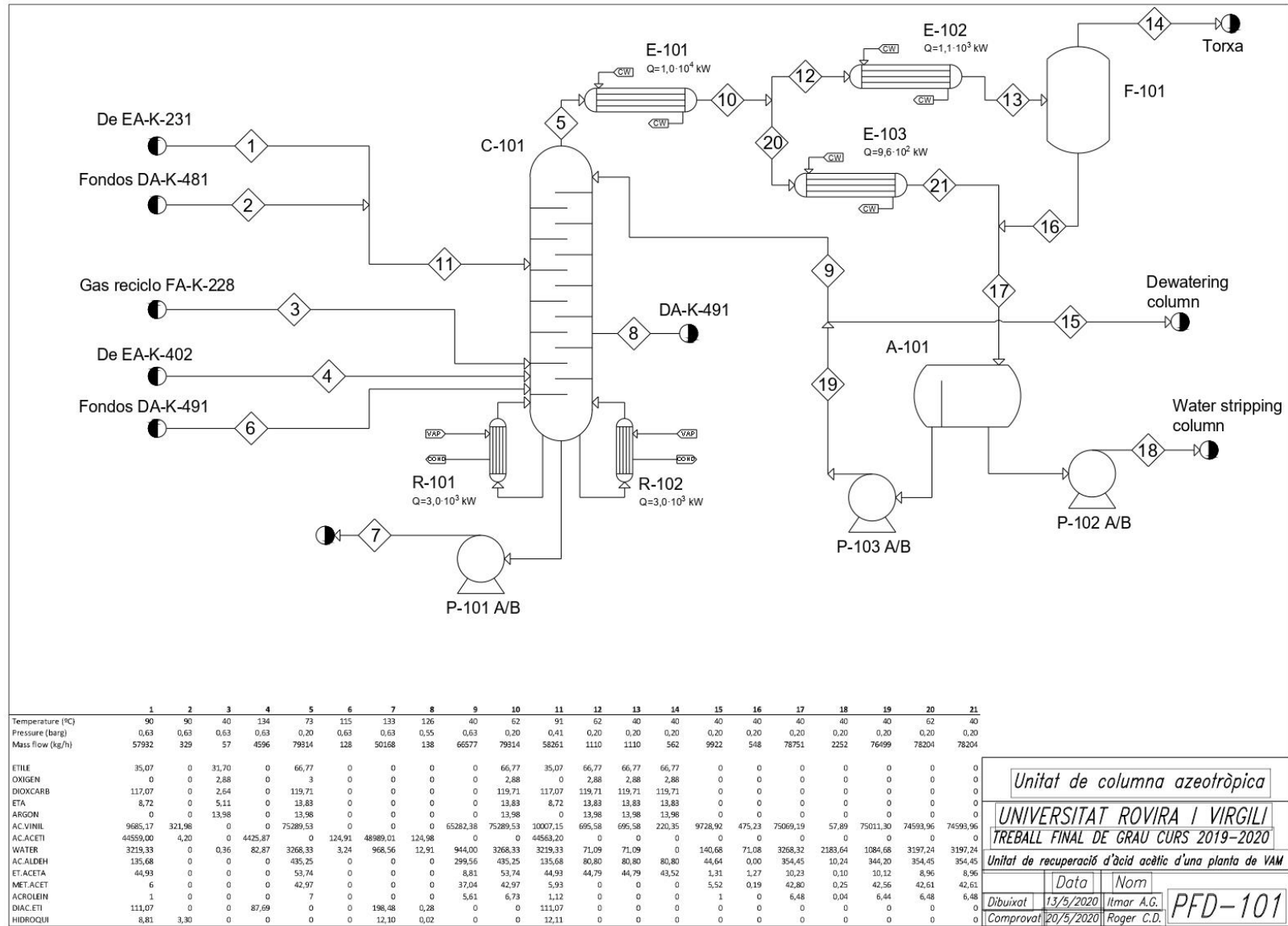
Taula 4.5. Comparació dels resultats principals del corrent 4 i del corrent 14.

Paràmetre	Corrent 4	Corrent 14
Cabal (kg/h)	$1,58 \cdot 10^4$	$1,56 \cdot 10^4$
Fracció massica aigua	0,020	0,014
Fracció massica acetat de vinil	0,87	0,88
Fracció massica acetaldehid	0,099	0,10

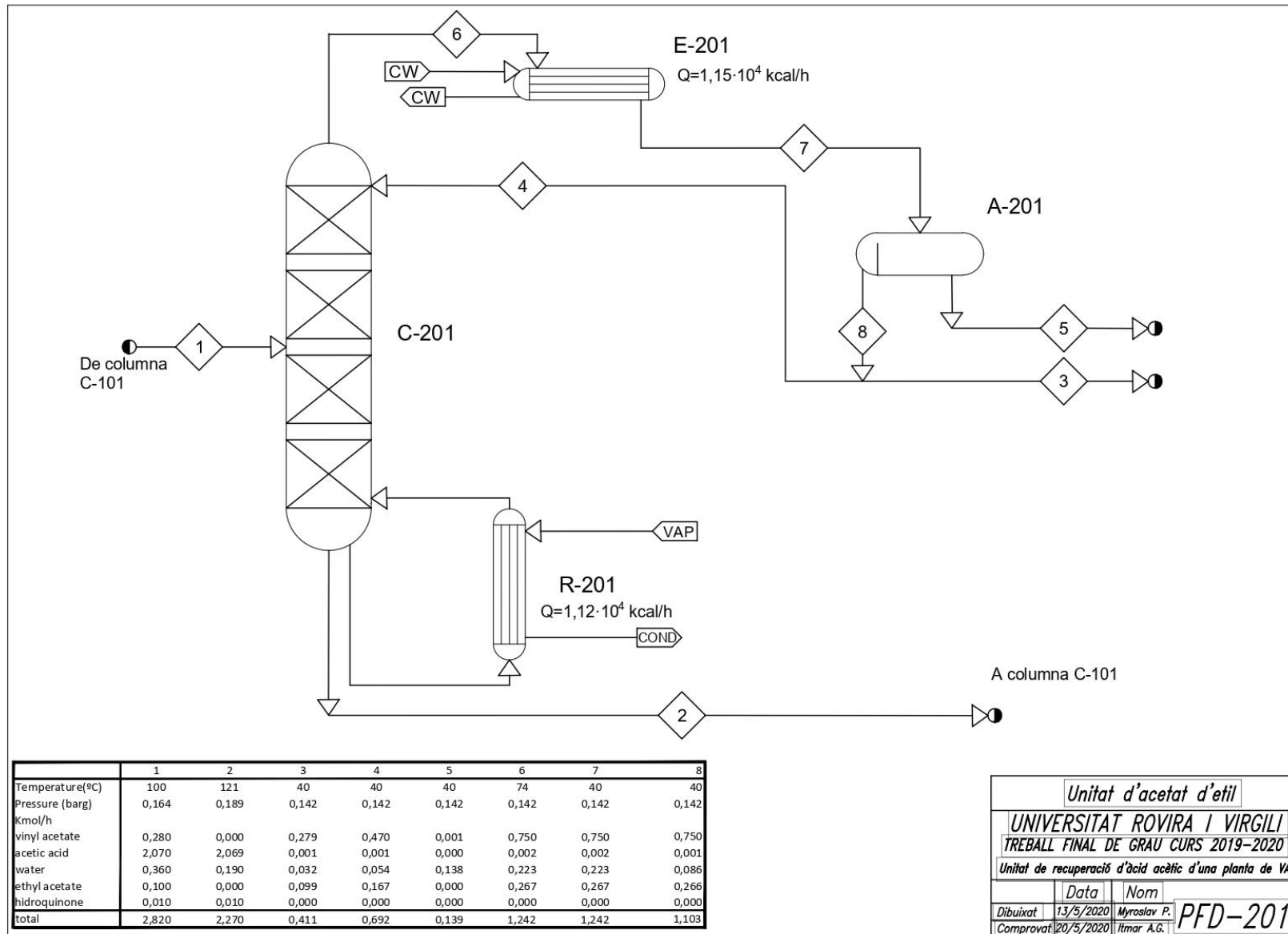
4.1.3. De flux de procés (PFD)

En les següents figures es mostren el funcionament del procés, els equips que hi intervenen i el cabal, composició, pressió i temperatura dels corrents del procés.

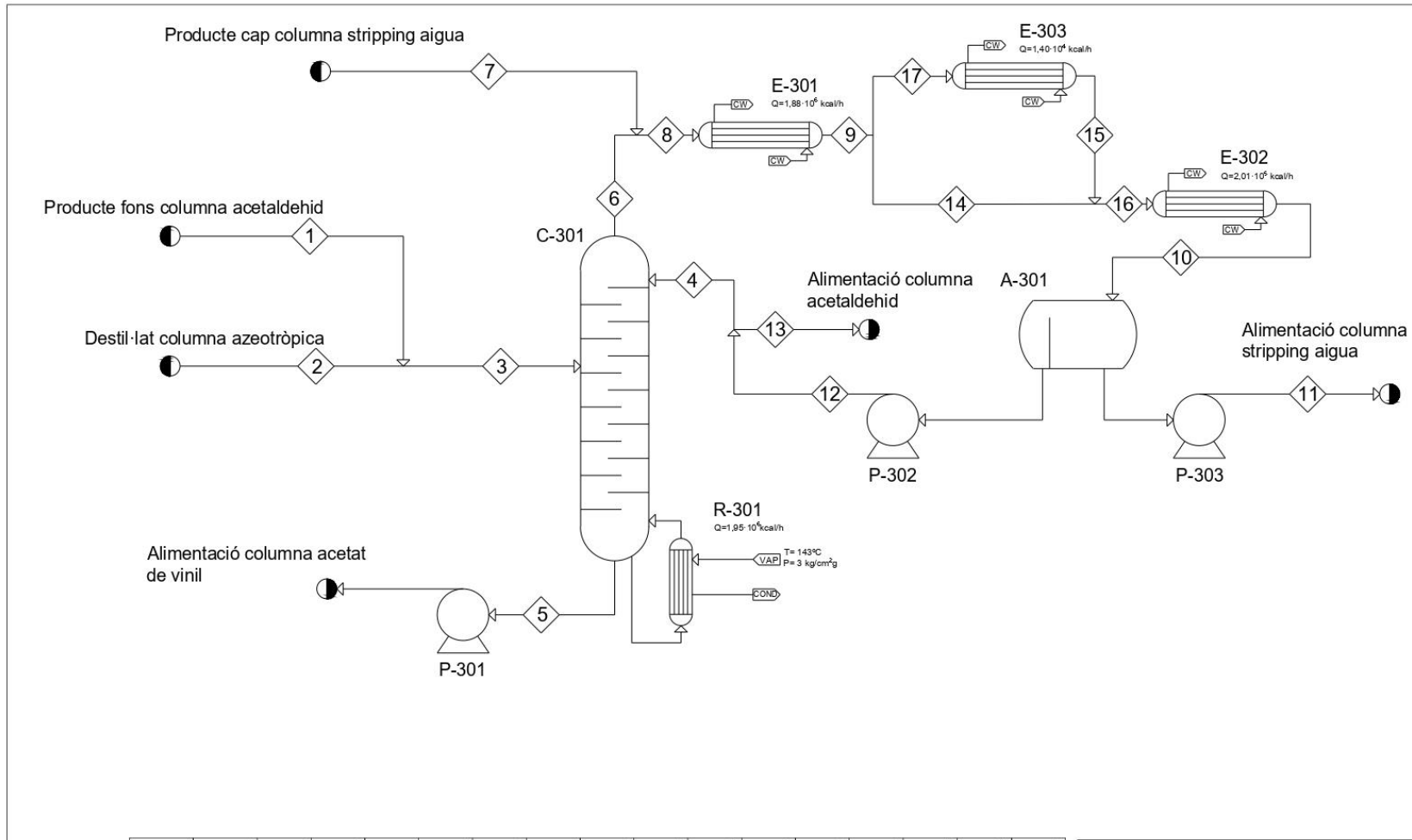
Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Temperatura (°C)	98	40	53	40	81,9	68,8	68	67,8	54,4	40	40	40	40	54,4	35,0	54,2	62,6
Pressió (barg)	0,39	0,39	0,39	0,16	0,37	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Fració de vapor massica	0,996	0	0	0	0	1	0,569	0,995	0,905	0	0	0	0	0	0	0	1
Cabal màssic (kg/h)	544	9947	10491	15790	9914	16367	288	16655	16655	16655	312	16343	553	16565	90	16655	90
Acetat de vinil	536	9753	10290	13774	9911	14153	107	14260	14260	14260	10,0	14250	475	14211	49,1	14260	49,1
Aigua	6,13	141	147	322	0	470	131	601	601	601	270	331	8,26	595	6,11	601	6,11
Acetaldehid	0	44,1	44,1	1568	0	1612	49,8	1662	1662	1662	31,2	1631	62,6	1628	34,12	1662	34,1
Acetat d'etil	0	1,76	1,76	0	1,64	0,119	0	0,119	0,119	0,119	0	0,119	0,119	0,119	0	0,119	0
Acetat de metil	0	5,93	5,93	96,3	0,01	102	0	102	102	102	0,472	102	5,44	102	0,492	102	0,492
Acroleïna	0	1,12	1,12	28,6	0	29,7	0	29,7	29,7	29,7	0,2	29,6	0,96	29,5	0,178	29,7	0,178
Hidroquinona	1,10	0	1,10	0	1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Unitat de columna de deshidratació

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

TREBALL FINAL DE GRAU CURS 2019-2020

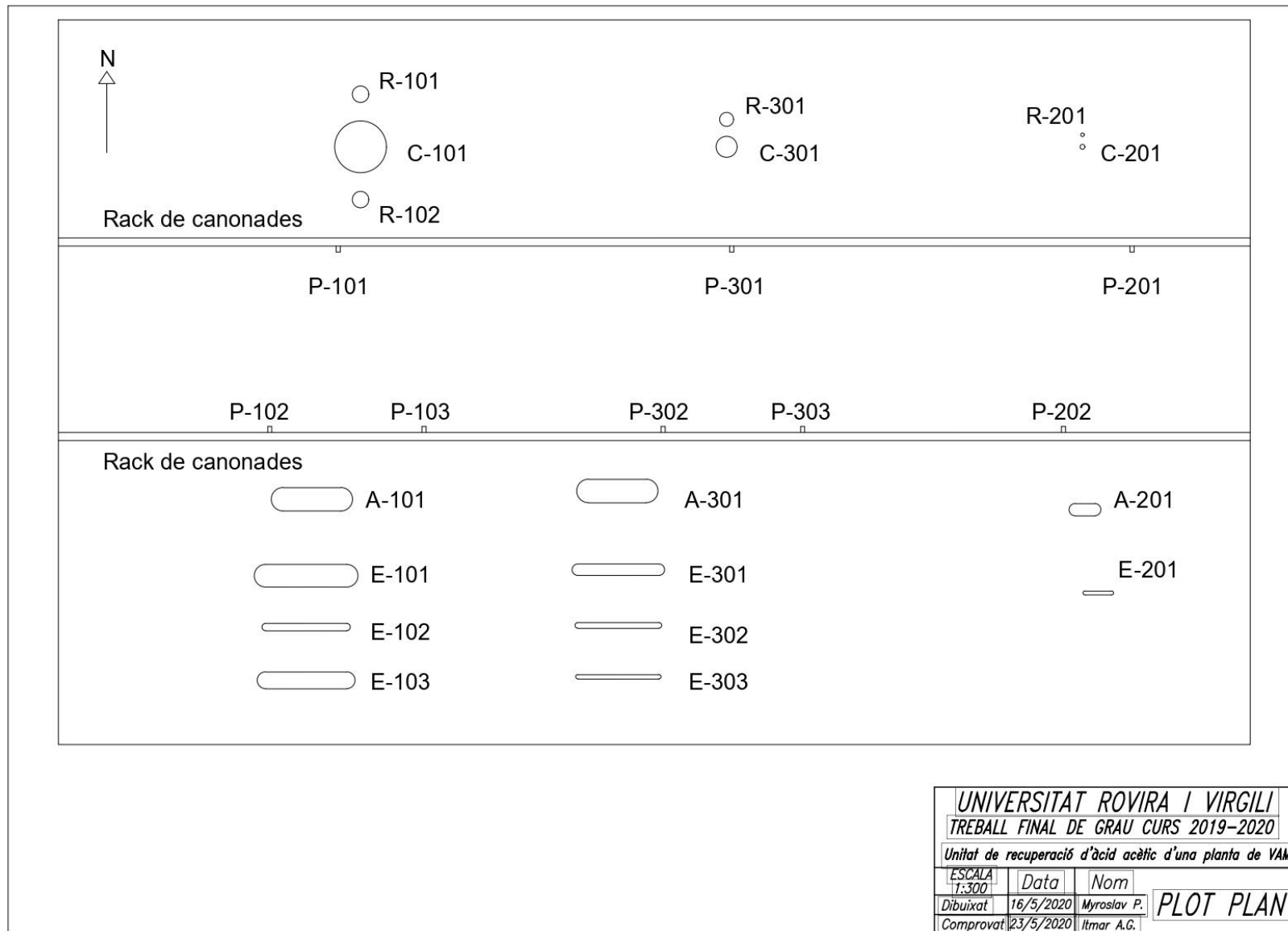
Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta de VAM

Dibuixat	Data	Nom
Comprovat	14/5/2020	Roger C.
	15/5/2020	Myroslav P.

PFD-301

4.1.4. D'implantació (*PLOT PLAN*)

El següent diagrama proporciona una idea aproximada de la distribució real dels equips a la planta, així com les seves dimensions. El *plot plan* inclou únicament les tres unitats estudiades amb els seus equips i el rack de canonades.



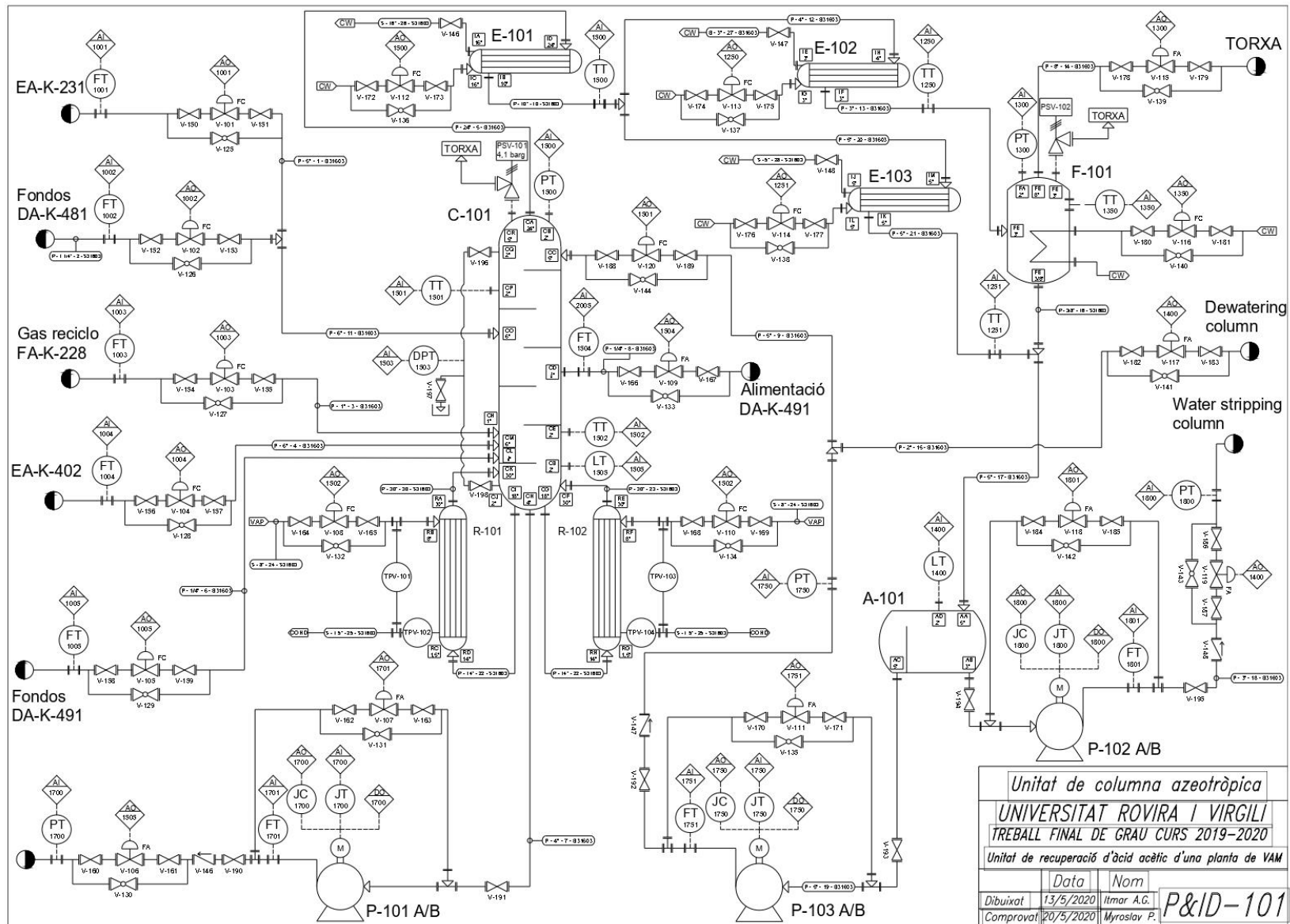
4.1.5. De canonades i instruments (P&ID)

En la figura 4.5 es mostra la llegenda per als diagrames d'instrumentació i canonades de cada columna adjuntats a continuació.

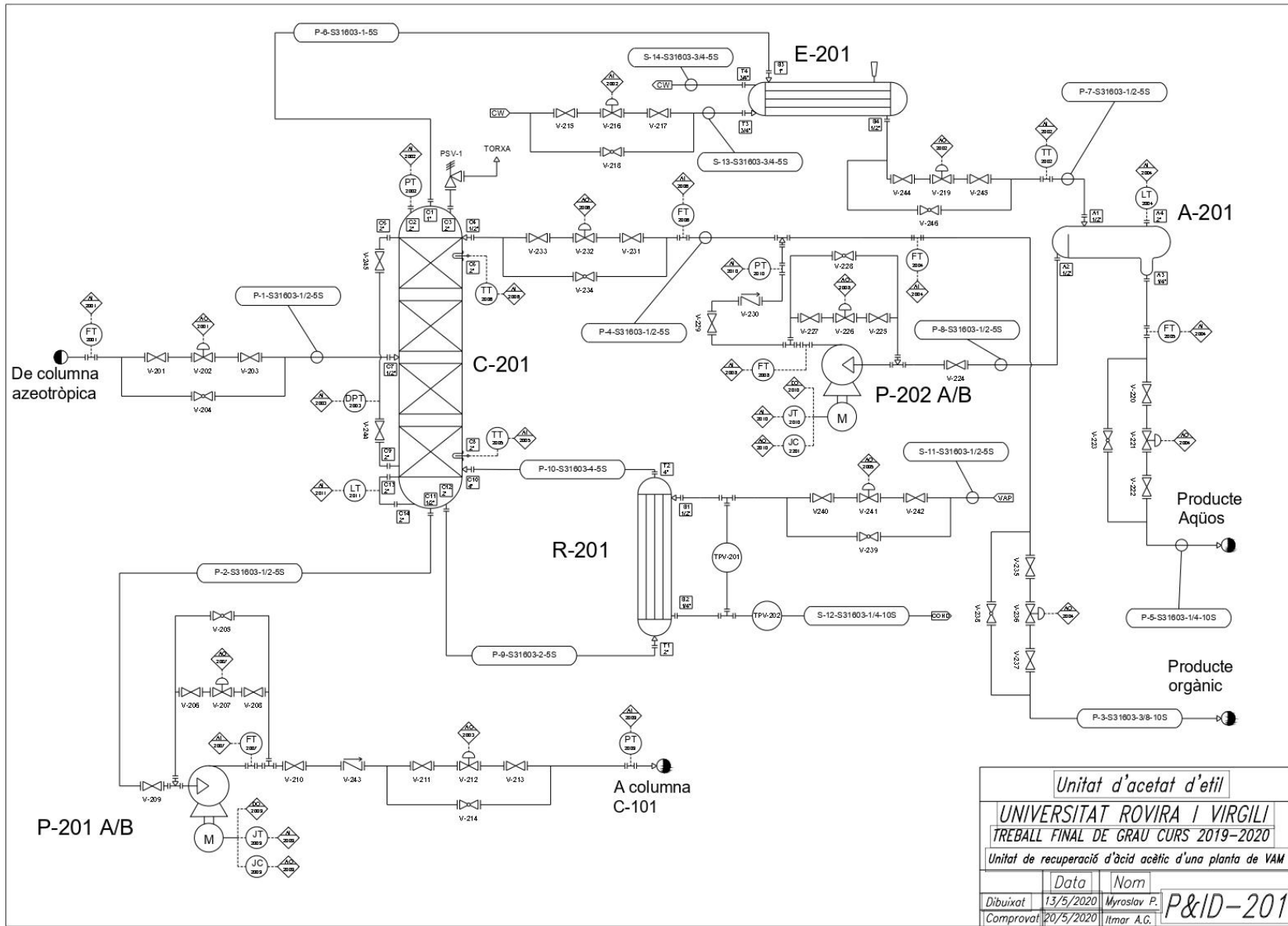
SÍMBOLS	DESIGNACIÓ	DESCRIPCIÓ	EXEMPLES
	V-XXX	VÀLVULA MANUAL	<p>Variable: F: Cabal T: Temperatura L: Nivell P: Pressió J: Potència</p> <p>FC: Fallada tanca FA: Fallada obre</p>
	V-XXX	VÀLVULA BOLA MANUAL	
	V-XXX	VÀLVULA DE CONTROL	
	V-XXX	CHECK VALVE	
	E-XXX	SORTIDA DEL PROCÉS	
	E-XXX	ENTRADA AL PROCÉS	
	PSVX	VÀLVULA DE SEGURETAT	
	-	TOVERA (NOM I TAMANY)	
	-	PROPIETATS CANONADES	
	-	VAPOR D'AIGUA / CONDENSAT / AIGUA REFRIGERACIÓ	
	-	PURGA	
	M-XXX	MOTOR	<p>Diàmetre nominal (in) Material canonada</p> <p></p> <p>P: Procés N° línia S: Servei</p> <p>LLEGENDA P&ID</p> <p>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI TREBALL FINAL DE GRAU CURS 2019-2020 Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta de VAM</p>

Figura 4.5. Llegenda dels P&ID dibuixats.

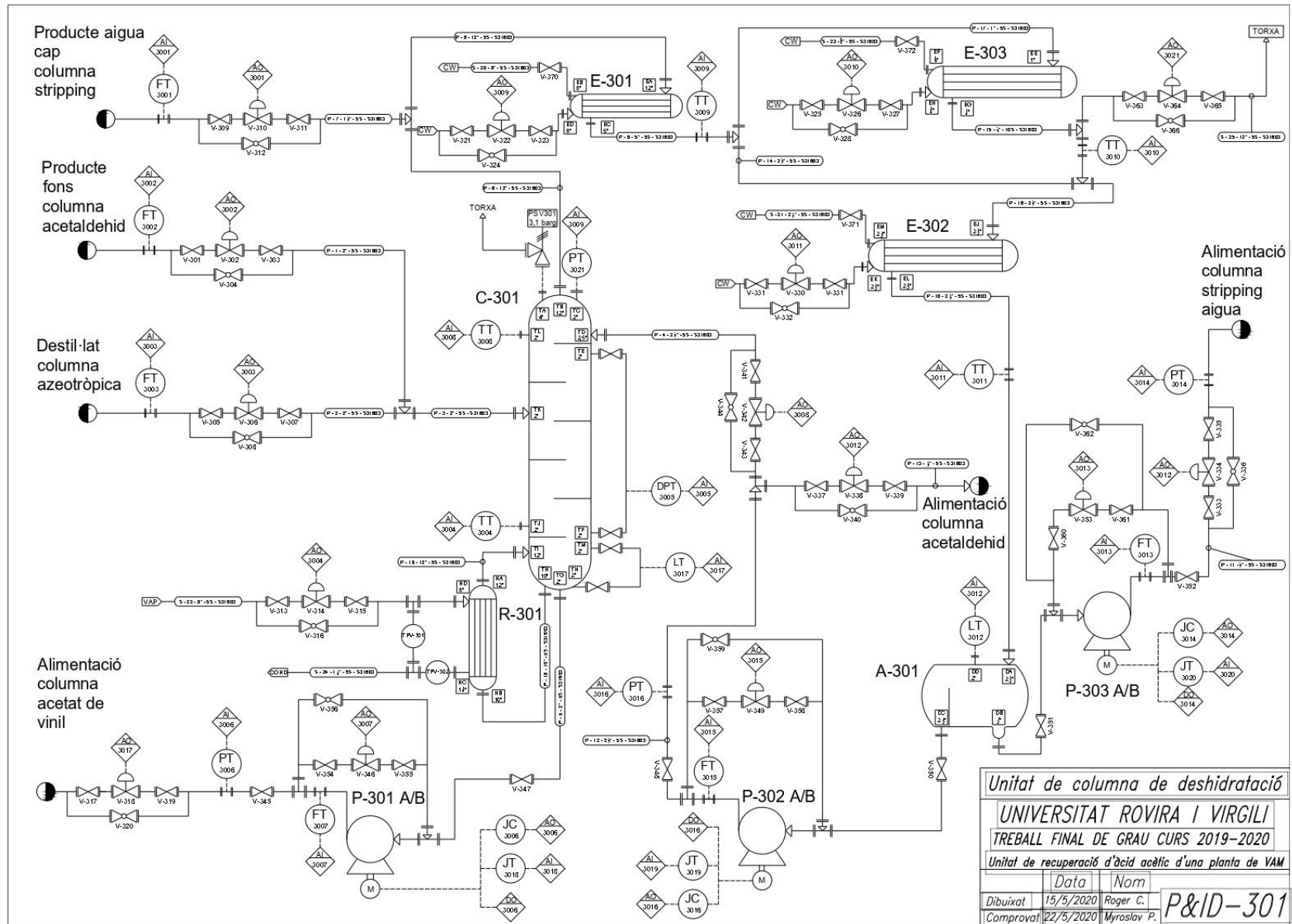
Unitat de recuperació d'acid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer



4.2. Disseny bàsic

4.2.1. Disseny de canonades

A partir de les dades dels balanços de matèria, de les condicions de pressió i temperatura de cada corrent i dels valors presentats a la taula 4.6. S'han dissenyat les canonades dels processos:

Taula 4.6. Paràmetres inicials utilitzats per al disseny de les canonades del projecte.

Paràmetre	Valor
Velocitat dels gasos (m/s)	25
Velocitat dels líquids (m/s)	2
Material utilitzat	S31603
S (MPa)	115
Eficiència de les soldadures	1
Factor adimensional y	0,4

Com a excepció les canonades de la columna C-201 han estat sobredimensionades per raons de seguretat i construcció. Si les canonades és dissenyessin segons el càlcul plantejat aquestes serien molt petites. Per afrontar aquest sobredimensionament s'ha suposat una nova velocitat per a líquids de 0,5 m/s.

Les mides de les canonades estan establertes. Per tant, després del disseny, s'han hagut de seleccionar quines canonades estandarditzades eren les més correctes per a cada cas. Les dimensions de les canonades estandarditzades s'han extret de (ref. 7). El tipus i gruix d'aïllament utilitzat s'ha extret de fulla d'especificació de l'aïllament de Krupp UHDE, proporcionada pel tutor (ref. 29).

Seguint el procediment explicat a l'annex A.1., s'han elaborat els següents llistats de canonades.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Taula 4.7. Llistat de canonades (I) P&ID-101

Nº línia	P&ID	DN (in)	Schedule	Material	De	A	Fluid	Fase
1	101	5	5S	S31603	EA-K-231	P-6"-11-S31603	Àcid acètic-Aigua-Acetat de vinil	L
2	101	1 ¼	5S	S31603	Fondos DA-K-481	P-6"-11-S31603	Acetat de vinil	L/V
3	101	1	5S	S31603	Gas reciclo FA-K-228	C-101	Gasos inerts	G
4	101	6	5S	S31603	EA-K-402	C-101	Àcid acètic-Aigua	L/V
5	101	24	5S	S31603	C-101	E-101	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	V
6	101	¼	10S	S31603	Fondos DA-K-491	C-101	Àcid acètic-Aigua	L
7	101	4	5S	S31603	C-101	Tanc	Àcid acètic-Aigua	L
8	101	¼	10S	S31603	C-101	DA-K-491	Àcid acètic-Aigua	L
9	101	5	5S	S31603	A-101	C-101	Acetat de vinil-Aigua	L
10	101	10	5S	S31603	E-101	P-4"-12-S31603 i P-5"-20-S31603	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	L/V
11	101	6	5S	S31603	P-5"-1-S31603 i P- 1¼"-2-S31603	C-101	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil	L/V
12	101	4	5S	S31603	P-10"-10-S31603	E-102	Gasos inerts-Acetats de vinil	V
13	101	3	5S	S31603	E-102	F-101	Gasos inerts-Acetats de vinil	L/V
14	101	8	5S	S31603	F-101	Gas inert	Gasos inerts	V
15	101	2	5S	S31603	P-5"-19-S31603	<i>Dewatering column</i>	Acetat de vinil-Aigua	L

Taula 4.8. Llistat de canonades (I) P&ID-101 Continuació

Nº línia	Cabal (kg/h)	Tº normal operació (°C)	Tº disseny (°C)	P normal operació (barg)	P. disseny (barg)	P. prova hidràulica (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
1	$5,8 \cdot 10^4$	90	125	0,64	5	7,5	Llana de roca	70
2	$3,3 \cdot 10^2$	90	125	0,64	5	7,5	Llana de roca	50
3	$5,7 \cdot 10^1$	40	65	0,64	5	7,5	Llana de roca	40
4	$4,6 \cdot 10^3$	134	175	0,64	5	7,5	Llana de roca	70
5	$7,9 \cdot 10^4$	73	100	0,22	5	7,5	Llana de roca	80
6	$1,3 \cdot 10^2$	115	150	0,64	5	7,5	Llana de roca	50
7	$5,0 \cdot 10^4$	133	175	0,64	5	7,5	Llana de roca	80
8	$1,4 \cdot 10^2$	126	150	0,57	5	7,5	Llana de roca	50
9	$6,7 \cdot 10^4$	40	65	0,64	5	7,5	Llana de roca	50
10	$7,9 \cdot 10^4$	62	100	0,42	5	7,5	Llana de roca	60
11	$5,8 \cdot 10^4$	91	125	0,22	5	7,5	Llana de roca	70
12	$1,1 \cdot 10^3$	62	100	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
13	$1,1 \cdot 10^3$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
14	$5,6 \cdot 10^2$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
15	$9,9 \cdot 10^3$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	40

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Taula 4.9. Llistat de canonades (II) P&ID-101

Nº línia	P&ID	DN (in)	Schedule	Material	De	A	Fluid	Fase
16	101	3/8	10S	S31603	F-101	P-5"-17-S31603	Acetat de vinil-Aigua	L
17	101	5	5S	S31603	P-3/8"-1-S31603 i P-5"-21-S31603	A-101	Acetat de vinil-Aigua	L
18	101	3	5S	S31603	A-101	<i>Water stripping column</i>	Aigua	L
19	101	5	5S	S31603	A-101	P-5"-9-S31603 i P-2"-15-S31603	Acetat de vinil-Aigua	L
20	101	5	5S	S31603	P-10"-10-S31603	E-103	Acetat de vinil-Aigua	L
21	101	5	5S	S31603	E-103	P-5"-17-S31603	Acetat de vinil-Aigua	L
22	101	14	5S	S31603	C-101	R-101 / R-102	Àcid acètic-Aigua	L
23	101	30	5S	S31603	R-101 / R-102	C-101	Àcid acètic-Aigua	L/V
24	101	8	5S	S31603	Servei vapor	R-101 / R-102	Vapor d'aigua	V
25	101	1 ½	5S	S31603	R-101 / R-102	Servei condensat	Condensat (aigua)	L
26	101	16	5S	S31603	Servei aigua refrigeració	Servei aigua refrigeració	Aigua de refrigeració	L
27	101	3	5S	S31603	Servei aigua refrigeració	Servei aigua refrigeració	Aigua de refrigeració	L
28	101	5	5S	S31603	Servei aigua refrigeració	Servei aigua refrigeració	Aigua de refrigeració	L

Taula 4.10. Llistat de canonades (II) P&ID-101 Continuació

Nº línia	Cabal (kg/h)	Tº normal operació (°C)	Tº disseny (°C)	P normal operació (barg)	P. disseny (barg)	P. prova hidràulica (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
16	$5,5 \cdot 10^2$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	30
17	$7,9 \cdot 10^4$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
18	$2,3 \cdot 10^3$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
19	$7,7 \cdot 10^4$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
20	$7,8 \cdot 10^4$	62	100	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
21	$7,8 \cdot 10^4$	40	65	0,22	5	7,5	Llana de roca	50
22	$4,9 \cdot 10^5$	133	175	0,64	5	7,5	Llana de roca	80
23	$4,9 \cdot 10^5$	131	175	0,64	5	7,5	Llana de roca	110
24	$5,2 \cdot 10^3$	158	200	4,9	8	12	Llana de roca	90
25	$5,2 \cdot 10^3$	158	200	4,9	8	12	Llana de roca	70
26	$8,8 \cdot 10^5$	38	65	5,1	8	12	Llana de roca	60
27	$1,9 \cdot 10^4$	33	65	5,9	8	12	Llana de roca	50
28	$8,2 \cdot 10^4$	38	65	5,9	8	12	Llana de roca	50

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Taula 4.11. Llistat de canonades (I) P&ID-201.

Nº línia	P&ID	DN (in)	Schedule	Material	De	A	Fluid	Fase
1	201	1/2	5S	S31603	Columna azeotròpica	T-201	Àcid acètic-Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil-Hidroquinona	L
2	201	1/2	5S	S31603	Fondos C-201	Columna azeotròpica	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	L
3	201	3/8	10S	S31603	Decantador A-201	Tanc d'emmagatzematge	Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil	L
4	201	1/2	5S	S31603	P-1/2"-8-S31603	Columna C-201	Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil	L
5	201	1/4	10S	S31603	Decantador A-201	Tanc d'emmagatzematge	Aigua	L
6	201	1	5S	S31603	Cap de columna C-201	Condensador E-201	Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil	V
7	201	1/2	5S	S31603	Condensador E-201	Decantador A-201	Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil	L
8	201	1/2	5S	S31603	Decantador A-201	Corrents P-1/2"-4-S31603 i P-3/8"-3-S31603	Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil	L
9	201	2	5S	S31603	Fondos C-201	Reboiler E-201	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	L
10	201	4	5S	S31603	Reboiler E-201	Fondos C-201	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	L/V
11	201	1/2	5S	S31603	Servei de vapor	Reboiler E-201	Vapor de procés	V
12	201	1/4	10S	S31603	Reboiler E-201	Xarxa de condensat	Condensat	L
13	201	3/4	5S	S31603	Torres de refrigeració	Condensador E-202	Aigua de refrigeració	L
14	201	3/4	5S	S31603	Condensador E-202	Torres de refrigeració	Aigua de refrigeració	L

Taula 4.12. Llistat de canonades (I) P&ID-201 continuació.

Nº línia	Cabal (kg/h)	Tº normal operació (°C)	Tº disseny (°C)	P normal operació (barg)	P. disseny (barg)	P. prova hidràulica (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
1	1,6·10 ²	100	120	0,18	2,5	3,6	Llana de roca	40
2	1,3·10 ²	121	141	0,2	2,5	3,6	Llana de roca	50
3	33	40	60	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	30
4	56	40	60	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	30
5	2,6	40	60	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	30
6	92	74	94	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	40
7	92	40	60	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	30
8	90	40	60	0,16	2,5	3,6	Llana de roca	30
9	6,5·10 ³	122	142	0,2	2,5	3,6	Llana de roca	70
10	6,5·10 ³	122	142	0,2	2,5	3,6	Llana de roca	70
11	23	159	180	4,9	7	10,5	Llana de roca	60
12	23	158	180	4,9	7	10,5	Llana de roca	50
13	1,1·10 ³	28	48	5,9	7	10,5	Llana de roca	30
14	1,1·10 ³	38	58	5,9	7	10,5	Llana de roca	30

Taula 4.13. Llistat de canonades (I) P&ID-301

Nº línia	DN (in)	Schedule	Material	De	A	Fluid	Fase	Cabal (kg/h)
1	2	5S	S31603	Columna acetaldehid	P-2''-2-S31603	Acetat de vinil-aigua	L	5,4·10 ²
2	2	5S	S31603	Columna azeotròpica	P-2''-1-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	9,9·10 ³
3	2	5S	S31603	P-2''-1-S3160 i P-2''-2-S3160	Columna C-301	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	1,1·10 ⁴
4	2 ½	5S	S31603	P-2½''-12-S3160	Columna C-301	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	1,6·10 ⁴
5	2	5S	S31603	Columna C-301	Columna acetat de vinil	Acetat de vinil	L	9,9·10 ³
6	12	5S	S31603	Columna C-301	P-1½''-7-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	V	1,6·10 ⁴
7	1 ½	5S	S31603	Stripper aigua	P-12''-6-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L/V	2,9·10 ²
8	12	5S	S31603	P-12''-6-S3160 i P-1½''-7-S3160	E-301	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	V	1,7·10 ⁴
9	5	5S	S31603	E-301	P-5''-9-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	1,7·10 ⁴
10	2 ½	5S	S31603	E-302	A-301	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	1,7·10 ⁴
11	½	5S	S31603	A-301	Stripper aigua	Aigua-acetaldehid	L	3,1·10 ²
12	2 ½	5S	S31603	A-301	P-2½''-12-S3160	Acetat de vinil-acetaldehid	L	1,6·10 ⁴
13	½	5S	S31603	P-2½''-12-S3160	Columna acetaldehid	Acetat de vinil-acetaldehid	L	5,5·10 ²
14	2 ½	5S	S31603	P-5''-9-S3160	P-1/4''-15-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	1,7·10 ⁴
15	¼	10S	S31603	E-303	P-2½''-14-S3160	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	90

Taula 4.14. Llistat de canonades (I) P&ID-301 (Continuació)

Nº línia	Tº normal operació (°C)	Tº disseny (°C)	P normal operació (barg)	P. disseny (barg)	P. prova hidràulica (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
1	98	118	0,39	3	5	Llana de roca	50
2	40	60	0,39	3	5	Llana de roca	40
3	53	73	0,39	3	5	Llana de roca	40
4	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	40
5	82	102	0,37	3	5	Llana de roca	50
6	69	89	0,16	3	5	Llana de roca	60
7	68	88	0,16	3	5	Llana de roca	50
8	68	88	0,16	3	5	Llana de roca	60
9	54	74	0,16	3	5	Llana de roca	50
10	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	40
11	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	30
12	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	40
13	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	30
14	54	74	0,16	3	5	Llana de roca	40
15	35	60	0,16	3	5	Llana de roca	30

Taula 4.15. Llistat de canonades (II) P&ID-301

Nº línia	DN (in)	Schedule	Material	De	A	Fluid	Fase	Cabal (kg/h)
16	2 ½	5S	S31603	P-2½"-12-S3160 i P-1/4"-15-S3160	E-302	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	L	5,4·10 ²
17	1	5S	S31603	P-5"-9-S3160	E-303	Acetat de vinil -acetaldehid	L	9,9·10 ³
18	10	5S	S31603	Columna C-301	R-301	Acetat de vinil	L	1,1·10 ⁴
19	12	5S	S31603	R-301	Columna C-301	Acetat de vinil	L	1,6·10 ⁴
20	8	5S	S31603	Aigua de servei	E-301	Aigua	L	9,9·10 ³
21	2 ½	5S	S31603	Aigua de servei	E-302	Aigua	V	1,6·10 ⁴
22	¾	5S	S31603	Aigua de servei	E-303	Aigua	L/V	2,9·10 ²
23	8	5S	S31603	Xarxa de vapor	R-301	Aigua	V	1,7·10 ⁴
24	1 ¼	5S	S31603	R-301	Xarxa de condensat	Aigua	L	1,7·10 ⁴
25	12	5S	S31603	A-301	Torxa	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	V	1,7·10 ⁴ *

*Aquesta línia està dissenyada perquè, en cas de que hi hagi traces de productes no condensats a la sortida del tren de bescanviadors, es puguin extreure per aquesta línia.

Taula 4.16. Llistat de canonades (II) P&ID-301 (Continuació)

Nº línia	Tº normal operació (°C)	Tº disseny (°C)	P normal operació (barg)	P. disseny (barg)	P. prova hidràulica (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
16	54	74	0,16	3	5	Llana de roca	40
17	63	83	0,16	3	5	Llana de roca	40
18	82	102	0,37	3	5	Llana de roca	60
19	81	101	0,37	3	5	Llana de roca	70
20	28	60	6	7,5	11,5	Llana de roca	50
21	28	60	6	7,5	11,5	Llana de roca	40
22	28	60	6	7,5	11,5	Llana de roca	40
23	143	163	3	4	6,5	Llana de roca	80
24	143	163	3	4	6,5	Llana de roca	60
25	40	60	0,16	3	5	Llana de roca	60

4.2.2. Disseny de la instrumentació i control

4.2.2.1. Llistat de la instrumentació

S'ha elaborat una llista dels instruments presents en cada P&ID, que contenen la informació bàsica de cada instrument.

Taula 4.17. Llistat d'instrumentació (I) P&ID-101

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
FT-1001	101	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua-Acetat de vinil	P-5"-1-S31603	Analògica	S31603
FT-1002	101	Transmissor de cabal	Acetat de vinil	P-1¼"-2-S31603	Analògica	S31603
FT-1003	101	Transmissor de cabal	Gasos inerts	P-1"-3-S31603	Analògica	S31603
FT-1004	101	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua	P-6"-4-S31603	Analògica	S31603
FT-1005	101	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua	P-¼"-6-S31603	Analògica	S31603
TT-1250	101	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	P-3"-13-S31603	Analògica	S31603
TT-1251	101	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-Aigua	P-5"-21-S31603	Analògica	S31603
PT-1300	101	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	F-101	Analògica	S31603
TT-1350	101	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	F-101	Analògica	S31603
LT-1400	101	Transmissor de nivell	Acetat de vinil-Aigua	A-101	Analògica	S31603
PT-1500	101	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-Aigua	C-101	Analògica	S31603
TT-1500	101	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-Aigua-Gasos inerts	P-10"-10-S31603	Analògica	S31603
TT-1501	101	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-Aigua	C-101	Analògica	S31603
TT-1502	101	Transmissor de temperatura	Àcid acètic-Aigua	C-101	Analògica	S31603
DPT-1503	101	Transmissor de nivell	Àcid acètic-Aigua-Acetat de vinil	C-101	Analògica	S31603

Taula 4.18. Llistat d'instrumentació (I) P&ID-101 Continuació

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
FT-1001	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie Elite	L	90	0,64
FT-1002	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L/V	90	0,64
FT-1003	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	V	40	0,64
FT-1004	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie Elite	L/V	134	0,64
FT-1005	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	115	0,64
TT-1250	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	40	0,22
TT-1251	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	40	0,22
PT-1300	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	V	40	0,22
TT-1350	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	40	0,22
LT-1400	Radar d'ona guiat	Emerson	Rosemount 5301	L	40	0,22
PT-1500	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	V	73	0,22
TT-1500	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	40	0,22
TT-1501	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	70	0,22
TT-1502	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	130	0,64
DPT-1503	Diferencial de pressió	Emerson	Rosemount 3051S	L/V	133	0,64

Taula 4.19. Llistat d'instrumentació (II) P&ID-101

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
FT-1504	101	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua	P-¼"-8-S31603	Analògica	S31603
LT-1505	101	Transmissor de nivell	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil	C-101	Analògica	S31603
PT-1700	101	Transmissor de pressió	Àcid acètic-Aigua	P-4"-7-S31603	Analògica	S31603
JT-1700	101	Transmissor de potència	Àcid acètic-Aigua	P-101	Analògica	S31603
FT-1701	101	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua	P-4"-7-S31603	Analògica	S31603
PT-1750	101	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-Aigua	P-5"-19-S31603	Analògica	S31603
JT-1750	101	Transmissor de potència	Acetat de vinil-Aigua	P-103	Analògica	S31603
FT-1751	101	Transmissor de cabal	Acetat de vinil-Aigua	P-5"-19-S31603	Analògica	S31603
PT-1800	101	Transmissor de pressió	Aigua	P-5"-18-S31603	Analògica	S31603
JT-1800	101	Transmissor de potència	Aigua	P-102	Analògica	S31603
FT-1801	101	Transmissor de cabal	Aigua	P-5"-18-S31603	Analògica	S31603
TPV-101	101	Trampa de vapor	Vapor	R-101	-	S31603
TPV-102	101	Trampa de vapor	Condensat	R-101	-	S31603
TPV-103	101	Trampa de vapor	Vapor	R-102	-	S31603
TPV-104	101	Trampa de vapor	Condensat	R-102	-	S31603

Taula 4.20. Llistat d'instrumentació (II) P&ID-101 Continuació

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
FT-1504	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	126	0,56
LT-1505	Sensor de gàbia	Emerson	Serie 249 Fisher	L/V	133	0,64
PT-1700	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	133	0,64
JT-1700	Wattímetre	ABB	ACS880	L	40	0,22
FT-1701	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	133	0,64
PT-1750	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	40	0,22
JT-1750	Wattímetre	ABB	ACS880	L	40	0,22
FT-1751	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie Elite	L	40	0,22
PT-1800	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	40	0,22
JT-1800	Wattímetre	ABB	ACS880	L	40	0,22
FT-1801	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	40	0,22
TPV-101	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9
TPV-102	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9
TPV-103	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9
TPV-104	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Taula 4.21. Llistat d'instruments (I) C-201.

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
FT-2001	201	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua-Acetat de vinil-Acetat d'etil-Hidroquinona	P-1/2"-1-S31603	Analògica	S31603
FT-2006	201	Transmissor de cabal	Aigua-Acetat de vinil-Acetats d'etil	P-1/2"-4-S31603	Analògica	S31603
FT-2007	201	Transmissor de cabal	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	P-1/2"-2-S31603	Analògica	S31603
FT-2005	201	Transmissor de cabal	Aigua	P-1/4"-5-S31603	Analògica	S31603
TT-2005	201	Transmissor de temperatura	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil-Hidroquinona	C-201	Analògica	S31603
TT-2006	201	Transmissor de temperatura	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil-Hidroquinona	C-201	Analògica	S31603
TT-2002	201	Transmissor de temperatura	Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil	P-1/2"-7-S31603	Analògica	S31603
PT-2002	201	Transmissor de pressió	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil-Hidroquinona	C-201	Analògica	S31603

Taula 4.22. Llistat d'instruments (I) C-201 continuació

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
FT-2001	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	100	0,18
FT-2006	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	74	0,14
FT-2007	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	121	0,2
FT-2005	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	40	0,14
TT-2005	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	121	0,2
TT-2006	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L/V	74	0,14
TT-2002	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	40	0,14
PT-2002	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L/V	74	0,14

Taula 4.23. Llistat d'instruments (II) C-201.

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
PT-2010	201	Transmissor de pressió	Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil	P-1/2"-8-S31603	Analògica	S31603
PT-2009	201	Transmissor de pressió	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	P-1/2"-2-S31603	Analògica	S31603
LT-2004	201	Transmissor de nivell	Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil	A-201	Analògica	S31603
LT-2011	201	Transmissor de nivell	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil-Hidroquinona	C-201	Analògica	S31603
DPT-2003	201	Transmissor de nivell	Àcid acètic-Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil-Hidroquinona	C-201	Analògica	S31603
JT-2009	201	Transmissor de potència	Àcid acètic-Aigua -Hidroquinona	P-201	Analògica	S31603
JT-2010	201	Transmissor de potència	Aigua-Acetats de vinil-Acetats d'etil	P-202	Analògica	S31603
TPV-201	201	Trampa de vapor	Vapor	R-201	-	S31603
TPV-202	201	Trampa de vapor	Condensat	R-201	-	S31603

Taula 4.24. Llistat d'instruments (II) C-201 continuació.

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
PT-2009	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	121	0,2
PT-2010	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L/V	74	0,14
LT-2004	Radar d'ona guiat	Emerson	Rosemount 5301	L	40	0,14
LT-2011	Sensor de gàbia	Emerson	Serie 249 Fisher	L	121	0,2
DPT-2003	Diferencial de pressió	Emerson	Rosemount 3051S	L/V	121	0,2
JT-2009	Variador de freqüència	ABB	ACS880	L	25	0,13
JT-2010	Variador de freqüència	ABB	ACS880	L	25	0,13
TPV-201	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9
TPV-202	Mecànica	TLV	J3X	L/V	159	4,9

Taula 4.25. Llistat d'instrumentació (I) P&ID-301

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
FT-3001	301	Transmissor de cabal	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	P-7½"-7-S31603	Analògica	S31603
FT-3002	301	Transmissor de cabal	Acetat de vinil-aigua	P-2"-1-S31603	Analògica	S31603
FT-3003	301	Transmissor de cabal	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	P-2"-2-S31603	Analògica	S31603
TT-3004	301	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil	C-301	Analògica	S31603
DPT-3005	301	Transmissor de pressió diferencial	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	C-301	Analògica	S31603
PT-3006	301	Transmissor de pressió	Acetat de vinil	P-2"-5-S31603	Analògica	S31603
FT-3007	301	Transmissor de cabal	Acetat de vinil	P-2"-5-S31603	Analògica	S31603
TT-3008	301	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	C-301	Analògica	S31603
PT-3009	301	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	C-301	Analògica	S31603
TT-3009	301	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	P-5"-9-S31603	Analògica	S31603
TT-3010	301	Transmissor de temperatura	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	P-1/4"-15-S31603	Analògica	S31603
TT-3011	301	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	P-2½"-10-S31603	Analògica	S31603
LT-3012	301	Transmissor de nivell	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	A-301	Analògica	S31603
FT-3013	301	Transmissor de cabal	Aigua-acetaldehid	P-1/2"-11-S31603	Analògica	S31603
PT-3014	301	Transmissor de pressió	Aigua-acetaldehid	P-1/2"-11-S31603	Analògica	S31603

Taula 4.26. Llistat d'instrumentació (I) P&ID-301 (Continuació)

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
FT-3001	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L/V	68	0,2
FT-3002	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	98	0,4
FT-3003	Coriolis	Emerson	Micromotion sèrie F	L	40	0,4
TT-3004	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	82	0,4
DPT-3005	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 3051S	L/V	82	0,4
PT-3006	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	82	0,4
FT-3007	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	82	0,4
TT-3008	RTD	Emerson	Rosemount 185H	V	69	0,2
TT-3009	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	54	0,2
TT-3010	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	35	0,2
TT-3011	RTD	Emerson	Rosemount 185H	L	40	0,2
LT-3012	Radar d'ona guiat	Emerson	Rosemount 5301	L	40	0,2
FT-3013	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	40	0,2
PT-3014	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	40	0,2

Taula 4.27. Llistat d'instrumentació (II) P&ID-301

Tag	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material
FT-3015	301	Transmissor de cabal	Acetat de vinil-acetaldehid	P-2½"-12-S31603	Analògica	S31603
PT-3016	301	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-acetaldehid	P-2"-1-S31603	Analògica	S31603
LT-3017	301	Transmissor de nivell	Acetat de vinil	T-301	Analògica	S31603
JT-3018	301	Wattímetre	Acetat de vinil	P-301	Analògica	S31603
JT-3019	301	Wattímetre	Acetat de vinil-acetaldehid	P-302	Analògica	S31603
JT-3020	301	Wattímetre	Aigua-acetaldehid	P-303	Analògica	S31603
PT-3021	301	Transmissor de pressió	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid	C-301	Analògica	S31603
TPV-301	301	Trampa de vapor	Vapor	R-301	-	S31603
TPV-302	301	Trampa de vapor	Condensat	R-301	-	S31603

Taula 4.28. Llistat d'instrumentació (II) P&ID-301 (Continuació)

Tag	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)
FT-3015	Placa d'orifici	Emerson	Rosemount 3051CFC	L	40	0,2
PT-3016	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	L	40	0,2
LT-3017	Sensor de gàbia	Emerson	Serie 249 Fisher	L	40	0,2
JT-3018	Wattímetre	ABB	ACS880	L	82	0,4
JT-3019	Wattímetre	ABB	ACS880	L	40	0,2
JT-3020	Wattímetre	ABB	ACS880	L	40	0,2
PT-3021	Piezoelèctric	Emerson	Rosemount 2088	V	69	0,2
TPV-301	Mecànica	TLV	J3X	L/V	143	3
TPV-302	Mecànica	TLV	J3X	L/V	143	3

4.2.2.2. Disseny de les vàlvules de control

Per a dissenyar la vàlvula de control, inicialment, s'ha suposat que inicialment aquesta és, com a mínim, una unitat per sota de la mida de la canonada. Un cop obtinguts el valor dels paràmetres que es necessiten per a que la vàlvula funcioni correctament, tot seguint el procediment del Emerson Valve Handbook (ref. 6) explicat a l'annex A.10.

4.2.2.2.1. Selecció de la vàlvula de control V-106

S'ha seleccionat una vàlvula de control adient per a complir la funció de la vàlvula V-106, situada a la línia P-4"-7-S31603 de la unitat de columna azeotròpica. Aquest corrent extreu el producte líquid de fons de columna, format per aigua i àcid acètic, fins a un tanc d'emmagatzematge.

La canonada d'aquest corrent té 4 polzades de diàmetre, s'ha seleccionat una vàlvula comercial que presenta les següents característiques:

Taula 4.29. Resultats selecció vàlvula de control V-106.

Paràmetre	Valor
Model de la vàlvula	Globus. Cage-guided
Diàmetre de la vàlvula (in)	3
Cabal màxim (m ³ /h)	66
Cv disponible màxim	148
Cv requerit (C. operació)	123
ΔP produït per la vàlvula (bar)	0,3

Finalment es mostra la fulla d'especificació de la vàlvula de control V-106:

GENERAL DATA									
1									
2	TAG		V-106		INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW				
3	SERVICE		Fondos C-101		DN & RATING		4"		150 #
4	LINE/EQUIPMENT		P-4"-7-S31603		MTL & SCHEDULE		S31603		5S
5	DIAGRAM		P&ID-101		INSULATION AND THICKNESS (mm)		-		2
6	AREA CLASSIFICATION				EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6		
7	PROCESS DATA								
8	FLOW	PHASE	Àcid acètic - aigua	Liquid	Data	UI	Min.	Normal	Max.
9	Cp/Cv	Z	-	-	Inlet Flow cu m/h		45,67	54,8	65,76
10	Density kg/m ³	Viscosity cP	916	0,34	Inlet Pressure bara		1,64	1,64	1,64
11	P crit. bara	T crit. K	45	448	Pressure Drop bar		0,3	0,3	0,3
12	TIGHTNESS				T operation K		406	406	406
13	FIRE SECURITY DIST.				Vapor Pres. bara		0,05	0,05	0,05
14	OTHERS				Cv available		148	148	148
15					Cv required		103	123	147
16					Opening				

4.2.2.2.2. Selecció de la vàlvula de control V-202

La vàlvula V-202 és escollida per a realitzar la seva selecció en el catàleg, situada a la línia P-1/2"-1-S31603 de la unitat de columna d'acetat d'etil. Aquest alimenta la columna C-201 i és format per una barreja d'aigua, àcid acètic, acetat d'etil, acetat de vinil i hidroquinona.

La canonada d'aquest corrent té 1/2 polzades de diàmetre, s'ha seleccionat una vàlvula comercial que presenta les següents característiques:

Taula 4.30. Resultats selecció vàlvula de control V-202.

Paràmetre	Valor
Model de la vàlvula	Globus. Cage-guided
Diàmetre de la vàlvula (in)	0,5
Cabal màxim (m ³ /h)	0,21
Cv disponible màxim.	2,41
Cv requerit (C. operació)	0,65
ΔP produït per la vàlvula (bar)	0,1

Finalment es mostra la fulla d'especificació de la vàlvula de control V-202

GENERAL DATA									
1									
2	TAG	V-202		INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW					
3	SERVICE	Alimentació C-201		DN & RATING		1/2"	150 #		
4	LINE/EQUIPMENT	P-1/2"-1-S31603		MTL & SCHEDULE		S31603	5S		
5	DIAGRAM	P&ID-201		INSULATION AND THICKNESS (mm)		-	2		
6	AREA CLASSIFICATION			EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6			
7	PROCESS DATA								
8	FLOW	PHASE	Àcid acètic - aigua	Liquid	Data	UI	Min.	Normal	Max.
9	Cp/Cv	Z	-	-	Inlet Flow cu m/h		0,15	0,18	0,21
10	Density kg/m ³	Viscosity cP	933	0,36	Inlet Pressure bara		1,18	1,18	1,18
11	P crit. bara	T crit. K	76	0	Pressure Drop bar		0,1	0,1	0,1
12	TIGHTNESS			T operation K			373	373	373
13	FIRE SECURITY DIST.			Vapor Pres. bara			0,1	0,1	0,1
14	OTHERS			Cv available			2,41	2,41	2,41
15				Cv required			0,54	0,65	0,78
16				Opening					

4.2.2.2.3. Selecció de la vàlvula de control V-306

La vàlvula de control V-306 s'ha triat per controlar el cabal que circula per la línia P-2"-2-S31603, que és una de les alimentacions de la columna C-301.

La canonada d'aquest corrent té 2 polzades de diàmetre., s'ha seleccionat una vàlvula comercial que presenta les següents característiques:

Taula 4.31. Resultats selecció vàlvula de control V-306.

Paràmetre	Valor
Model de la vàlvula	Globus. Cage-guided
Diàmetre de la vàlvula (in)	1,5
Cabal màxim (m ³ /h)	13
Cv disponible màxim	39,2
Cv requerit (C. operació)	28,6
ΔP produït per la vàlvula (bar)	0,2

Finalment es mostra la fulla d'especificació de la vàlvula de control V-306.

GENERAL DATA									
1									
2	TAG	V-306		INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW					
3	SERVICE	Alimentació C-301		DN & RATING		2"		150 #	
4	LINE/EQUIPMENT	P-2"-2-S31603		MTL & SCHEDULE		S31603		5S	
5	DIAGRAM	P&ID-301		INSULATION AND THICKNESS		-		1.651	
6	AREA CLASSIFICATION			EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6			
7	PROCESS DATA								
8	FLOW	PHASE	Acetat de vinil-aigua	Liquid	Data	UI	Min.	Normal	Max.
9	Cp/Cv	Z	-	-	Inlet Flow cu m/h		9.1	10.9	13.1
10	Density kg/m ³	Viscosity cP	909	0.36	Inlet Pressure bara		1.39	1.39	1.39
11	P crit. bara	T crit. K	51.32	527	Pressure Drop bar		0.2	0.2	0.2
12	TIGHTNESS				T operation K		313	313	313
13	FIRE SECURITY DIST.				Vapor Pres. bara		0.28	0.28	0.28
14	OTHERS				Cv available		39.2	39.2	39.2
15					Cv required		23.8	28.6	34.2
16					Opening				

4.2.2.3. Disseny de plaques d'orifici

S'ha seguit el procediment descrit al llibre Instrumentación industrial (ref. 4) explicat a l'annex A.9. de l'informe, s'ha dissenyat la placa d'orifici a partir del cabal que hi ha de circular, de la densitat del fluid i del diàmetre de la canonada.

4.2.2.3.1. Disseny de la placa d'orifici FT-1701


Es demana que un dels mesuradors de cabal instal·lats a la unitat de columna azeotròpica sigui una placa d'orifici. Per a aquesta unitat, s'ha escollit el FT-1701. Aquest s'encarrega de mesurar el cabal a la impulsió de la bomba P-101, controlant així el *bypass* de la bomba per a assegurar-se que hi circula el cabal mínim i evitar que caviti.

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 4.32. Resultats disseny placa d'orifici FT-1701.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de l'orifici (mm)	65
ΔP permesa (bar)	0,25

A continuació es mostra la fulla d'especificació per la placa d'orifici dissenyada:

 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química		HOJA DE DATOS PLACA DE ORIFICIO RESTRICION	
PLANTA	Unitat de columna azeotròpica		
LOCALIZACION	Tarragona		
ITEM	FT-1701		
Datos de la tubería			
P&ID No	101		
Línea/APP No	7		
Clase de tubería			Proces
Diámetro nominal	in		4
Material	UNS		S31603
Bridas			DIN2526"C"
Diámetro interno de la línea	mm		110,1
Diámetro externo de la línea	mm		114,3
Espesor de la tubería	mm		2,1
Datos de proceso			
Fluido	líquid		Aigua + Acid acètic
Caudal normal	Kg/h		50168
Caudal maximo	Kg/h		53429
Presión atmosférica	barg		0,63
Temperatura ambiente	°C		25
Temperatura de trabajo	°C		133
Temperatura máxima	°C		175
Viscosidad	cP		0,34
Densidad	Kg/m3		916
Tipo de Deprimogeno			
Diafragma tomas en bridas	Con cantos rectos		
Presión Diferencial	bar		0,25
Diámetro exterior de la placa	mm (D)		110
Ancho de la placa	mm (s)		
Longitud de la aleta	mm (h)		-
ancho de la aleta	mm		-
ITEM en la aleta			-
Diámetro del orificio	mm (d)		65
NOTAS			
0	Enginyeria de procés	11/06/2020	Itmar A.G.
REV.	DESCRIPCION	FECHA	REALIZADO

4.2.2.3.2. Disseny de la placa d'orifici FT-2007


El disseny del mesurador de cabal FT-2007 serà el disseny d'una placa d'orifici. Aquesta s'encarrega de mesurar el cabal a la impulsió de la bomba P-201, controlant així el *bypass* de la bomba per a assegurar-se que hi circula el cabal mínim i evitar que cavitati.

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 4.33. Resultats disseny placa d'orifici FT-2007.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de l'orifici (mm)	3
ΔP permesa (bar)	0,25

A continuació es mostra la fulla d'especificació per la placa d'orifici dissenyada:

 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química		HOJA DE DATOS PLACA DE ORIFICIO RESTRICION	
PLANTA	Planta d'acetat de vinil		
LOCALIZACION	Unitat columna d'acetat d'etil		
ITEM		FT-2007	
Datos de la tubería			
P&ID No		201	
Línea/APP No		2	
Clase de tubería		PROCES	
Diámetro nominal	in	1/2"	
Material	UNS	S31603	
Bridas		DIN2526"C"	
Diámetro interno de la línea	mm	12,4	
Diámetro externo de la línea	mm	12,7	
Espesor de la tubería	mm	0,15	
Datos de proceso			
Fluido		Acid acètic	
Caudal normal	Kg/h	129	
Caudal maximo	Kg/h	154,8	
Presión	barg	0,62	
Temperatura ambiente	°C	25	
Temperatura de trabajo	°C	121	
Temperatura maxima	°C	-	
Viscosidad	cP	0,36	
Densidad	Kg/m ³	932	
Tipo de Deprimogeno			
Diafragma tomas en bridas	Con cantos rectos		
Presión Diferencial	bar	0,25	
Diámetro exterior de la placa	mm (D)	12,4	
Ancho de la placa	mm (s)	-	
Longitud de la aleta	mm (h)	-	
ancho de la aleta	mm	-	
ITEM en la aleta		-	
Diámetro del orificio	mm (d)	10,7	
NOTAS			
0	Enginyeria de procés	15/06/2020	Myroslav P.
REV.	DESCRIPCION	FECHA	REALIZADO

4.2.2.3.3. Disseny de la placa d'orifici FT-3007


El mesurador de cabal FT-3007 és una placa d'orifici. Es realitza el disseny d'aquest element de mesura de cabal instal·lat a la unitat de columna deshidratadora. Aquest s'encarrega de mesurar el cabal a la impulsió de la bomba P-201, controlant així el *bypass* de la bomba per a assegurar-se que hi circula el cabal mínim i evitar que cavitï.

S'han obtingut els següents resultats:

Taula 4.34. Resultats disseny placa d'orifici FT-3007.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de l'orifici (mm)	29
ΔP permesa (bar)	0,25

A continuació es mostra la fulla d'especificació per la placa d'orifici dissenyada:

 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química		HOJA DE DATOS PLACA DE ORIFICIO RESTRICCION	
PLANTA	Unitat de columna deshidratadora		
LOCALIZACION	Tarragona		
ITEM			FT-3007
Datos de la tubería			
P&ID No	301		
Linea/APP No	5		
Clase de tubería			Proces
Diámetro nominal	in		2
Material	UNS		S31603
Bridas			DIN2526"C"
Diámetro interno de la línea	mm		57
Diámetro externo de la línea	mm		60
Espesor de la tubería	mm		1,5
Datos de proceso			
Fluido	líquid		Acetat de vinil
Caudal normal	Kg/h		9914
Caudal maximo	Kg/h		11897
Presión	barg		0.35
Temperatura ambiente	°C		25
Temperatura de trabajo	°C		82
Temperatura maxima			-
Viscosidad	cP		0,25
Densidad	Kg/m3		849
Tipo de Deprimogeno			
Diafragma tomas en bridas	Con cantos rectos		
Presión Diferencial	bar		0,25
Diámetro exterior de la placa	mm (D)		57
Ancho de la placa	mm (s)		-
Longitud de la aleta	mm (h)		-
ancho de la aleta	mm		-
ITEM en la aleta			-
Diámetro del orificio	mm (d)		29
0	Enginyeria de procés	11/06/2020	Roger C.D.
REV.	DESCRIPCION	FECHA	REALIZADO

4.3. Sistema de control

Les estratègies de control exposades a continuació han estat extretes del llibre *Distillation Control* (ref. 19).

4.3.1. Sistema de control unitat de columna azeotròpica

4.3.1.1. Sistema de control de caps

Amb l'objectiu de controlar la pressió de cap de columna, s'ha dissenyat un control en cascada entre el PT-1500 i el TT-1500. D'aquesta manera si el transmissor de pressió detecta algun valor anormal, es variarà el cabal d'aigua de refrigeració del condensador E-101 controlat mitjançant el transmissor de temperatura col·locat a la sortida d'aquest. A més a més, també es pot modificar l'obertura de la vàlvula V-115 per a regular la sortida de gasos incondensables a l'evaporador Flash F-101. Si aquests llaços de control resulten insuficients per a controlar la pressió de la columna C-101, entraria en acció la vàlvula de seguretat PSV-101, dissenyada a 4,1 barg.

Per a controlar la temperatura a cap de columna s'ha instal·lat un transmissor de temperatura (TT-1501). En funció dels valors que aquest proporciona, es variarà el cabal del reflux per tal de mantenir la temperatura al *set point* fixat, amb la vàlvula V-120.

4.3.1.2. Sistema de control de fons

Pel correcte funcionament de la columna C-101, és molt important controlar que el nivell de líquid es manté dins del rang establert de cara a l'estabilitat del reboiler i la temperatura a fons de columna. Per a aconseguir-ho s'ha dissenyat una estratègia de control en cascada, on la temperatura és la variable principal i el nivell de líquid la secundària. Per a recopilar la informació necessària per a dur a terme aquest control, s'ha instal·lat un sensor de gàbia (LT-1505) i un sensor de temperatura (TT-1502). També s'ha decidit col·locar un diferencial de pressió amb transmissors de pressió a fons i cap de columna. La seva funció és detectar una possible inundació de la columna C-101.

A partir de les dades proporcionades per aquests transmissors, es controlaran les variables prèviament esmentades, modificant l'obertura de les vàlvules que regulen la quantitat de vapor que entra al reboiler (V-108 i V-110) i l'obertura de la vàlvula V-106 que controla el cabal que s'extreu pel fons de la columna.

4.3.1.3. Sistema de control dels condensadors E-101, E-102 i E-103.

Per a ajustar el funcionament dels condensadors es proposa controlar la temperatura de sortida del fluid de procés amb la quantitat d'aigua de refrigeració que utilitzen.

4.3.1.4. Sistema de control de l'evaporador flash F-101.

Es controlarà la pressió d'aquest equip a partir dels valors que proporcioni el transmissor de pressió PT-1300. S'ajustarà el cabal de gasos inerts extret amb la vàlvula V-115. Si aquest llaç de control resultés insuficient per a despressuritzar el flash F-101, la vàlvula de seguretat PSV-102 actuarà.

També s'ha instal·lat un transmissor de temperatura (TT-1350). Segons els valors que llegeixi aquest sensor s'ajustarà mitjançant la vàlvula V-116 el cabal d'aigua de refrigeració que entrarà a aquest equip.

4.3.1.5. Sistema de control de l'acumulador de reflux A-101.

A l'acumulador de reflux es controlarà el nivell. Per a fer-ho s'instal·larà un radar guiat (LT-1400), ja que permet controlar el nivell de la interfase i per tant la correcta separació entre les dues fases, aquosa i orgànica. Si es vol ajustar el nivell, es canviaria l'obertura de les vàlvules V-119 i V-117.

4.3.1.6. Sistema de control de les bombes (variador de freqüència).

Per a controlar les bombes, es tenen en compte dues variables. La primera és la pressió a la impulsió. Aquesta es detecta amb un transmissor de pressió que segons el valor que llegeix, modificarà la potència de la bomba ajustant el seu variador de freqüència.

La segona variable es el cabal mínim de la bomba. Si el transmissor de cabal col·locat a la impulsió detecta que el cabal es massa petit, s'obrirà la vàlvula controladora del bypass, permeten així que circuli líquid.

4.3.2. Sistema de control unitat de columna d'acetat d'etil

4.3.2.1. Sistema de control columna C-201

En el cas de la columna C-201 no es pot seguir un control al 100% tradicional ja que aquesta columna treballa amb un condensador total que a més a més subrefreda el condensat a una temperatura desitjada. Una altra diferència dels exemples explicats en la bibliografia, és la presència d'una separació de fases en l'acumulador de reflux i l'ús com a reflux de la columna només d'una de les dues fases.

L'objectiu de l'estratègia de control és controlar dos productes, això vol dir que es vol controlar la composició tant a cap com a fons de columna.

4.3.2.2. Control de la columna de destil·lació

En una columna de destil·lació és important controlar les condicions de temperatura i pressió tant en cap de columna com en el fons. Les condicions de temperatura i pressió influeixen en la qualitat de la destil·lació.

En els següents apartats s'expliquen diversos llaços de control. La bibliografia aconsella usar transmissors de cabal amb un control en cascada a la vàlvula de control corresponent, per tal de, reduir la magnitud de les pertorbacions en la variable controlada principal. Aquest llaç es repeteix varies vegades i no es mencionarà posteriorment.

Es pot desglossar el control de la columna en dues parts, el cap de columna i el fons.

Per explicar el control de la columna també s'explicarà en aquest apartat el control del condensador i acumulador ja que el control d'aquest dos equips difereix del convencional.

4.3.2.3. Cap de columna

La temperatura a cap de columna permet saber la composició i les variacions en aquesta. La temperatura es mesurada pel transmissor TT-2006. El cabal de reflux a la columna és el que modifica el perfil de temperatures al llarg de la columna, que es tradueix a una variació en la composició del destil·lat. Per tal de mantenir la qualitat del producte s'ajusta el cabal de reflux amb la vàlvula V-232 per mantenir la temperatura idònia a cap de columna.

Segons Shinsky es realitza el control de la relació de cabals entre l'alimentació a la columna i el destil·lat. Els beneficis de realitzar aquest llaç de control són: la possibilitat de la correcció del offset causat per canvis de composició en l'alimentació i la millor capacitat de controlar la composició dels corrents de sortida. La vàlvula V-202 regularà el cabal d'alimentació segons les mesures dels sensors de cabal FT-2001 i FT-2006.

4.3.2.4. Condensador E-201.

El condensador en qüestió opera condensant tot el cabal de vapor provinent de la columna i subrefredant-lo fins a una temperatura de 40°C. El fet de que es dona un subrefredament implica que hi ha una part dels tubs del condensador inundats. En la bibliografia consultada és explicat el control d'un condensador total en el qual es controla l'àrea d'intercanvi de calor destinada a la condensació manipulant el cabal de condensat. En el condensador E-201 és requerit controlar la temperatura de

sortida i condensar el cabal de vapor provinent de la columna suficient per tal de mantenir la pressió desitjada de 1,14 barg.

L'estratègia de control proposada per aquest equip consisteix en un sensor de temperatura (TT-2002) en la sortida del condensador, un sensor de pressió a cap de columna (PT-2002), una vàlvula a la sortida de l'aigua de refrigeració (V-216) i una vàlvula a la sortida de condensat (V-219).

La variable mesurada principal és la pressió, segons la variació d'aquesta s'ajustarà el cabal de condensat amb la vàlvula V-219 variant el nivell de líquid al condensador el qual afecta a l'àrea on es dona la condensació. Amb un control de cascada es modifica el cabal d'aigua de refrigeració amb la vàlvula V-216 per tal de que es mantingui la temperatura de 40°C a la sortida.

4.3.2.5. Acumulador de reflux A-201.

En aquest equip es du a terme una separació de fases, el fluid pesant s'extreu totalment com a producte mentre que part del lleuger es recircula cap a la columna com a reflux. El fet de tindre dues fases líquides requereix un sensor de nivell capaç de diferenciar-les, LT-2004. És escollit un radar guiat.

El nivell de la fase pesant es controla amb la vàlvula V-221 situada a la sortida del destil·lat pesant del decantador, el nivell de la fase orgànica i del decantador es controla amb la vàlvula V-236 manipulant el cabal de destil·lat orgànic ja que el cabal d'aquest és més alt que el del pesant.

4.3.2.6. Fons de columna i reboiler

Al fons de la columna es crític controlar el nivell per tal de que el reboiler termosifó operi correctament. A fons de columna hi ha el sensor de nivell LT-2011 que envia senyal a la vàlvula V-212.

La qualitat del producte a fons de columna es controla de la mateixa forma que a caps, controlant la temperatura. A fons de columna la temperatura es controla amb el reboiler ja que aquest aporta energia en forma de calor.

La temperatura al fons de la columna es mesura amb un sensor de temperatura, TT-2005, i es controla amb la vàlvula V-241 que controla el vapor que s'administra al reboiler.

El fet de que els llaços de control de temperatura i nivell al fons de la columna interfereixen entre ells requereix una configuració en cascada. La configuració en cascada consisteix en el llaç de control de temperatura com a principal, així s'assegura la temperatura més constant al llarg del temps possible. El control de nivell actua com a llaç secundari i té la funció de controlar el nivell de tal manera que les possibles pertorbacions en aquest afectin el mínim possible a la temperatura.

4.3.2.7. Control de les bombes

El control de la bomba P-201 A/B s'efectua per mantenir bombejat el cabal requerit segons el llaç de control del nivell a fons de columna. Es mesura la pressió a la impulsió amb el sensor PT-2009, segons la lectura de pressió es controla l'energia aportada a la bomba pel variador de freqüència JT-2009.

Per assegurar que el cabal que passa per la bomba sempre supera el mínim hi ha el llaç de control 2007. El qual mesura el cabal en la impulsió amb la placa d'orifici FT-2007 i varia l'obertura de la vàlvula V-207 que recircula part del cabal d'impulsió de nou a l'aspiració. Com a salvaguarda contra el corrent en direcció inversa es col·locada la vàlvula de retenció V-243.

La bomba P-202 A/B és controlada de la mateixa manera.

4.3.3. Sistema de control unitat de columna de deshidratació

4.3.3.1. Sistema de control del cap de la columna C-301

En el cap d'una columna és important controlar dues magnituds: pressió i temperatura, perquè això et permetrà determinar la composició de sortida pel cap. Per a la temperatura s'empra un transmissor

de temperatura col·locat per sobre del primer plat de la columna, el TT-3008. En funció dels valors que aquest proporciona, es variarà el cabal del reflux per tal de mantenir la temperatura al *set point* fixat, amb la vàlvula V-342.

Pel que fa a la pressió, s'utilitza un sensor de pressió, PT-3021, per mesurar-la. Per al control, en funció del valor que marca el sensor s'obre o es tanca V-364. Per al control de la temperatura, s'empra un sensor, TT-3009, que ens indica la quantitat de vapor de cap de columna condensat en el primer condensador. En funció del valor del TT-3009 la vàlvula V-322 La temperatura de sortida en un condensador multicomponent depèn de la composició de sortida.

4.3.3.2. Sistema de control de fons de la columna C-301

En el fons d'una columna és important controlar dues variables: temperatura i nivell. El nivell s'ha de controlar perquè influeix en la taxa de recirculació en un reboiler termosifó vertical. La forma de mesurar-lo és a través d'un sensor de gàbia, LT-3017. La forma de controlar-lo és a través del cabal de fons de columna amb la vàlvula V-318. També és important controlar la temperatura a fons de columna. Per això, hi ha un transmissor de temperatura per sota de l'últim plat, TT-3004 per a mesurar-la. El control d'aquesta variable es realitza mitjançant la regulació del cabal de vapor a R-301 amb la V-314. Per tal de que el control a fons de columna s'efectuï de forma estable, és proposat un control en cascada en el qual la variable principal és la temperatura.

4.3.3.3. Sistema de control de E-301, E-302 i E-303

L'estratègia proposada per al E-301, E-302 i E-303 és la mateixa mesurar la temperatura a la sortida amb el TT-3009, el TT-3011 i el TT-3010, respectivament. En funció del valor mesurat, les vàlvules V-322, V-330 i V-326 del corrent d'aigua de refrigeració, respectivament, actuen.

4.3.3.4. Sistema de control de l'acumulador de reflux A-301

En un sistema heteroazeotrópic, l'acumulador de reflux d'una columna actua també com a decantador per a separar dues fases líquides, per tant, hi ha dos nivells a mesurar: el total i el de la interfase. Això es pot dur a terme amb un radar d'ona guiata, LT-3012. El control del nivell total es realitza amb la V-338 i el de la interfase amb la V-334.

4.3.3.5. Sistema de control de P-301, P-302 i P-303

Les bombes tenen dues variables importants: el cabal que hi circula i la pressió. El cabal mínim que hi circula es controla mesurant-lo a la sortida amb una placa d'orifici. Si aquest és més petit que el cabal mínim de la bomba, es recircula a l'aspiració per tal d'assolir aquest cabal mínim i així evitar la cavitació d'aquestes. La pressió es mesura a la sortida amb un transmissor de pressió i es controla a través del variador de freqüència instal·lat al motor de la bomba.

4.4. Disseny d'equips

4.4.1. Columna de destil·lació C-101

L'operació de la columna de destil·lació va ser dissenyada a partir de la simulació efectuada al software *Aspen Plus VII*, perquè hi ha un heteroazeòtrop. Degut a la complexitat d'intentar elaborar qualsevol diagrama per a obtenir els plats teòrics que es necessitaven ja que hi ha més de 15 compostos diferents a la columna, es va optar per comprovar al *Aspen Plus VII* que els valors bibliogràfics eren semblants als obtinguts al simulador. Després, seguint el procediment explicat a l'annex A.2. (ref. 12) es va calcular quina altura i quin diàmetre tenia la columna:

Taula 4.35. Resultats dimensionament columna C-101

Paràmetre	Valor
Alçada columna C-101 (m)	25,5
Diàmetre columna C-101 (m)	3,2

4.4.1.1. Disseny dels plats

Per a aquesta columna s'ha decidit utilitzar plats de vàlvula model *Ballast V-4*. Aquest model de vàlvules tenen un orifici en forma de venturi per a minimitzar les pèrdues de càrrega dels plats de la columna. Aquests plats destaquen pel control de l'obertura de la vàlvula, ja que depèn del cabal de vapor. Això permet un bon contacte entre el líquid i el vapor maximitzant així la transferència de massa. A continuació es mostra una imatge del tipus de vàlvula utilitzat:



V-1, V-4

Figura 4.6. Vàlvula Ballast V-4, (ref. 12)

Es va dividir la columna en tres seccions diferents a partir dels plats ideals: la primera des de cap de columna fins al plat numero 11, on hi entra la primera alimentació; la segona des del plat 11 fins al 42, on hi ha la resta d'alimentacions; i la tercera des del plat 42 fins l'últim plat de la columna (el 51). Per a cada secció es van utilitzar les següents dades inicials:

Taula 4.36. Paràmetres inicials per al disseny dels plats de la C-101

Paràmetre	Secció cap	Secció alimentacions	Secció fons
Densitat líquid (lb/ft ³)	54	58	58
Densitat gas (lb/ft ³)	0,19	0,12	0,17
Cabal líquid (gpm)	$3,4 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$
Cabal gas (gpm)	$1,1 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Espai entre plats (in)	18	18	18
Factor d'inundació	0,7	0,7	0,7

Seguint el procediment explicat a l'annex A.2., que mostra el procediment del manual Koch-Glitsch (ref. 12) van dissenyar els plats per a les 3 seccions i a la vegada el diàmetre de la columna. Es van obtenir diàmetres de columna lleugerament diferents. Per a facilitar el disseny es va decidir triar el mateix diàmetre per a les 3 seccions, escollint el diàmetre més gran calculat anteriorment. Es van tornar a dissenyar els plats a aquest diàmetre, obtenint els següents resultats:

Taula 4.37. Resultats disseny de plats C-101

Paràmetre	Secció cap	Secció alimentacions	Secció fons
Àrea baixants (ft ²)	11	14	12
Àrea activa (ft ²)	66	59	64
Inundació del plat (%)	59	81	55
Eficiència del plat (%)	89	73	88

4.4.1.2. Disseny mecànic de la columna

Per a realitzar el disseny mecànic de la columna es va partir a partir de les següents dades inicials:

Taula 4.38. Valors inicials pel disseny mecànic de la columna C-101

Paràmetre	Valor
Alçada columna C-101 (m)	25,5
Diàmetre columna C-101 (m)	3,2
Densitat líquid (kg/m ³)	917
Temperatura de disseny (°C)	153
Pressió de disseny (barg)	4,1
Material	S31603
Valor S del material (MPa)	115
Densitat material (kg/m ³)	7930

Seguint el procediment extret del llibre *Pressure vessel handbook* (ref. 16) descrit a l'annex A.7. es van obtenir els següents resultats:

Taula 4.39. Resultats disseny mecànic C-101

Paràmetre	Valor
Pressió prova hidràulica (barg)	6,5
Gruix carcassa cilíndrica (mm)	10
Gruix capçals (mm)	10
Pes columna buida (kg)	1,9 · 10 ⁴
Pes total (kg)	1,9 · 10 ⁵

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació de la columna C-101:

4.4.2. Decantador A-101

Per a separar les dues fases líquides, es dissenya un decantador. La bibliografia utilitzada és Técnicas Reunidas S.A. (ref. 21). A la taula 4.40. es mostren les dades inicials necessàries per a dissenyar-lo:

Taula 4.40. Valors inicials per a dissenyar el decantador A-101

Propietat	Valor
Cabal de la fase orgànica (m ³ /min)	1,4
Cabal de la fase aquosa (m ³ /min)	4,1·10 ⁻²
Fracció d'emplenament	0,7
L/D	3,9

Seguint el procediment descrit a l'annex A.6., que es basa en el temps de residència de les dues fases dintre del decantador, s'han obtingut els següents resultats:

Taula 4.41. Resultats disseny decantador A-101

Propietat	Valor
Longitud del decantador (m)	7,9
Diàmetre del decantador (m)	2,1
Volum total (m ³)	26

4.4.2.1. Disseny mecànic del decantador A-101

Un cop es coneix la geometria del decantador i el material amb el que es construirà (S31603), es dissenya mecànicament seguint el procediment explicat a l'annex A.7 (ref. 16). S'utilitza la pressió de disseny de la columna C-101 pel disseny mecànic del decantador A-101. A continuació, s'adjunten a la taula 4.42. els resultats obtinguts:

Taula 4.42. Resultats disseny mecànic del decantador A-101

Propietat	Valor
Pressió de disseny (barg)	4,1
Temperatura de disseny (°C)	153
Gruix cilindre (mm)	5
Gruix caps (mm)	5
Pressió prova hidràulica (barg)	5,9
Pes decantador buit (kg)	1,8·10 ³
Pes total ple d'aigua (kg)	2,2·10 ⁴

Per últim s'adjunta la fulla d'especificació del decantador A-101:

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	GENERAL				Manufacturer:								
2	GENERAL				Item: A-101								
3	GENERAL				Description: Acumulador de reflux de la columna C-101		Position: <input checked="" type="checkbox"/> Horiz.		<input type="checkbox"/> Vertical				
4	OPERATING				Product:								
5	OPERATING				Operating Pressure (eff.)						0,2	barg	
6	OPERATING				Operating Temperature						40	°C	
7	OPERATING				Liquid Density						975	kg/m ³	
8	DESIGN DATA				Design Pressure (eff.)						4,1	barg	
9	DESIGN DATA				Design Temperature						153	°C	
10	DESIGN DATA				Hydrostatic Test (eff.)						5,9	barg	
11	DESIGN DATA				Corr. Allow.	Shell / Heads					1	mm	
12	DESIGN DATA				Joint Eff.	Shell / Heads					1		
13	DESIGN DATA				Code:						ASME		
14	DESIGN DATA				Radiograph:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No						
15	DESIGN DATA				Stress Relieve:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No						
16	DESIGN DATA				Seismic:	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X					
17	DESIGN DATA				Wind Load:	No aplicat		N/m ²					
18	DESIGN DATA				Hydrostatic Test (eff.)		5,9	barg					
19	MATERIALS				Thickness	Mat'l Class							
20	MATERIALS				Shell	5 mm	S31603						
21	MATERIALS				Heads	5 mm	S31603						
22	MATERIALS				Lining	mm							
23	MATERIALS				Nozzle Necks								
24	MATERIALS				Flanges								
25	CONSTRUCTION					Dia.	L / H	Material					
26	CONSTRUCTION				Shell	2 m		S31603					
27	CONSTRUCTION				Heads	2 m		S31603					
28	CONSTRUCTION				Insulation:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No						
29	CONSTRUCTION				Fireproofing:	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X					
30	CONSTRUCTION				Sandblast:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No						
31	CONSTRUCTION				Paint:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No						
32	CONSTRUCTION				Wt. Empty:			1826 kg					
33	CONSTRUCTION				Wt. Full Water:			22021 kg					
34	NOZZLES				Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating				
35	NOZZLES				Entrada procés	AA	1	5	150 #				
36	NOZZLES				Fase aquosa	AB	1	3	150 #				
37	NOZZLES				Fase orgànica	AC	1	5	150 #				
38	NOZZLES				Mesurador nivell	AD	1	2	150 #				
39	NOZZLES				Boca d'home	AE	1	24	150 #				
40	NOZZLES												
41	SCHEMATIC												
42	SCHEMATIC												
43	SCHEMATIC												
44	SCHEMATIC												
45	SCHEMATIC				NOTES:								
46	SCHEMATIC												
47	SCHEMATIC												
48	SCHEMATIC												
49	SCHEMATIC												
0	11/05/2020	Itmar A.G.	Myroslav P.		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química								
REV.	DATE	PREP.	APPR.										

4.4.3. Condensador parcial E-101

El condensador parcial E-101 rep el corrent de cap de columna en forma vapor. La seva funció es condensar-lo parcialment, ja que en aquest corrent hi ha una fracció de gasos incondensables. S'han utilitzat les següents dades inicials a l'hora de dissenyar-lo:

Taula 4.43. Dades inicials pel disseny del condensador parcial E-101

Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$7,9 \cdot 10^4$
Temperatura entrada procés (°C)	73
Temperatura sortida procés (°C)	62
Fracció de vapor sortida procés	0,02
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	6
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5

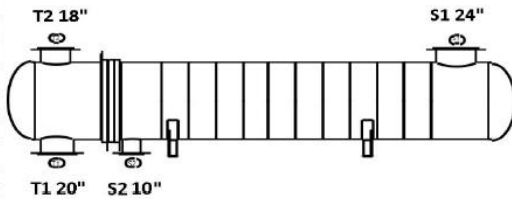
Degut a la complexitat dels mètode bibliogràfic per a calcular aquest condensador, es va optar per simular-lo al software *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25), on utilitzant el mode de *Design*, es van obtenir les dades de transferència de calor i la geometria del E-101:

Taula 4.44. Resultats del disseny amb *EDR* del condensador parcial E-101

Paràmetres	Valor
Calor intercanviada (kW)	$1,0 \cdot 10^4$
Àrea (m ²)	543
U (W/m ² ·K)	$7,8 \cdot 10^2$
Nombre de tubs	1302

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació d'aquest condensador:

1	ITEM No.: E-101				
2	Service: Condensar producte cap de columna C-101				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal		Total surface / unit:	543 (m ²)
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side		Tube side
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet
8	Fluid name		Fluid procés		Aigua refrigeració
9	Fluid total flow	kg/h	79314		883099
10	Vapour	kg/h	79314	1091	0 0
11	Liquid	kg/h	0	78222	883099 883099
12	Steam	kg/h	0	0	0 0
13	Water	kg/h	0	0	883099 883099
14	Temperature	°C	73	62	28 38
15	Density (L/V)	kg/m ³	/ 3,12	881,2 / 2,59	997,75 / 995,19 /
16	Viscosity (L/V)	cP	/ 0,0097	0,379 / 0,011	0,8366 / 0,6785 /
17	Vapour molecular weight		73,94	60,24	
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	/ 0,3134	0,502 / 0,303	1,001 / 1,0003 /
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/ 0,014	0,126 / 0,014	0,52 / 0,531 /
20	Latent heat	kcal/kg	91,94 / 115,13		
21	Inlet pressure	barg	0,2		5,1
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	9,14	3,25	1,02 1,02
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,1	0,02	0,1 0,1
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0003		0,0004
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	8836079		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 445,5			Clean: 673,6
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure barg	4,1	5,9		
30	Design temperature °C	153	77		
31	No. of passes	1	2		
32	Stress relief	No	No		
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance mm	1	1		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Entrada vapor	S1	24"	150 #
37		Sortida condensat	S2	10"	150 #
38		Entrada servei	T2	18"	150 #
39		Sortida servei	T1	20"	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS			SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	1397	8	S31603	
48	Channel:			S31603	
49	Tubesheets:		82,55	S31603	
50	Baffles: n° / mat.	11		S31603	
51	Baffles spacing:	419,1		mm.	
52					
53	Tubes:				
54	N°	1302			
55	OD	1	inches		
56	BWG:	16			
57	Length	5000	mm.		
58	Pitch:	32	mm	△	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	Enginyeria bàsica	28/04/2020	Itmar A.G.	Roger C.D	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	



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

4.4.4. Condensador parcial E-102

La funció d'aquest condensador parcial es refredar el corrent gasos que surt del E-101 fins als 40°C, tot condensant al mateix temps una part d'aquest. El corrent de sortida d'aquest condensador s'uneix a l'evaporador flash F-101 on s'extreuen del procés tots aquests gasos incondensables. Les dades inicials utilitzades han estat les següents:

Taula 4.45. Dades inicials utilitzades pel disseny del condensador parcial E-102

Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$1,1 \cdot 10^3$
Temperatura entrada procés (°C)	64
Temperatura sortida procés (°C)	40
Fracció de vapor sortida procés	0,44
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	33
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	5,8
Nombre de passos per tubs	8
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5

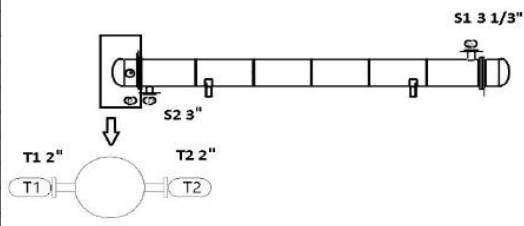
S'ha utilitzat el mateix procediment que el E-101 per a dissenyar-lo: el mode *Design* del software *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25). Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula 4.46:

Taula 4.46. Resultats del disseny amb *EDR* del condensador parcial E-102.

Paràmetres	Valor
Calor intercanviada (kW)	$1,1 \cdot 10^3$
Àrea (m ²)	52
U (W/m ² ·K)	$3,6 \cdot 10^2$
Nombre de tubs	132

A continuació, s'adjunta la fulla d'especificació d'aquest equip:

1	ITEM No.: E-102					
2	Service: Condensar vapors del condensador E-101					
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horitzontal		Total surface / unit: 51,9 (m ²)		
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet		Outlet	
8	Fluid name		Fluid procés		Aigua refrigeració	
9	Fluid total flow	kg/h	1110		19014	
10	Vapour	kg/h	1110	483	0	0
11	Liquid	kg/h	0	627	19014	19014
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	19014	19014
14	Temperature	°C	64	41	28	33
15	Density (L/V)	kg/m ³	/ 2,36	903,9 / 2,18	997,75 /	996,63 /
16	Viscosity (L/V)	cP	/ 0,0111	0,622 / 0,012	0,8366 /	0,7498 /
17	Vapour molecular weight		54,47	47,38		
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	/ 0,309	0,519 / 0,286	1,001 /	1,0006 /
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/ 0,015	0,139 / 0,014	0,52 /	0,526 /
20	Latent heat	kcal/kg	124,03 / 541,74			
21	Inlet pressure	barg	0,2		5,9	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	3	0,6	2	1,06
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,1	0,01	0,2	0,2
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0002		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	95138			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 255,1			Clean: 306,7	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure barg	4,1	6,9			
30	Design temperature °C	153	71			
31	No. of passes	1	8			
32	Stress relief	No	No			
33	Radiograph.					
34	Corrosion allowance mm	1	1			
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	
36		Entrada vapor	S1	3 1/3"	150 #	
37		Sortida condensat	S2	3"	150 #	
38		Entrada servei	T2	2"	150 #	
39		Sortida servei	T1	2"	150 #	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.		
47	Shell:	457	5	S31603		
48	Channel:			S31603		
49	Tubesheets:		34,92	S31603		
50	Baffles: nº / mat.	5		S31603		
51	Baffles spacing:	844,55		mm.		
52						
53	Tubes:					
54	Nº	132				
55	OD	1	inches			
56	BWG:	16				
57	Length	5000	mm.			
58	Pitch:	32	mm	△		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0	Enginyeria bàsica	30/04/2020	Itmar A.G. Myroslav P.			
REV.		DATE	PREP.	APPR.		



4.4.5. Refredador E-103

El cabal condensat al condensador parcial E-101 es enviat al refredador E-103, on es refreda fins a la temperatura de 40°C. En aquest equip no té lloc cap canvi de fase. Les dades inicials utilitzades han estat les següents:

Taula 4.47. Dades inicials utilitzades pel disseny del refredador E-103.

Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$7,8 \cdot 10^4$
Temperatura entrada procés (°C)	62
Temperatura sortida procés (°C)	40
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	5,8
Nombre de passos per tubs	8
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5

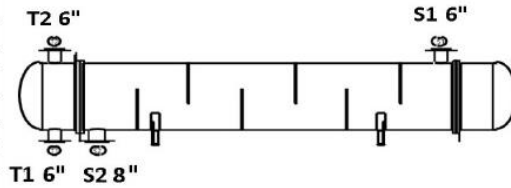
Aquest refredador s'ha calculat mitjançant dos mètodes: un d'ells es a partir del software *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25), amb el mode *Design*, i l'altre es seguint el mètode proposat al llibre *Coulson and Richardson* (ref. 20). El procediment seguit d'aquest llibre es troba explicat a l'annex A.5. A continuació s'adjunta una taula comparativa dels resultats obtinguts amb els dos mètodes:

Taula 4.48. Comparativa dels resultats obtinguts amb els 2 mètodes pel E-103.

Paràmetres	Aspen EDR	Mètode Kern
Calor intercanviada (kW)	$9,6 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$
Àrea (m ²)	322	86
U (W/m ² ·K)	$6,1 \cdot 10^2$	$8,7 \cdot 10^2$
Nombre de tubs	825	216

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació del refredador E-103, que s'ha completat a partir dels resultats obtinguts mitjançant l'*Aspen EDR*:

1	ITEM No.: E-103				
2	Service: Refredar condensat de E-101				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal	Total surface / unit:	322 (m ²)	
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side		
7			Tube side		
8			Inlet	Outlet	
9	Fluid name		Fluid procés		
10	Fluid total flow		Aigua refrigeració		
11	kg/h		78204		
12	kg/h		0	0	
13	kg/h		78204	78204	
14	kg/h		0	0	
15	kg/h		0	0	
16	°C		62	40	
17	kg/m ³		881,97 /	911,12 /	
18	cP		0,3114 /	0,3798 /	
19	kcal/kg.°C		0,5018 /	0,4686 /	
20	kcal/h.m.°C		0,127 /	0,135 /	
21	kcal/kg				
22	barg		0,2		
23	m/s		0,17	0,15	
24	bar		0,1	0,03	
25	h.m ² .°C/kcal		0,0004		
26	(kcal/h)		822513		
27	Fouled: 363		Clean: 527,4		
28	CONSTRUCTION PER SHELL				
29	Design pressure	barg	4,1	6,9	
30	Design temperature	°C	153	77	
31	No. of passes		1	8	
32	Stress relief		No	No	
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance	mm	1	1	
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Entrada condensat	S1	6"	150 #
37		Sortida condensat	S2	8"	150 #
38		Entrada servei	T2	6"	150 #
39		Sortida servei	T1	6"	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS			SKETCH	
46	Shell:	Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47		1041	8	S31603	
48	Channel:			S31603	
49	Tubesheets:		49,21	S31603	
50	Baffles: n° / mat.	6		S31603	
51	Baffles spacing:	698,5		mm.	
52					
53	Tubes:				
54	N°	825			
55	OD	1	inches		
56	BWG:	16			
57	Length	5000	mm.		
58	Pitch:	32	mm	△	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	Enginyeria bàsica	28/04/2020	Itmar A.G.	Itmar A.G.	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	



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

4.4.6. Reboiler R-101 i R-102

Per a evaporar la quantitat de vapor desitjada de fons de columna es necessita un reboiler. En el cas particular de la columna C-101, el reboiler requerit és tan gran, que es va decidir dividir-lo en dos reboilers termosifó vertical més petits (R-101 i R-102). Aquests són iguals. El disseny realitzat pertany a un dels dos reboilers mencionats. Com que tenen les mateixes característiques, si es vol saber la el cabal total evaporat, només s'ha de multiplicar per dos els valors que es proporcionaran com a resultats obtinguts. Com a dades inicials pel disseny s'han utilitzat les següents:

Taula 4.49. Dades inicials utilitzades pel disseny del reboiler R-101 i R-102.

Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$4,9 \cdot 10^5$
Temperatura entrada procés (°C)	133
Temperatura sortida procés (°C)	131
Pressió entrada procés (barg)	0,62
Temperatura entrada vapor d'aigua (°C)	158
Temperatura sortida condensat (°C)	158
Pressió entrada vapor (barg)	4,9
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	4

Aquest reboiler termosifó vertical s'ha calculat mitjançant dos mètodes: un d'ells es a partir del software *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25), amb el mode *Design*, i l'altre es seguint el mètode proposat al llibre *Process heat transfer* (ref. 9). El procediment seguit d'aquest llibre es troba explicat a l'annex A.3. A continuació s'adjunta una taula comparativa dels resultats obtinguts amb els dos mètodes:

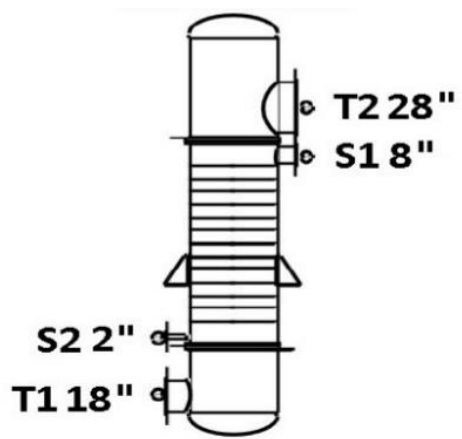
Taula 4.50. Comparativa dels resultats obtinguts amb els 2 mètodes pels R-101 i R-102

Paràmetres	Aspen EDR	Mètode Kern
Calor intercanviada (kW)	$3,0 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^3$
Àrea (m ²)	258	242
U (W/m ² ·K)	$7,1 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$
Nombre de tubs	828	766

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació amb els valors extrets del simulador per a un reboiler:

1	ITEM No.: R-101 & R-102				
2	Service: Reboiler columna C-101				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Vertical	Total surface / unit:		258 (m ²)
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side		Tube side
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet
8	Fluid name		Steam		Fluid procés
9	Fluid total flow	kg/h	5224		492496
10	Vapour	kg/h	5224	0	0 26889
11	Liquid	kg/h	0	5224	492496 465607
12	Steam	kg/h	5224	0	0 0
13	Water	kg/h	0	5224	0 0
14	Temperature	°C	158	158	133 131
15	Density (L/V)	kg/m ³	/ 3,04	909,53 /	915,79 / 918,8 / 2,6
16	Viscosity (L/V)	cP	/ 0,0144	0,1864 /	0,3329 / 0,338 / 0,011
17	Vapour molecular weight		18,01		55,62
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	/ 0,5815		1,017 / 0,3699 / 0,367 / 0,323
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/ 0,027		0,592 / 0,121 / 0,121 / 0,061
20	Latent heat	kcal/kg	497,04 / 497,09		107,29 / 106,49
21	Inlet pressure	barg	4,9		0,7
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	3,37	1,08	0,91 9,51
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,05	0,01	0,08 0,08
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0002		0,0006
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	2598742		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m².°C)	Fouled: 606			Clean: 1312
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure barg	5,9	4,1		
30	Design temperature °C	193	153		
31	No. of passes	1	1		
32	Stress relief	No	No		
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance mm	1	1		
35		Service	Mark	Dia.	Rating
36	Nozzles	Entrada servei	S1	8"	150 #
37		Sortida servei	S2	2"	150 #
38		Sortida procés	T2	28	150 #
39		Entrada procés	T1	18	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	1016	8	S31603	
48	Channel:			S31603	
49	Tubesheets:		49,21	S31603	
50	Baffles: n° / mat.	14		S31603	
51	Baffles spacing:	254		mm.	
52					
53	Tubes:				
54	N°	828			
55	OD	1	inches		
56	BWG:	16			
57	Length	4000	mm.		
58	Pitch:	32	mm	△	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	Enginyeria bàsica	28/04/2020	Itmar A.G.	Itmar A.G.	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	

SKETCH



4.4.7. Bomba P-101

S'ha seleccionat la bomba P-101 pel seu disseny. El seu disseny s'ha realitzat amb el llibre *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants* (ref. 13) Aquesta s'encarrega de bombejar el producte de fons de columna (P-4''-7-S31603) fins a un tanc d'emmagatzematge. Aquest cabal està compost per una barreja d'aigua i àcid acètic. A la taula 4.51. s'observen els valors inicials a partir dels quals s'ha realitzat el disseny:

Taula 4.51. Dades inicials utilitzades pel disseny de la bomba P-101

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m ³ /h)	66
Densitat fluid (kg/ m ³)	9,2·10 ²
Viscositat (cP)	0,34
Diferència d'altures impulsíó-aspiració (m)	3,5
Diferència de pressions impulsíó-aspiració (bar)	12
Diàmetre canonada aspiració (DN)	200
Longitud canonada aspiració (m)	6
Diàmetre canonada impulsíó (DN)	100
Longitud canonada impulsíó (m)	50

El tutor va indicar quins elements aportaran una pèrdua de càrrega menor tan a l'aspiració com a la impulsíó i les unitats que hi ha instal·lades (ref. 29). A la taula 4.52. es troben tots els elements resumits:

Taula 4.52. Resum elements que provoquen una ΔP .

Elements ΔP menors	Unitats aspiració	Unitats impulsió
T (rectes) DN 200	2	0
Entrada a altres equips DN 200	1	0
Reducció DN 200 a DN 150	1	0
Reducció DN 150 a DN 100	1	0
Vàlvula comporta DN 150	1	0
Vàlvula comporta DN 100	0	4
Ampliació DN 65 a DN 100	0	1
Colzes (90°) DN 100	0	5
Colzes (45°) DN 100	0	3
Vàlvula retenció DN 100	0	2
Placa d'orifici DN 100	0	1
Vàlvula de control DN 100	0	1

Seguint el procediment descrit en l'annex A.8., extret de la (ref. 13), es dissenya una bomba capaç de vèncer les pèrdues de càrrega associades i l'altura requerida. A partir dels resultats obtinguts, es busca una bomba comercial que compleixi els requisits.

La P-101 és una bomba centrífuga multi etapa, concretament de 7 etapes. A la taula 4.53. s'inclouen les característiques més importants de la bomba seleccionada:

Taula 4.53. Taula amb les característiques més importants de la bomba P-101.

Paràmetre	Valor
Cabal màxim (m ³ /h)	72,5
H (m)	153
Rodet (mm)	272
Potència requerida (kW)	40
NPSH disponible (m)	4,1
NPSH requerit (m)	1
Eficiència (%)	75

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació de la bomba comercial seleccionada (ref. 32):

1	Nº OF PUMPS	RUN:	SPARE:
2	SERVICE		
3	ITEM	P-101	
4			
5	FLUID PUMPED	Àcid acètic - Aigua	
6	OPER. TEMP	133	°C
7	DENSITY	916	kg/m3
8	VISCOSITY	0,33	cP
9	VAPOR PRESS.	1,6	bar
10	NORM. CAPACITY	66	m3/h
11	MAX. CAPACITY	72,5	m3/h
12			
13	SUCTION CONDITIONS		
14	TOTAL SUCT. PR.,	0,64	barg
15	NPSH (m.w.c.)	4,12	m
16			
17	DISCHARGE CONDITIONS		
18	LIQUID HEAD	0,63	barg
19	TOTAL DISCH. PR.,	13	barg
20	DIFF. PRESSURE	12,4	barg
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	153	m
22	PUMP REQUIREMENTS		
23	TYPE PUMP	Centrifuga multietapa horitzontal	
24	ESTIMATED EFF.	72	%
25	ESTIMATED Rot. freq.	1450	min-1
26	ESTIMATED Power	40	kW
27	TYPE DRIVER	Motor	
28	STEAM (abs.)	barg	°C
29	ELECTRICITY	V: 400	PH: 50 Hz
30			
31			
32	PUMP MATERIALS		
33	CASE	Especificat pel venedor	
34	IMPELLER	Especificat pel venedor	
35	SHAFT	Especificat pel venedor	
36	SHAFT SLEEVE	Especificat pel venedor	
37	SEAL/PACKING	Especificat pel venedor	
38	PISTON	Especificat pel venedor	
39			
40	Nozzles	Mark	Nº
41	Suction		
42	Discharge		
43			
44			
45	0	20/05/2020	Itmar A. G. Roger C. D.
46	REV.	DATE	PREP. APPR.
47			

Pump Curve

SIHimulti 100 A Baureihen / series MSL, MSM, MSH	Nennrehzahl / nominal speed 1450 min⁻¹	FLOWSERVE <small>IMLBERN® Pumps</small>
---	---	---

max. Laufraddurchmesser = 272 mm
max. Impeller diameter

Stufen-
zahl

9
8
7
6
5
4
3
2

Gen. Arr. Drawin

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

4.4.8. Disseny de la columna C-201

El disseny de la columna C-201 es realitza de forma conjunta amb el simulador (ref. 24). El fet de que tracta una columna de rebliment dificulta el càlcul ja que de rebliments n'hi ha de molts tipus i cada un afecta d'una manera diferent a cada separació. De la bibliografia (ref. 10),(ref. 14) es pot extreure diverses conclusions: la millor manera de dissenyar una columna de rebliment és tenint dades reals de la separació que es vol realitzar, les dades experimentals són úniques per cada rebliment i mescla a separar. La bibliografia aconsella usar valors proposats pels autors.

Ja que la mescla a destil·lar conté un azeotrop és complicat aplicar qualsevol mètode de càlcul a la columna, per aquest motiu es segueixen les recomanacions de la bibliografia i es dissenya la columna en el simulador a partir de les dades inicials proporcionades.

En les següents taules es llisten els diferents paràmetres inicial per al disseny de la columna.

Taula 4.54. Valors inicials pel disseny de la columna C-201

Paràmetre	Valor
Nombre d'etapes reals	30
Etapa d'alimentació	17
Tipus de rebliment	Berl Saddle
Mida rebliment	1 in
HETP del rebliment	1,5 ft

Taula 4.55. Valors inicials pel disseny mecànic de la columna C-201

Paràmetre	Valor
Alçada columna C-101 (m)	13,3
Diàmetre columna C-101 (m)	0,3
Densitat líquid (kg/m ³)	932
Temperatura de disseny (°C)	142
Material	S31603
Valor de tensió màxima permesa del material (S) (MPa)	115
Densitat material (kg/m ³)	7930

Seguint el procediment descrit a l'annex A.7. (ref. 16) es van obtenir els següents resultats:

Taula 4.56. Resultats disseny mecànic C-201

Paràmetre	Valor
Pressió de disseny (barg)	2,5
Pressió prova hidràulica (barg)	3,6
Gruix carcassa cilíndrica (mm)	5
Gruix capçals (mm)	5
Pes columna buida (kg)	502
Pes total (kg)	$1,4 \cdot 10^3$

4.4.9. Decantador A-201

Per a separar les dues fases líquides, es dissenya un decantador. A la taula 4.57. es mostren les dades inicials necessàries per a dissenyar-lo:

Taula 4.57. Valors inicials per a dissenyar el decantador A-201.

Propietat	Valor
Cabal de la fase orgànica (m ³ /min)	1,4
Cabal de la fase aquosa (m ³ /min)	4,4·10 ⁻⁵
Fracció d'emplenament	0,9
L/D	1,6

Seguint el càlcul de l'annex A.6. (ref. 21) s'obtenen uns resultats no satisfactoris a causa dels cabals petits. L'acumulador és sobredimensionat per tal de que sigui possible la seva construcció i la seva mida no sigui problema per als transmissors que s'hi instal·laran. Els resultats obtinguts són els següents:

Taula 4.58. Resultats disseny decantador A-201

Propietat	Valor
Longitud del decantador (m)	1,2
Diàmetre del decantador (m)	0,75
Volum total (m ³)	0,5

4.4.9.1. Disseny mecànic del decantador A-201

Un cop es coneix la geometria del decantador i el material amb el que es construirà (S31603), es dissenya mecànicament seguint el procediment explicat a l'annex A.7. (ref. 16) A continuació, s'adjunten a la taula 4.59. els resultats obtinguts:

Taula 4.59. Resultats disseny mecànic del decantador A-201

Propietat	Valor
Pressió de disseny (barg)	2,5
Temperatura de disseny (°C)	142
Gruix cilindre (mm)	5
Gruix caps (mm)	5
Pressió prova hidràulica (barg)	3,6
Pes decantador buit (kg)	1,3·10 ²
Pes total (kg)	8,2·10 ²

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	GENERAL					Manufacturer:					
2	Item: A-201										
3	Description: Acumulador de reflux de la columna C-201					Position:		X Horiz.		Vertical	
4	Product:					<p style="text-align: center;">DRUM SKETCH</p>					
5	Operating Pressure (eff.)		0,2 barg								
6	Operating Temperature		40 °C								
7	Liquid Density		905 kg/m ³								
8	Design Pressure (eff.)		2,5 barg								
9	Design Temperature		142 °C								
10	Hydrostatic Test (eff.)		3,6 barg								
11	Corr. Allow. Shell / Heads		1 mm								
12	Joint Eff. Shell / Heads		1								
13	Code: ASME secció VIII divisó										
14	Radiograph:		X Yes No								
15	Stress Relieve:		X Yes No								
16	Seismic:		Yes No X								
17	Wind Load:		No aplicat N/m ²								
18	Hydrostatic Test (eff.)		11 barg								
19	Thickness		Mat'l Class								
20	Shell 5 mm		S31603								
21	Heads 5 mm		S31603								
22	Lining		mm								
23	Nozzle Necks										
24	Flanges										
25	Dia.		L / H		Material						
26	Shell 0,75 m				S31603						
27	Heads 0,75 m				S31603						
28	Insulation:		X Yes No								
29	Fireproofing:		Yes No X								
30	Sandblast:		X Yes No								
31	Paint:		X Yes No								
32	Wt. Empty:				1826 kg						
33	Wt. Full Water:				22021 kg						
34	Service		Mark N°		Size (in) Rating						
35	Entrada procés		A1 1		1/2 150 #						
36	Fase aquosa		A3 1		1/4 150 #						
37	Fase orgànica		A2 1		1/2 150 #						
38	Mesurador nivell		A4 1		2 150 #						
39	NON										
40	Z										
41	L										
42	L										
43	S										
44	C										
45	H										
46	E										
47	D										
48	U										
49	L										
					NOTES:						
0	05/05/2020		Myroslav P.		Itmar A. G.						
REV.	DATE		PREP.		APPR.						
					UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						

4.4.10. Reboiler R-201

El reboiler R-201 és l'únic reboiler de la columna C-201, és un termosifó vertical el qual s'ha dissenyat mitjançant 2 mètodes, a mà seguint el mètode Kern (ref. 9) i usant el simulador Aspen EDR (ref. 25). En ambdós casos el disseny s'ha realitzat amb un sobredimensionament del 20%.

A continuació es troba la taula amb les dades inicials del reboiler a dissenyar.

Taula 4.60. Dades inicials utilitzades pel disseny del reboiler R-201.


Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$7,8 \cdot 10^3$
Temperatura entrada procés (°C)	121
Temperatura sortida procés (°C)	121
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada vapor d'aigua (°C)	159
Temperatura sortida condensat (°C)	159
Pressió entrada vapor (barg)	5
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	1,5
Diàmetre nominal dels tubs (mm)	25,4

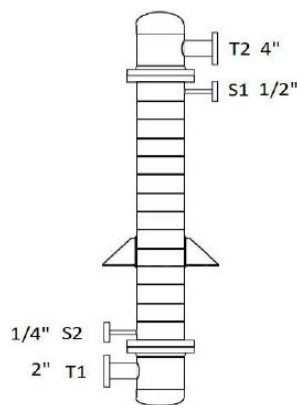
Seguint el procediment mostrat a l'annex A.3 (ref. 9), s'elabora la taula 4.61 amb els resultats principals extrets d'aquest mètode. També s'hi inclouran els resultats extrets amb el *EDR*.

Taula 4.61. Comparativa dels resultats obtinguts amb els 2 mètodes pel R-201.

Paràmetres	Aspen EDR	Mètode Kern
Calor intercanviada (kcal/h)	$1,33 \cdot 10^4$	$1,62 \cdot 10^4$
Àrea (m ²)	3,3	2,51
U (kcal/m ² ·h C)	$6,4 \cdot 10^2$	$1,70 \cdot 10^3$
Nombre de tubs	29	21

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: R-201					
2	Service: Evaporar àcid acètic					
3	Type: Carcasa i tubs	Position: Vertical	Total surface / unit: 3,3 (m ²)			
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet	
8	Fluid name		Steam		Acetic acid	
9	Fluid total flow		27		7808	
10	Vapour		27	0	0 117	
11	Liquid		0	27	7808 7691	
12	Steam		27	0	0 0	
13	Water		0	27	0 0	
14	Temperature		159,4	158,29	121,5 121,49	
15	Density (L/V)		/ 3,05	909,01 /	932,31 / 933,42 / 1,98	
16	Viscosity (L/V)		/ 0,0145	0,1858 /	0,3643 / 0,3659/0,0103	
17	Vapour molecular weight		18,01		54,03	
18	Specific heat (L/V)		/ 0,5798	1,0172 /	0,3661 / 0,3649 / 0,32	
19	Thermal conductivity (L/V)		/ 0,027	0,592/	0,124/ 0,123 / 0,057	
20	Latent heat		496,89	496,91	113,12 112,84	
21	Inlet pressure		5		0,2	
22	Velocity (allowable / calculated)		0,39 / 0,17		1,4 / 0,79	
23	Pressure drop (allowable / calculated)		0,05 / 0,003		0,041 / 0,009	
24	Fouling resistance		0,0002		0,0004	
25	Heat exchanged:		(kcal/h)		13321	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m².°C)		Fouled: 634,6	Clean: 1090,9		
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME	
29	Design pressure	barg	8	2,5		
30	Design temperature	°C	200	142		
31	No. of passes		1	1		
32	Stress relief					
33	Radiograph.		yes	yes		
34	Corrosion allowance	mm	1	1		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	
36		Steam in.	S1	1/2"	150 #	ANSI slip on
37		Condensate out.	S2	1/4"	150 #	ANSI slip on
38		Process in.	T1	2"	150 #	ANSI slip on
39		Process out.	T2	4"	150 #	ANSI slip on
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.		
47	Shell:	214	5,54	S31603		
48	Channel:			S31603		
49	Tubesheets:			S31603		
50	Baffles: n° / mat.		13	S31603		
51	Baffles spacing: 101,6 mm.					
52						
53	Tubes:					
54	N°	29				
55	OD	1 inch				
56	BWG:	16				
57	Length	1500 mm.				
58	Pitch:	31,75 mm Δ				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0	Enginyeria bàsica	04/05/2020	Myroslav P.	Roger C. D.	 <p>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química</p>	
REV.		DATE	PREP.	APPR.		



4.4.11. Condensador E-201

El condensador E-201 es el condensador de la columna C-201, apart de condensar l'intercanviador subrefreda fins a 40°C. És un intercanviador de tipus BEM en posició horitzontal amb la condensació pel costat de carcassa. El disseny s'ha efectuat mitjançant 2 mètodes, a mà seguint el mètode del *Coulson and Richardson* (ref. 20), explicat al annex A.4, i usant el simulador Aspen EDR (ref. 25). En ambdós casos el disseny s'ha realitzat amb un sobredimensionament del 20%.

A continuació es troba la taula amb les dades inicials del condensador a dissenyar.

Taula 4.62. Dades inicials utilitzades pel disseny del refredador E-201

Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$1,1 \cdot 10^2$
Temperatura entrada procés (°C)	74
Temperatura sortida procés (°C)	40
Pressió entrada procés (barg)	0,14
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	5,8
Nombre de passos per tubs	6
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	2,5
Diàmetre nominal dels tubs (mm)	25,4
Pitch (mm)	31,75 triangular 30°

Seguint el procediment mostrat a l'annex A.4 (ref. 20), s'elabora la taula 4.63 amb els resultats principals extrets d'aquest mètode. També s'hi inclouran els resultats extrets amb el *EDR*.

Taula 4.63. Comparativa dels resultats obtinguts amb els 2 mètodes pel E-201

Paràmetres	Aspen EDR	Mètode C&R
Calor intercanviada (kcal/h)	$1,4 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$
Àrea (m ²)	9,9	3,59
U (kcal/m ² ·h C)	$1,9 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$
Nombre de tubs	51	18

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: C-201					
2	Service: Condensar i refredar vapor de acetat de vinil / aigua / acetat d'etil					
3	Type:	Carcassa i tubs	Position:	Horitzontal	Total surface / unit: 9,9 (m ²)	
4	No. Shell:	1				
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Process		Cooling water	
9	Fluid total flow	kg/h	111		1377	
10	Vapour	kg/h	111	0	0	0
11	Liquid	kg/h	0	111	1377	1377
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	1377	1377
14	Temperature	°C	73,6	40	28	38
15	Density (L/V)	kg/m ³	856,27 / 2,98	905,48 /	997,75 /	995,19 /
16	Viscosity (L/V)	cP	0,2698 / 0,0096	0,3915 /	0,8366 /	0,6784 /
17	Vapour molecular weight		74,25			
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,5147 / 0,3214	0,4845 /	1,001 /	1,0003 /
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,113 / 0,013	0,132 /	0,52 /	0,531 /
20	Latent heat	kcal/kg	93,14	118,55		
21	Inlet pressure	barg	0,145		6	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	1,04 / 0,51		0,13 / 0,11	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,048 / 0,004		0,051 / 0,008	
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0002		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	13774			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m².°C)	Fouled: 185,9			Clean: 211,9	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME	
29	Design pressure	barg	2,5	8		
30	Design temperature	°C	142	100		
31	No. of passes		1	6		
32	Stress relief					
33	Radiograph.		yes	yes		
34	Corrosion allowance	mm	1	1		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	
36		Cooling water in.	T3	3/4"	150 #	ANSI welding neck
37		Cooling water out.	T4	3/4"	150 #	ANSI welding neck
38		Proces vapour	S3	1"	150 #	ANSI welding neck
39		Proces condensate	S4	1/2"	150 #	ANSI welding neck
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.		
47	Shell:	316	8	S31603		
48	Channel:			S31603		
49	Tubesheets:			S31603		
50	Baffles: n° / mat.		46	S31603		
51	Baffles spacing: 50,8 mm.					
52						
53	Tubes:					
54	N°		51			
55	OD		1 inch			
56	BWG:		16			
57	Length		2500 mm.			
58	Pitch:		31,75 mm Δ			
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0	Enginyeria bàsica	04/05/2020	Myroslav P.	Roger C. D.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	
REV.		DATE	PREP.	APPR.		

4.4.12. Bomba P-201 A/B

S'ha seleccionat la bomba P-201 A/B pel seu disseny. Aquesta s'encarrega de bombejar el producte de fons de columna (P-1/2''-2-S31603) fins a l'alimentació de la columna C-101. Aquest cabal està compost per una barreja d'aigua i àcid acètic. A la taula 4.64. s'observen els valors inicials a partir dels quals s'ha realitzat el disseny:

Taula 4.64. Dades inicials utilitzades pel disseny de la bomba P-201.

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m^3/h)	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Densitat fluid (kg/m^3)	$9,3 \cdot 10^2$
Viscositat (cP)	0,36
Diferència d'altures impulsíó-aspiració (m)	-1
Diferència de pressions impulsíó-aspiració (bar)	0,44
Diàmetre canonada aspiració (m)	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Longitud canonada aspiració (m)	5
Diàmetre canonada impulsíó (m)	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Longitud canonada impulsíó (m)	45

El tutor va indicar quins elements aportaran una pèrdua de càrrega menor tan a l'aspiració com a la impulsíó i les unitats que hi ha instal·lades (ref. 29). A la taula 4.65. es troben tots els elements resumits:

Taula 4.65. Resum elements que provoquen una pèrdua de càrrega.

Elements ΔP menors	Unitats aspiració	Unitats impulsíó
T (rectes) DN 40	1	0
Colzes (90°) DN 40	2	0
Vàlvula de comporta DN 40	1	0
Filtre Y DN 40		
Entrada a altres equips DN 40	1	1
T-(angle) DN 25	0	3
Vàlvula comporta DN 25	0	5
Ampliació $\frac{3}{4}$ " a 1"	0	1
Colzes (90°) DN 25	0	5

Colzes (45°) DN 25	0	3
Vàlvula retenció DN 25	0	1
Placa d'orifici DN 25	0	1
Vàlvula de control DN 25	0	1

Seguint el procediment descrit en l'annex A.8., extret de la (ref. 13), es dissenya una bomba capaç de vèncer les pèrdues de càrrega associades i l'altura requerida. A partir dels resultats obtinguts, es busca una bomba comercial que compleixi els requisits.

La P-201 és una bomba centrífuga d'una etapa. En la taula 4.64 es pot veure que el cabal que es vol bombejar és molt petit. Per aquest motiu la bomba P-201 estarà recirculant una certa quantitat de líquid per tal de poder assolir el cabal mínim establert pel fabricant. A la taula 4.66. s'inclouen les característiques més importants de la bomba seleccionada:

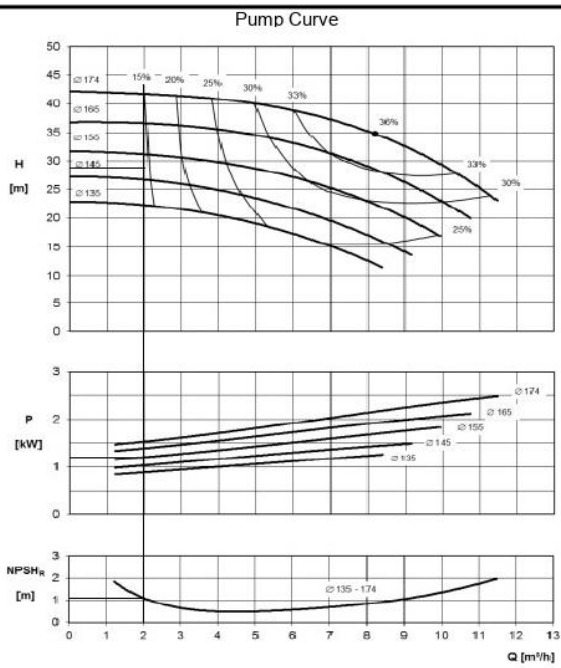
Taula 4.66. Característiques destacades de la bomba escollida.

Paràmetre	Valor
Model	CBS 025160
Cabal màxim (m ³ /h)	12
H (m)	37
Rodet (mm)	155
Potència requerida (kW)	1,2
NPSH disponible (m)	2,6
NPSH requerit (m)	1
Eficiència (%)	14

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació de la bomba comercial seleccionada (ref. 32):

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	RUN: 1	SARE: 1
2	SERVICE	Bombeig de fondos C-201	
3	ITEM	P-201	
4			
5	FLUID PUMPED	Àcid acètic - Aigua	
6	OPER. TEMP	121	°C
7	DENSITY	932	kg/m3
8	VISCOSITY	0,36	cP
9	VAPOR PRESS.		bar
10	NORM.CAPACITY	2	m3/h
11	MAX.CAPACITY	11,5	m3/h
12			
13	SUCTION CONDITIONS		
14	TOTAL SUCT.PR.,	0,18	barg
15	NPSH (m.w.c.)	2,63	m
16			
17	DISCHARGE CONDITIONS		
18	LIQUID HEAD	1,59	barg
19	TOTAL DISCH.PR,	0,62	barg
20	DIFF.PRESSURE	0,44	barg
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	28,5	m
22	PUMP REQUIREMENTS		
23	TYPE PUMP	Bomba centrífuga 1 etapa	
24	ESTIMATED EFF.	14 %	
25	ESTIMATED Rot.freq.	2900 min-1	
26	ESTIMATED Power	1,2 kW	
27	TYPE DRIVER	Motor	
28	STEAM (abs.)		barg °C
29	ELECTRICITY	V: 400	PH: 50 Hz
30			
31			
32	PUMP MATERIALS		
33	CASE	Especificat pel venedor	
34	IMPELLER	Especificat pel venedor	
35	SHAFT	Especificat pel venedor	
36	SHAFT SLEEVE	Especificat pel venedor	
37	SEAL/PACKING	Especificat pel venedor	
38	PISTON	Especificat pel venedor	
39			
40	Nozzles	Mark	Nº Dia. Rating
41	Suction		
42	Discharge		
43			
44			
45	0	20/05/2020	Itmar A.G. Roger C.D.
46	REV.	DATE	PREP. APPR.
47			



Gen. Arr. Drawin



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

4.4.13. Columna de destil·lació C-301

La columna C-301 va ser resolta íntegrament amb *Aspen Plus VII* (ref. 23) perquè el fet de que sigui una columna heteroazeotròpica i de més de dos components complica el procés d'aplicació del mètode FUEM. Això vol dir que les dades inicials per al càlcul dels balanços de matèria i del nombre de plats eren proporcionades de forma prèvia (ref. 29). Dit això el que sí s'ha realitzat és l'estudi hidrodinàmic de la columna. En la taula 4.67 s'observa les mides de la columna.

Taula 4.67. Dimensions C-301

Paràmetre	Valor
Alçada (m)	17,5
Diàmetre (m)	2

4.4.13.1. Disseny dels plats

Per a aquesta columna s'ha decidit utilitzar plats de vàlvula model *Ballast V-4 de Koch-Glitsch* (ref. 12). Aquest model de vàlvules tenen un orifici en forma de venturi per a minimitzar les pèrdues de càrrega dels plats de la columna. Aquests plats destaquen pel control de l'obertura de la vàlvula, ja que depèn del cabal de vapor. Això permet un bon contacte entre el líquid i el vapor maximitzant així la transferència de massa. A continuació es mostra una imatge del tipus de vàlvula utilitzat:



V-1, V-4

Figura 4.7. Vàlvula Ballast V-4 (ref. 12)

Per a realitzar el càlcul es van diferenciar tres plats crítics: el de cap de columna, el de fons i el de l'alimentació. D'aquesta manera s'obté informació del possible perfil que pot tenir la columna. En la taula 4.68. es poden veure les propietats necessàries per al càlcul:

Taula 4.68. Paràmetres inicials per al disseny dels plats de la C-301.

Paràmetre	Secció cap	Secció alimentació	Secció fons
Densitat líquid (lb/ft ³)	54	53,5	53
Densitat gas (lb/ft ³)	0,20	0,22	0,17
Cabal líquid (gpm)	80	$1,3 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^2$
Cabal gas (gpm)	$2,2 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
Espai entre plats (in)	18	18	18
Factor d'inundació	0,7	0,7	0,7

Seguint el procediment explicat a l'annex A.2. (ref. 12) es van dissenyar els plats per a les 3 seccions i a la vegada el diàmetre de la columna. El diàmetre obtingut en els plats va ser igual, per tant, la columna serà de diàmetre únic. Els resultats obtinguts es veuen en la taula 4.69:

Taula 4.69. Resultats disseny C-301

Paràmetre	Secció cap	Secció alimentacions	Secció fons
Àrea baixants (ft ²)	1,95	1,43	2,15
Àrea activa (ft ²)	12	13	12
Inundació del plat (%)	67	64	65
Eficiència del plat (%)	83	87	87

4.4.13.2. Disseny mecànic de la columna

Per a realitzar el disseny mecànic de la columna es va partir a partir de les següents dades inicials.

Taula 4.70. Valors inicials pel disseny mecànic de la columna C-301


Paràmetre	Valor
Alçada columna C-301 (m)	17,5
Diàmetre columna C-101 (m)	2
Densitat líquid (kg/m ³)	866
Temperatura de disseny (°C)	102
Pressió de disseny (barg)	3
Material	S31603
Valor S del material (MPa)	115
Densitat material (kg/m ³)	7930

Seguint el procediment descrit a l'annex A.7. (ref. 16) es van obtenir els següents resultats:

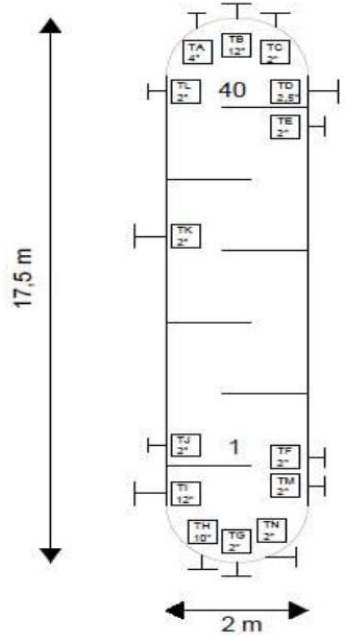
Taula 4.71. Resultats disseny mecànic C-301

Paràmetre	Valor
Pressió prova hidràulica (barg)	4,3
Gruix carcassa cilíndrica (mm)	5
Gruix capçals (mm)	5
Pes columna buida (kg)	4,2 · 10 ³
Pes total (kg)	5,0 · 10 ⁴

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	GENERAL		Manufacturer:									
2			Item:		C-301							
3			Service:		Columna de deshidratació							
4			Type:		Plats de vàlvula							
5			Product:		Acetat Vinil / Agua / Acetat/dehid							
6			Temper.:		82 °C							
7			Pressure:		0,35 barg							
8			Liquid Density:		849 kg/m ³							
9			Liquid Viscosity:		0,25 cP							
10			Tray Number (Bottom Tray=No.1)		1							
11			Tower Inside Diameter:		2 m							
12			Tray Spacing:		0,46 m							
13			Max. ΔP per Tray:		0,03 bar							
14			Net Area/Downcomer:		2,8/0,31 m ²							
15			Valves, Bubble Caps / Tray:		185							
16			Perforations / Tray:		0							
17												
18			Des.Pr.(eff.):		3 barg							
19			Des.Temp.:		102 °C							
20			Liquid Density:		866 kg/m ³							
21			Design Range:		%							
22			Hydr.Test:		4.3 barg							
23			Code:		ASME secció VIII divisió I							
24			Corr.Allow.mm: Shell / Heads:		1.0 / 1.0 mm.							
25			Joint Efficiency:		100 %							
26			Stress.Rel.:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
27			Radiograph:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
28			Sandblast:		<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No							
29			Paint:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
30			Insulation:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
31			Fireproofing:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
32			Wind Load:		N/m ²							
33			Seismic:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No							
34			Wt.Empty:		4214 kg							
35			Wt.Full Water:		50113 kg							
36			Tray No.		Diam.	Spacing	Material					
37	T N		Thru 1 to 40		2 m	0,46 m	S31603					
38	R A		Thru to									
39	E A		Thru to									
40	Y R		Thru to									
41	S N		Contact Device:									
42	A			Bubble Caps	0							
43	S			Valves	185							
44	L			Perfor.	0							
45	S		Packing:	0								
46			Demister:	0								
47				Thick. (mm.)	Matl Class							
48	M A		Shell-Top									
49	T E		Intermed	5	S31603							
50	C E		Bottom	5	S31603							
51	R I		Head-Top									
52	F I		Intermed	5	S31603							
53	A L		Bottom	5	S31603							
54			Cone Section									
55			Cladding, Lining									
56												
57												
58												
59			Service	Mark	No.	Size (in)	Rating	Service	Mark	No.	Size (in)	Rating
60			PSV	TA	1	4	150 #	Connexió transmissor de nivell LT-3017	TM	1	2	150 #
61			Sortida cap de columna T-301	TB	1	12	150 #	Connexió transmissor de nivell LT-3017	TN	1	2	150 #
62			Transmissor de pressió PT-3009	TC	1	2	150 #					
63			Entrada del reflux de la T-301	TD	1	2 1/2"	150 #					
64			Connexió transmissor diferencial de pressió DPT-3005	TE	1	2	150 #					
65			Connexió transmissor diferencial de pressió DPT-3005	TF	1	2	150 #					
66			Sortida fons columna T-301	TG	1	2	150 #					
67			Sortida a reboiler de T-301	TH	1	10	150 #					
68			Entrada a columna T-301 del reboiler E-104	TI	1	12	150 #					
69			Transmissor de temperatura TT-3004	TJ	1	2	150 #					
70			Alimentació columna T-301	TK	1	2	150 #					
71			Transmissor de temperatura TT-3008	TL	1	2	150 #					
72			NOTES:									
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79	o	Enginyeria bàsica	14/05/2020	Roger C.D.	Myroslav P.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
80	REV.		DATE	PREP.	APPR.							
81												

TOWER SKETCH



4.4.14. Decantador A-301

Per a separar les dues fases líquides, es dissenya un decantador. En la taula 4.72. es mostren les dades inicials necessàries per a dissenyar-lo:

Taula 4.72. Valors inicials per a dissenyar el decantador A-301

Propietat	Valor
Cabal de la fase orgànica (m ³ /min)	0,3
Cabal de la fase aquosa (m ³ /min)	7,2·10 ⁻³
Fracció d'emplenament	0,8
L/D	3,5

A continuació, en la taula 4.73. es mostren les dimensions obtingudes del disseny. Aquests resultats s'han obtingut mitjançant el procediment descrit en l'annex A.6 (ref. 21).

Taula 4.73. Resultats disseny decantador A-301

Propietat	Valor
Longitud del decantador (m)	5
Diàmetre del decantador (m)	1,4
Volum total (m ³)	6,5

4.4.14.1. Disseny mecànic del decantador A-301

Un cop es coneix la geometria del decantador i el material amb el que es construirà (S31603), es dissenya mecànicament seguint el procediment explicat a l'annex A.7 (ref. 16). A continuació, s'adjunten a la taula 4.74. els resultats obtinguts:

Taula 4.74. Resultats disseny mecànic del decantador A-301.

Propietat	Valor
Pressió de disseny (barg)	3
Temperatura de disseny (°C)	102
Gruix cilindre (mm)	5
Gruix caps (mm)	5
Pressió prova hidràulica (barg)	4,3
Pes decantador buit (kg)	8,8·10 ²
Pes total (kg)	8,6·10 ³

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	GENERAL	Manufacturer:			
2	GENERAL	Item: A-301			
3	GENERAL	Description: Acumulador de reflux de la columna C-301		Position:	X Horiz. Vertical
4	OPERATING	Product:			
5	OPERATING	Operating Pressure (eff.)		0,2	barg
6	OPERATING	Operating Temperature		40	°C
7	OPERATING	Liquid Density		898	kg/m ³
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)		3	barg
9	DESIGN DATA	Design Temperature		102	°C
10	DESIGN DATA	Hydrostatic Test (eff.)		4.3	barg
11	DESIGN DATA	Corr. Allow.	Shell / Heads	1	mm
12	DESIGN DATA	Joint Eff.	Shell / Heads	1	
13	DESIGN DATA	Code: ASME			
14	DESIGN DATA	Radiograph: 100			
15	DESIGN DATA	Stress Relieve:		Yes	No
16	DESIGN DATA	Seismic:			
17	DESIGN DATA	Wind Load:			N/m ²
18	DESIGN DATA	Hydrostatic Test (eff.)			kg/cm ² g
19	MATERIALS		Thickness	Mat'l Class	
20	MATERIALS	Shell	5 mm	S31603	
21	MATERIALS	Heads	5 mm	S31603	
22	MATERIALS	Lining	mm	S31603	
23	MATERIALS	Nozzle Necks			
24	MATERIALS	Flanges			
25	CONSTRUCTION		Dia.	L / H	Material
26	CONSTRUCTION	Shell	1,44 m		S31603
27	CONSTRUCTION	Heads	1,44 m		S31603
28	CONSTRUCTION	Insulation:	X	Yes	No
29	CONSTRUCTION	Fireproofing:	X	Yes	No
30	CONSTRUCTION	Sandblast:		Yes	X No
31	CONSTRUCTION	Paint:	X	Yes	No
32	CONSTRUCTION	Wt. Empty:		879 kg	
33	CONSTRUCTION	Wt. Full Water:		8614 kg	
34	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size
35	NOZZLES	Alimentació D-301	DA	1	2 1/2"
36	NOZZLES	Sortida aquosa D-301	DB	1	1/2"
37	NOZZLES	Sortida orgànica D-301	DC	1	2 1/2"
38	NOZZLES	Transmissor de nivell LT-3012	DD	1	2"
39	NOZZLES				
40	NOZZLES				
41	NOZZLES				
42	NOZZLES				
43	NOZZLES				
44	NOZZLES				
45	NOZZLES				
46	NOZZLES				
47	NOZZLES				
48	NOZZLES				
49	NOZZLES				
0	REV.	15/05/2020	Roger C.D.	Itmar A.G.	
	REV.	DATE	PREP.	APPR.	

DRUM SKETCH

NOTES:

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

4.4.15. Condensador parcial E-301

El condensador parcial E-301 rep el corrent de cap de columna en forma vapor. La seva funció es condensar-lo parcialment. En la taula 4.75. es mostren les dades inicials emprades a l'hora de dissenyar-lo:

Taula 4.75. Dades inicials pel disseny del condensador parcial E-301.

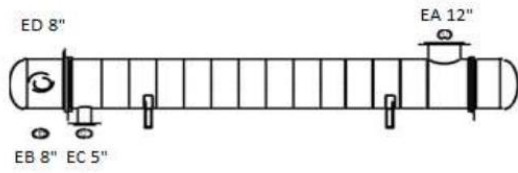
Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$1,7 \cdot 10^4$
Temperatura entrada procés (°C)	68
Fracció de vapor sortida procés	$5,7 \cdot 10^{-3}$
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	6
Nombre de passos per tubs	4
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5
Diàmetre extern dels tubs (mm)	25
Patró de l'intercanviador	Triangular

L'intercanviador E-301 es va calcular analíticament amb el mètode Kern. Aquest mètode es mostra en l'annex A.4 (ref. 20). Es va considerar que la condensació era integral i que el condensador era total perquè la fracció de vapor restant és molt petita. Per a tindre un disseny més rigorós, també es va emprar *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref.24), on utilitzant el mode de *Design*, es va obtenir els resultats mostrats en la taula 4.76.

Taula 4.76. Resultats del disseny amb EDR i el mètode Kern del condensador parcial E-301.

Paràmetres	EDR	Kern
Calor intercanviada (kW)	$2,2 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$
Àrea (m ²)	130	115
U (kcal/h·m ² ·°C)	530	728
Nombre de tubs	331	289

1	ITEM No.: E-301			
2	Service: Primer condensador columna C-301			
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horitzontal	Total surface / unit:	129,8 (m ²)
4	No. Shell: 1			
5	PERFORMANCE OF UNIT			
6			Shell side	Tube side
7			Inlet	Outlet
8	Fluid name		Fluid procés	
9	Fluid total flow		Aigua refrigeració	
10	Vapour	kg/h	16655	
11	Liquid	kg/h	187459	
12	Steam	kg/h	187459	
13	Water	kg/h	187459	
14	Temperature	°C	28	
15	Density (L/V)	kg/m ³	38	
16	Viscosity (L/V)	cP	997,75/ 995,19 /	
17	Vapour molecular weight		0,8366/ 0,6784/	
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,2726 /0,0097 0,3021/ 0,0096	
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,4988 /0,3112 0,5233/ 0,3081	
20	Latent heat	kcal/kg	1,001/ 1,003 /	
21	Inlet pressure	bara	0,117/0,013 0,127/0,012	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	0,52/ 0,531/	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,101/0,058	
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0003 0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	1875686	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 529,5	Clean: 885,5	
27	CONSTRUCTION PER SHELL			
28	Codes:	Shell side	Tube side	
29	Design pressure barg	3	8,4	
30	Design temperature °C	102	77	
31	No. of passes	1	4	
32	Stress relief	No	No	
33	Radiograph.			
34	Corrosion allowance mm	1	1	
35		Service	Mark	Dia.
36	Nozzles	Entrada procés	EA	12"
37		Sortida aigua	EB	8"
38		Sortida procés	EC	5"
39		Entrada aigua	ED	8"
40				
41				
42				
43				
44				
45	MATERIALS		SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.
47	Shell:	711,2	5	S31603
48	Channel:			S31603
49	Tubesheets:		40	S31603
50	Baffles: n° / mat.	13		S31603
51	Baffles spacing:	336,55		mm.
52				
53	Tubes:			
54	N°	331		
55	OD	1	inches	
56	BWG:	16		
57	Length	5000	mm.	
58	Pitch:	32	mm	△
59				
60				
61				
62				
63				
64	NOTES:			
65				
66				
67				
0	Enginyeria bàsica	02/05/2020	Roger C.D.	Itmar A.G.
REV.		DATE	PREP.	APPR.



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

4.4.16. Bescanviador E-302

La funció d'aquest intercanviador és refredar el corrent gasos que surt de E-301 i E-303 fins als 40°C. El corrent de sortida d'aquest condensador es mena al decantador A-301. El motiu del refredament és millorar la separació de fases en A-301. Les dades inicials per al disseny de E-302 es veuen en la taula 4.77.

Taula 4.77. Dades inicials utilitzades pel disseny del refredador E-302.


Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$1,7 \cdot 10^4$
Temperatura entrada procés (°C)	54
Temperatura sortida procés (°C)	40
Pressió entrada procés (barg)	0,6
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	33
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	6
Nombre de passos per tubs	8
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5
Diàmetre exterior dels tubs (mm)	25
Patró de l'intercanviador	Triangular

L'intercanviador E-302 es va calcular analíticament amb el mètode Kern per un refredador. Aquest mètode es mostra en l'annex A.5 (ref. 20). Per a tindre un disseny més rigorós, també es va emprar *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25), on utilitzant el mode de *Design*, es va obtenir els resultats mostrats en la taula 4.78. Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula 4.78:

Taula 4.78. Resultats del disseny amb EDR i mètode Kern de l'intercanviador E-302.

Paràmetres	EDR	Kern
Calor intercanviada (kW)	143	143
Àrea (m ²)	28	23
U (kcal/h·m ² ·°C)	366	516
Nombre de tubs	71	58

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	ITEM No.: E-303				
2	Service: Segon condensador columna C-301				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal	Total surface / unit:	26,7 (m ²)	
4	No. Shell: 2				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Fluid procés		Aigua refrigeració	
9	Fluid total flow	90		1397	
10	Vapour	kg/h	90	0	0
11	Liquid	kg/h	0	90	1397
12	Steam	kg/h	0	0	0
13	Water	kg/h	0	1397	1397
14	Temperature	°C	62,6	35	28
15	Density (L/V)	kg/m ³	/2,09	859,86/	997,75/
16	Viscosity (L/V)	cP	/0,01	0,3025/	0,8366/
17	Vapour molecular weight		53,13		
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,3168/	/ 0,6325	1,001/
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/0,013	0,14/	0,52/
20	Latent heat	kcal/kg	534,84 / 144,18		
21	Inlet pressure	bara	1,1		6,9
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	0,68/0,06		0,25/0,25
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,051/0,033		0,4/0,083
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0003		0,0004
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	13976		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m².°C)	Fouled: 157,9	Clean: 179,4		
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure barg	3	8,4		
30	Design temperature °C	102	77		
31	No. of passes	1	6		
32	Stress relief	No	No		
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance mm	1	1		
35		Service	Mark	Dia.	Rating
36	Nozzles	Entrada procés	EE	1"	150 #
37		Sortida aigua	EF	3/4"	150 #
38		Sortida procés	EG	1/4"	150 #
39		Entrada aigua	EH	3/4"	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS			SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	266,24	4	S31603	
48	Channel:			S31603	
49	Tubesheets:		35	S31603	
50	Baffles: n° / mat.	8		S31603	
51	Baffles spacing:	527,05	mm.		
52					
53	Tubes:				
54	N°	34			
55	OD	1		inches	
56	BWG:	16			
57	Length	5000		mm.	
58	Pitch:	32	mm		
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	Enginyeria bàsica	02/05/2020	Roger C.D	Itmar A.G.	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	
				 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	



4.4.17. Condensador total E-303

El cabal no condensat al condensador parcial E-301 és enviat al condensador E-303. Aquest condensador té dos passos per carcassa. Les dades inicials utilitzades han estat les següents:

Taula 4.79. Dades inicials utilitzades pel disseny del refredador E-303

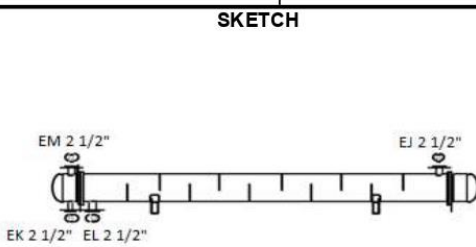
Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	90
Temperatura entrada procés (°C)	63
Temperatura sortida procés (°C)	35
Pressió entrada procés (barg)	0,2
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38
Pressió entrada aigua de refrigeració (barg)	6
Nombre de passos per tubs	6
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	5
Diàmetre exterior dels tubs (mm)	25
Patró de l'intercanviador	Triangular

El condensador E-303 es va calcular *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref.24) utilitzant el mode de *Design*. Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula 4.80:

Taula 4.80. Resultats obtinguts amb EDR pel E-303

Paràmetres	Aspen EDR
Calor intercanviada (kW)	16,3
Àrea (m ²)	26,7
U (kcal/h·m ² ·°C)	1,6·10 ²
Nombre de tubs	34

1	ITEM No.: E-302				
2	Service: Refredador				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal	Total surface / unit:	27,9 (m ²)	
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Fluid procés		Aigua refrigeració	
9	Fluid total flow	16655		20099	
10	Vapour	0	0	0	0
11	Liquid	16655	16655	12263	12263
12	Steam	0	0	0	0
13	Water	0	0	12263	12263
14	Temperature	54,22	40	28	38
15	Density (L/V)	877,15/	896,74/	997,75/	995,19 /
16	Viscosity (L/V)	0,2994 /	0,3418/	0,8366/	0,6784/
17	Vapour molecular weight	53,13			
18	Specific heat (L/V)	0,5266/	0,5047/	1,001/	1,003 /
19	Thermal conductivity (L/V)	0,127/	0,132/	0,52/	0,531/
20	Latent heat	kcal/kg			
21	Inlet pressure	1,6		6,9	
22	Velocity (allowable / calculated)	0,22/0,09		1,49/1,05	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	0,101/0,014		0,4/0,33	
24	Fouling resistance	0,0003		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)		122699	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 366,2		Clean: 507,2	
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure barg	3	8,4		
30	Design temperature °C	102	77		
31	No. of passes	1	8		
32	Stress relief	No	No		
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance mm	1	1		
35		Service	Mark	Dia.	Rating
36	Nozzles	Entrada procés	EJ	2 1/2"	150 #
37		Sortida aigua	EK	2 1/2"	150 #
38		Sortida procés	EL	2 1/2"	150 #
39		Entrada aigua	EM	2 1/2"	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS			SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	355,6	5	S31603	
48	Channel:			S31603	
49	Tubesheets:		35	S31603	
50	Baffles: n° / mat.	6		S31603	
51	Baffles spacing:	711,2	mm.		
52					
53	Tubes:				
54	N°	71			
55	OD	1	inches		
56	BWG:	16			
57	Length	5000 mm.			
58	Pitch:	32 mm	△		
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	Enginyeria bàsica	02/05/2020	Roger C.D.	Itmar A.G.	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	



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

4.4.18. Reboiler R-301

Per a evaporar la quantitat de vapor desitjada de fons de columna es necessita un reboiler. En el cas de la columna C-301 és el reboiler R-301. Per raons econòmiques s'ha agafat un reboiler termosifó vertical, per tant, en el disseny també s'ha tingut en compte l'alçada de líquid de la columna. En la taula 4.81 s'observen les dades inicials pel disseny:


Taula 4.81. Dades inicials utilitzades pel disseny del reboiler R-301

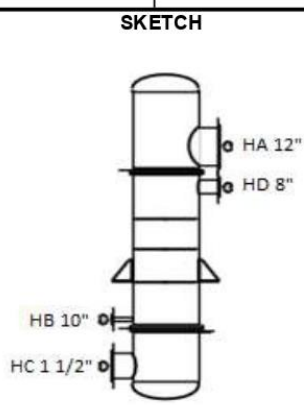
Paràmetre	Valor
Cabal procés entrada (kg/h)	$2,8 \cdot 10^5$
Temperatura entrada procés (°C)	82
Fracció de vapore la sortida	0,08
Pressió entrada procés (barg)	0,4
Temperatura entrada vapor d'aigua (°C)	143
Temperatura sortida condensat (°C)	143
Pressió entrada vapor (barg)	3
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1
Longitud dels tubs (m)	2,5
Diàmetre exterior dels tubs (mm)	25
Patró de l'intercanviador	Triangular

El reboiler R-301 es va calcular analíticament amb el mètode Kern per un reboiler termosifó vertical. Aquest mètode es mostra en l'annex A.3 (ref. 9). Per a tindre un disseny més rigorós, també es va emprar *Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)* (ref. 25) utilitzant el mode de *Design*. Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula 4.82.:

Taula 4.82. Resultats dels diversos mètodes de disseny de R-301.

Paràmetres	Aspen EDR	Mètode Kern
Calor intercanviada (kW)	$2,3 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^3$
Àrea (m ²)	114,7	242
U (kcal/h·m ² ·°C)	$7,1 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$
Nombre de tubs	597	766

1	ITEM No. R-301			
2	Service: Reboiler columna T-301			
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Vertical	Total surface / unit:	114,7 (m ²)
4	No. Shell: 1			
5	PERFORMANCE OF UNIT			
6		Shell side		Tube side
7		Inlet	Outlet	Inlet Outlet
8	Fluid name	Steam		Fluid procés
9	Fluid total flow	3834		282901
10	Vapour	3834	0	0 24043
11	Liquid	0	3834	282901 258858
12	Steam	3834	0	0 0
13	Water	0	3834	0 0
14	Temperature	143,2	142,8	82 80,9
15	Density (L/V)	/2,1	923,18/	849,02/ 852,63 / 3,87
16	Viscosity (L/V)	/0,0139	0,2056/	0,2482/ 0,2536/ 0,0094
17	Vapour molecular weight	18.01		86.09
18	Specific heat (L/V)	/0,5539	1,0114/	0,5095/ 0,5076 /0,3127
19	Thermal conductivity (L/V)	/0,025	0,594/	0,112/ 0,112/ 0,014
20	Latent heat	508,04 / 507,99		1,32428/ 1,36789
21	Inlet pressure	4		1,4
22	Velocity (allowable / calculated)	6,97/0,74		7,9/0,77
23	Pressure drop (allowable / calculated)	0,05/0,007		0,047/0,044
24	Fouling resistance	0.0002		0.0006
25	Heat exchanged:	(kcal/h) 1949157		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 701,9	Clean: 1866,1	
27	CONSTRUCTION PER SHELL			
28	Codes:	Shell side	Tube side	
29	Design pressure barg	5	3	
30	Design temperature °C	163	102	
31	No. of passes	1		1
32	Stress relief	No		No
33	Radiograph.			
34	Corrosion allowance mm	1		1
35		Service	Mark	Dia. Rating
36	Nozzles	Sortida procés	HA	12" 150 #
37		Entrada procés	HB	10" 150 #
38		Sortida condensat	HC	24" 150 #
39		Entrada vapor	HD	8" 150 #
40				
41				
42				
43				
44				
45	MATERIALS			
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.
47	Shell:	863,6	7	S31603
48	Channel:			S31603
49	Tubesheets:		45	S31603
50	Baffles: n° / mat.	3		S31603
51	Baffles spacing:	508	mm.	
52				
53	Tubes:			
54	N°	597		
55	OD	1 inches		
56	BWG:	16		
57	Length	2500 mm.		
58	Pitch:	32 mm		△
59				
60				
61				
62				
63				
64	NOTES:			
65				
66				
67				
0	02/05/2020	Roger C.D. Itmar A.G.		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química
REV.	DATE	PREP.	APPR.	



4.4.19. Bomba P-301

S'ha seleccionat la bomba P-301 pel seu disseny. Aquesta s'encarrega de bombejar el producte de fons de C-301. A la taula 4.83. s'observen els valors inicials a partir dels quals s'ha realitzat el disseny:

Taula 4.83. Dades inicials utilitzades pel disseny de la bomba P-301

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m ³ /h)	12
Densitat fluid (kg/ m ³)	849
Viscositat (cP)	0,25
Diferència d'altures impulsíó-aspiració (m)	4,3
Diferència de pressions impulsíó-aspiració (bar)	0,2
Diàmetre canonada aspiració DN	80
Longitud canonada aspiració (m)	4,5
Diàmetre canonada impulsíó DN	50
Longitud canonada impulsíó (m)	80

El tutor va proporcionar quins elements aportaran una pèrdua de càrrega menor tan a l'aspiració com a la impulsíó (ref. 29). A la taula 4.84. es troben tots els elements resumits:

Taula 4.84. Resum elements que provoquen una pèrdua de càrrega

Elements ΔP menors	Unitats aspiració	Unitats impulsíó
T (angle) (DN 50)	0	3
Entrada a altres equips (DN80)	1	1
Reducció (DN 80-50)	1	0
Vàlvula comporta (DN 50)	1	3
Ampliació (DN 25-50)	0	1
Vàlvula retenció (DN 50)	0	1
Placa d'orifici (DN 50)	0	1
Vàlvula de control (DN 50)	0	1
Filtre en Y (DN 50)	1	0

Seguint el procediment descrit en l'annex A.8., extret de la (ref. 13), es dissenya una bomba capaç de vèncer les pèrdues de càrrega associades i l'altura requerida. A partir dels resultats obtinguts, es busca una bomba comercial que compleixi els requisits.

La P-301 és una bomba centrífuga. A la taula 4.85. s'inclouen les característiques més importants de la bomba seleccionada:

Taula 4.85. Paràmetres de la bomba P-301

Paràmetre	Valor
Cabal màxim (m ³ /h)	14
H (m)	17,2
Rodet (mm)	235
Potència requerida (kW)	1,2
NPSH disponible (m)	2,11
NPSH requerit (m)	1
Eficiència (%)	55

A continuació s'adjunta la fulla d'especificació de la bomba comercial seleccionada (ref. 32):

1	Nº OF PUMPS	RUN:	SPARE:	<p style="text-align: center;">Pump Curve</p>			
2	SERVICE						
3	ITEM	P-301					
4							
5	FLUID PUMPED	Acetat de vinil					
6	OPER.TEMP	82 °C					
7	DENSITY	849 kg/m ³					
8	VISCOSITY	0,25 cP					
9	VAPOR PRESS.	1,36 bara					
10	NORM.CAPACITY	12 m ³ /h					
11	MAX.CAPACITY	14 m ³ /h					
12	SUCTION CONDITIONS						
14	TOTAL SUCT.PR.	0,4 barg					
15	NPSH (m.w.c.)	2,11 m					
16							
17	DISCHARGE CONDITIONS						
18	LIQUID HEAD	0,7 bar					
19	TOTAL DISCH.PR.	0,2 barg					
20	DIFF.PRESSURE	0,2 bar					
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	16 m					
22	PUMP REQUIREMENTS						
23	TYPE PUMP	Centrifuga horitzontal					
24	ESTIMATED EFF.	55 %					
25	ESTIMATED Rot.freq.	1450 min ⁻¹					
26	ESTIMATED Power	1,2 kW					
27	TYPE DRIVER	Motor					
28	STEAM (abs.)	kg/cm ² g °C					
29	ELECTRICITY	V: 400 PH: 50 Hz					
30							
31							
32	PUMP MATERIALS						
33	CASE	especificat pel venedor					
34	IMPELLER	especificat pel venedor					
35	SHAFT	especificat pel venedor					
36	SHAFT SLEEVE	especificat pel venedor					
37	SEAL/PACKING	especificat pel venedor					
38	PISTON	especificat pel venedor					
39							
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating		
41	Suction						
42	Discharge						
43							
44							
45	0	20/05/2020	Itmar A.G.	Roger C.D.			
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.			
47							

Gen.Arr.Drawin



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

4.5. Disseny d'obra civil

En aquest apartat es tracta el disseny de la sabata d'una columna de destil·lació. El disseny de la sabata es basa en les dimensions de la columna. Hi ha dos factors a tenir el compte: la pressió que s'exerceix sobre el sòl a causa del vent i el propi pes de la columna i la cimentació. En els següents subapartats és mostren les dades inicials dels càlculs efectuats en l'annex A.11 (ref. 17) i els seus resultats.

4.5.1. Disseny de la sabata de la cimentació de C-101

En la taula 4.86, es poden observar els paràmetres inicials seleccionats per a construir una cimentació octogonal.

Taula 4.86. Valor de les dades inicials per al disseny d'una sabata octogonal.

Paràmetre	Valor
Línia de congelació de Tarragona	0,8 m
Diàmetre de l'octògon de la cimentació	4,8 m
Diàmetre de la columna C-301	3,2 m
Diàmetre menor de la base de la cimentació	11 m
Alçada total de cimentació	2,7 m
Densitat del formigó	2400 kg/m ³
Densitat del sòl	1600 kg/m ³
Massa columna plena	1,98·10 ⁵ kg
Velocitat màxima del vent a Tarragona	130 km/h
Gruix metàl·lic de la columna	10·10 ⁻³ m
Alçada de la columna	25,5 m
Alçada del faldó	3,2 m
Capacitat de càrrega del sòl de Tarragona en el lloc d'instal·lació de C-101	2 kg/cm ²

A la taula 4.87, s'exposen els resultats obtinguts.

Taula 4.87 Càrregues necessàries degudes al vent i al pes de la columna.

Paràmetre	Valor (kg/cm²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s ₁)	0,76
Càrrega deguda a la força exercida del vent (s ₂)	0,08
Càrrega total	0,84

4.5.2. Disseny de la sabata de la cimentació de C-201

En la taula 4.88. es poden observar els paràmetres inicials seleccionats per a construir una cimentació octogonal.

Taula 4.88. Valor de les dades inicials per al disseny d'una sabata octogonal.

Paràmetre	Valor
Línia de congelació de Tarragona	0,8 m
Diàmetre de l'octògon de la cimentació	0,72 m
Diàmetre de la columna C-201	0,30 m
Diàmetre menor de la base de la cimentació	1,66 m
Alçada total de cimentació	1,34 m
Densitat del formigó	2400 kg/m ³
Densitat del sòl	1600 kg/m ³
Massa columna plena	1,38·10 ³ kg
Velocitat màxima del vent a Tarragona	130 km/h
Gruix metàl·lic de la columna	5·10 ⁻³ m
Alçada de la columna	13,3 m
Alçada del faldó	1,5 m
Capacitat de càrrega del sòl de Tarragona en el lloc d'instal·lació de C-201	2 kg/cm ²

A la taula 4.89. s'exposen els resultats obtinguts.

Taula 4.89. Càrregues necessàries degudes al vent i al pes de la columna.

Paràmetre	Valor (kg/cm²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s_1)	0,30
Càrrega deguda a la força exercida del vent (s_2)	0,69
Càrrega total	0,99

4.5.3. Disseny de la sabata de la cimentació de C-301

En la taula 4.90. es poden observar els paràmetres inicials seleccionats per a construir una cimentació octogonal.

Taula 4.90. Valor de les dades inicials per al disseny d'una sabata octogonal.

Paràmetre	Valor
Línia de congelació de Tarragona	0,8 m
Diàmetre de l'octògon de la cimentació	3 m
Diàmetre de la columna C-301	2 m
Diàmetre menor de la base de la cimentació	6,9 m
Alçada total de cimentació	2,1 m
Densitat del formigó	2400 kg/m ³
Densitat del sòl	1600 kg/m ³
Massa columna plena	5,01·10 ⁴ kg
Velocitat màxima del vent a Tarragona	130 km/h
Gruix metàl·lic de la columna	5·10 ⁻³ m
Alçada de la columna	17,5 m
Alçada del faldó	2 m
Capacitat de càrrega del sòl de Tarragona en el lloc d'instal·lació de C-301	2 kg/cm ²

A la taula 4.91. s'exposen els resultats obtinguts.

Taula 4.91. Càrregues necessàries degudes al vent i al pes de la columna.

Paràmetre	Valor (kg/cm²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s_1)	0,553
Càrrega deguda a la força exercida del vent (s_2)	0,104
Càrrega total	0,657

5. SEGURETAT EN EL DISSENY D'INSTAL·LACIONS

En aquest apartat es realitzarà un estudi de les característiques de perillositat de les instal·lacions del projecte.

5.1. Seguretat de processos

Amb l'objectiu d'assegurar la seguretat de les instal·lacions i dels treballadors que hi treballen, s'han estudiat varis escenaris de risc i al següent apartat s'ha avaluat els riscos del procés mitjançant HAZOP + MiniLOPA.

5.1.1. HAZOP + MiniLOPA

S'ha considerat que els equips amb més risc associat de les diferents unitats són les columnes C-101, C-201 i C-301. Per avaluar els riscos que comporten s'ha realitzat un HAZOP + MiniLOPA a cada una d'elles.

A la taula 5.1. es mostra el HAZOP de la columna C-101, la taula 5.2. mostra el HAZOP de la columna C-201 i la taula 5.3. mostra el HAZOP de la columna C-301

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons C-101	Fallada controlador de nivell LT-1500 (Llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna C-101. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma alt nivell a LT-1500
	Més nivell a A-101	Fallada controlador de nivell LT-1400 (Llegeix menys nivell del real) Fallada bomba P- 102 i P-103	Inundació de l'acumulador A-101. Inundació del condensador E-103, augment de la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV1 per aquest cas Ficar alarma alt nivell a LT-1400
Menys	Menys nivell a fons C-101	Fallada controlador de nivell LT-1505 (Llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació disminueix, major quantitat de vapor al fons, cavitació de la bomba P-101, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma baix nivell a LT-1500
	Menys nivell a A- 101	Fallada controlador de nivell LT-1400 (Llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-102 i P-103, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic	1	-1	D	Ficar alarma baix nivell a LT-1400
No	No flux alimentacions C- 101	Fallada Llaços de control 1001, 1002, 1003, 1004 i 1005 (tanca)	Inestabilitat de la columna amb possibilitat de <i>coning</i> als plats. Sense conseqüències de seguretat								Ficar alarma baix cabal a FT-1001, FT-1002, FT- 1033, FT-1004 i FT-1005

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Falta alimentació

No flux en el reflux de C-101	Fallada Llaç de control 1501 (tanca)	Augment de la temperatura a cap de columna, producte fora d'especificació. Sense conseqüències de seguretat.								
No flux incondensables	Fallada llaç de control 1300	Augment pressió en F-101. Possibilitat de ruptura catastròfica.	4	-1	A	La vàlvula PSV2 obrirà a 3 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV2 per aquest cas
No flux fons de columna a C-101	Fallada Llaç de control 1503 (tanca)	La bomba P-101 treballa en <i>shut off</i> . Possible escalfament del producte produint l'evaporació. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B					
No flux de destil·lat orgànic	Fallada Llaç de control 1400 (tanca)	Ídem més nivell en A-101.								
No flux de destil·lat aquós	Fallada Llaç de control 1400 (tanca)	Ídem més nivell en A-101.								
Menys										
Menys flux alimentacions C-101	Fallada Llaç de control 1001, 1002, 1003, 1004 i 1005 (tanca)	Ídem no flux en alimentació C-101.								Ficar alarma baix cabal a FT-1001, FT-1002, FT-1033, FT-1004 i FT-1005
Menys flux incondensables	Fallada Llaç de control 1300	Ídem no flux incondensables								Ficar alarma alta pressió a PT-1300
Menys flux en el reflux de C-101	Fallada Llaç de control 1501 (tanca)	Ídem no reflux en C-101.								Ficar alarma baix cabal a llaç 1501

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Menys flux de fons de columna C-101	Fallada Llaç de control 1503 (tanca)	Ídem no flux de fons de columna a C-101.	Ficar alarma baix cabal a llaç 1502
No flux de destil·lat orgànic	Fallada Llaç de control 1400 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat aquós.	Ficar alarma baix nivell a LT-1400
No flux de destil·lat aquós	Fallada Llaç de control 1400 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat orgànic.	Ficar alarma baix nivell a LT-1400
Més Més flux alimentacions C-101	Fallada Llaç de control 1001, 1002, 1003, 1004 i 1005 (obre)	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de C-101. Inundació de baixants i degoteig als plats. Sense conseqüències de seguretat	Ficar alarma alt cabal a FT-1001, FT-1002, FT-1033, FT-1004 i FT-1005
Més flux incondensables	Vàlvula de control V-115 queda totalment oberta	Disminució de pressió en F-101. Sense conseqüències de seguretat	Ficar alarma baixa pressió a PT-1300
Més flux en el reflux de C-101	Fallada Llaç de control 1501 (obre)	Disminució de temperatura a cap de columna. Sense conseqüències de seguretat.	Ficar alarma alt cabal a llaç 1501
Més flux fons de columna C-101	Fallada llaç de control 1503 (obre)	Buidat de fons de columna i possibilitat d'entrada de gas a la columna C-101. Sense conseqüències de seguretat.	
Més flux de vapor d'aigua a R-101 / R-102	Fallada llaç de control 1502 (obre).	Augment de la taxa de recirculació del reboiler amb possible arrossegament als plats i inundació de la columna C-101 (es suposa que E-101 es capaç de condensar-ho tot).	Alarma alt cabal a llaç 1502 Alarma alta temperatura a llaç 1502

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Invers	Flux invers	No aplica									
Més	Més pressió C-101	Foc extern	Evaporació de la fase líquida de la columna C-101. Ruptura catastròfica de la columna i l'acumulador A-101. Possibilitat d'explosió.	4	-2	B	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-6	D	Dissenyar la PSV1 per a aquest cas.
		Fallada aigua de refrigeració E-101	Augment de la pressió per la no condensació en E-101 amb possible ruptura i explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV1 per a aquest cas.
		Fallada bomba P-102 i P-103	Ídem més nivell a A-101								
		Ruptura tub reboiler R-201 /R-102	Possibilitat d'augment de la pressió depenent de la capacitat de condensació del condensador E-101. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV1 per a aquest cas.
		Ruptura tub condensador E-101, E-102 i E-103	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema, augment de la pressió a la columna. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV1 per a aquest cas.
		Fallada llaç de control 1501 (tanca)	Augmenta la pressió lleugerament. Sense conseqüències de seguretat.								
	Més pressió a F-101	Fallada llaç 1300 (tanca). No hi ha sortida d'incondensables	Acumulació d'incondensables Pèrdua de la capacitat de condensació, augment de la pressió i possible ruptura catastròfica.	4	-1	A	La vàlvula PSV2 obrirà a 3 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV2 per a aquest cas.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Menys	Menys pressió a C-101	Fallada del llaç 1502 (obre)	Disminució de la producció de vapor en R-101 i R-102. Sense conseqüències de seguretat.	Ficar alarma baix cabal a llaç 1502
		Fallada controlador de pressió 1500 (llegeix més pressió de la real)	Sense conseqüències de seguretat	Ficar alarma baixa pressió a PT-1500
	Menys pressió a F-101	Fallada llaç 1300 (obre)	Sense conseqüències de seguretat.	Ficar alarma baixa pressió a PT-1300
Més	Més temperatura a C-101 i A-101	Ruptura tub reboiler R-101 / R-102	Ídem més pressió a C-101	Ficar alarma alta temperatura a TT-1501 i TT-1502
		Falla del llaç 1502 (obre)	Ídem més flux de vapor al R-101 / R-102.	
		Fallada d'aigua de refrigeració al E-101	Ídem més pressió a C-101	
Menys	Menys temperatura a C-101	Fallada del llaç 1300 (obre)	Es redueix la pressió i per tant la temperatura a C-101. Sense conseqüències de seguretat.	
		Ruptura tub E-101, E-102 i E-103	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.	
Una altra	Una altra composició	Diferent composició a la esperada.	Sense conseqüències de seguretat.	

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

alimentació de C-101											
Una altra fase a C-101		Ruptura tub reboiler R-101 / R-102	Ídem més pressió a C-101.								
Una altra fase en A-101		Ruptura tub condensador E-103	Ídem més pressió a C-101.								
		Fallada llaç de control 1400 (tanca)	Ídem més pressió a C-101.								
		Fallada llaç de control 1400 (obre)	Ídem menys nivell A-101.								
As well as	<i>As well as</i> corrosió / erosió a C-101, R-101 / R-102	Corrosió sota aïllament	Fuga de producte i possibilitat d'explosió	2	-1	C	Programa d'inspecció en vigor (1 IPL)	2	-2	C	
		Erosió en tubs del R-101 / R-102.	Ruptura tub reboiler R-101 / R-102. Ídem més pressió a C-101.							Posar placa de protecció en l'entrada de vapor al reboiler R-101 i R-102.	
No	<i>No utilities</i>	Fallada energia elèctrica	Parada bomba P-101. Ídem més nivell a C-101.								
			Parada bomba P-102 i P-103. Ídem més nivell a A-101.								
		Fallada aigua de refrigeració	Fallada en E-101, augment de la pressió en C-101, Possible ruptura catastròfica. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV1 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV1 per a aquest cas.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

	Fallada vapor d'aigua	Fallada en R-101 i R-102. Ídem menys pressió a C-101.
		V-101 tanca V-102 tanca
		V-103 tanca V-104 tanca
	Fallada aire instruments	V-105 tanca V-106 obre
		V-107 obre V-108 tanca
		V-109 obre V-110 tanca
		V-111 obre V-112 tanca
		V-113 tanca V-114 tanca
		V-115 obre V-116 tanca
		V-117 obre V-118 obre
		V-119 obre V-120 tanca
No	No contenció	No hi ha casos rellevants

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons C-201	Fallada controlador de nivell LT-2011 (Llegeix menys nivell del real) Fallada bomba P-201	Inundació de la columna C-201. Sense conseqüències de seguretat.								
	Més nivell a A-201	Fallada controlador de nivell LT-2004 (Llegeix menys nivell del real) Fallada bomba P-202	Inundació de l'acumulador A-201. Inundació del condensador E-201, augment de la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV 201 per aquest cas
Menys	Menys nivell a fons C-201	Fallada controlador de nivell LT-2011 (Llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació disminueix, major quantitat de vapor al fons, cavitació de la bomba P-201, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	
	Menys nivell a A-201	Fallada controlador de nivell LT-2004 (Llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-202, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic	1	-1	D	
No	No flux alimentacions C-201	Fallada Llaç de control 2001 (tanca)	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüències de seguretat								

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Falta alimentació

No flux en el reflux de C-201	Fallada Llaç de control 2006 (tanca)	Augment de la temperatura a cap de columna, producte fora d'especificació. Sense conseqüències de seguretat.	
No flux fons de columna a C-101	Fallada Llaç de control 2003 (tanca)	La bomba P-201 treballa en <i>shut off</i> . Possible escalfament del producte produint l'evaporació. Possibilitat d'explosió.	3 -1 B
No flux de destil·lat orgànic	Fallada Llaç de control 2004 (tanca)	Ídem més nivell en A-201.	
No flux de destil·lat aquós	Fallada Llaç de control 2004 (tanca)	Ídem més nivell en A-201.	
Menys Menys flux alimentacions C-201	Fallada Llaç de control 2001 (tanca)	Ídem no flux en alimentació C-201.	
Menys flux en el reflux de C-201	Fallada Llaç de control 2006 (tanca)	Ídem no reflux en C-201.	
Menys flux de fons de columna C-201 a C-101	Fallada Llaç de control 2003 (tanca)	Ídem no flux de fons de columna a C-101.	
No flux de destil·lat orgànic	Fallada Llaç de control 2004 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat aquós.	

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

	No flux de destil·lat aquós	Fallada Llaç de control 2004 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat orgànic.								
Més	Més flux alimentacions C-201	Fallada Llaç de control 2001 (obre)	Ídem més nivell a al fons de C-201.								
	Més flux en el reflux de C-201	Fallada Llaç de control 2006 (obre)	Disminució de temperatura a cap de columna. Sense conseqüències de seguretat.								
	Més flux fons de columna C-201 a C-101.	Fallada llaç de control 2003(obre)	Buidat de fons de columna i possibilitat d'entrada de gas a la columna C-101. Sense conseqüències de seguretat.								
	Més flux de vapor d'aigua a R-201	Fallada llaç de control 2005 (obre).	Augment de la taxa de recirculació del reboiler. (se suposa que E-201 es capaç de condensar-ho tot). Sense conseqüències de seguretat.								
Invers	Flux invers	No aplica									
Més	Més pressió C-201	Foc extern	Evaporació de la fase líquida de la columna C-201. Ruptura catastròfica de la columna i l'acumulador A-201. Possibilitat d'explosió.	4	-2	B	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-6	D	Dissenyar la PSV 201 per a aquest cas.
		Fallada aigua de refrigeració E-201	Augment de la pressió per la no condensació en E-201 amb possible ruptura i explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV 201 per a aquest cas.
		Fallada bomba P-202	Ídem més nivell a A-201								

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

		Ruptura tub reboiler R-201	Possibilitat d'augment de la pressió dependent de la capacitat de condensació del condensador E-201. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV per a aquest cas.
		Ruptura tub condensador E-201	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema, augment de la pressió a la columna. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV per a aquest cas.
		Fallada llaç de control 2006 (tanca)	Augmenta la pressió lleugerament. Sense conseqüències de seguretat.								
		Fallada llaç 2002 (tanca aigua de refrigeració)	Pèrdua de la capacitat de condensació, augment de la pressió i possible ruptura catastròfica. Possibilitat d'explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV 201 per a aquest cas.
Menys	Menys pressió a C-201	Fallada llaç 2002 (obre)	Sense conseqüències de seguretat.								
		Fallada del llaç 2005 (obre)	Disminució de la producció de vapor en R-201. Sense conseqüències de seguretat.								
Més	Més temperatura a C-201 i A-201	Ruptura tub reboiler R-201	Ídem més pressió a C-201								
		Falla del llaç 2005 (obre)	Ídem més cabal de vapor al R-201.								
		Fallada d'aigua de refrigeració al E-201	Ídem més pressió a C-201								

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Menys	Menys temperatura a C-201	Fallada del llaç 2002 (obre)	Es redueix la pressió i per tant la temperatura. Sense conseqüències de seguretat.							
		Ruptura tub E-201	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.							
Una altra	Una altra composició alimentació de C-201	Diferent composició a la esperada.	Sense conseqüències de seguretat.							
	Una altra fase a C-201	Ruptura tub reboiler R-201	Ídem més pressió a C-201.							
	Una altra fase en A-201	Ruptura tub condensador E-201	Ídem més pressió a C-201.							
		Fallada llaç de control 2004 (tanca)	Ídem més pressió a C-201.							
		Fallada llaç de control 2004 (obre)	Ídem menys nivell A-201.							
As well as	<i>As well as</i> corrosió / erosió a C-201, R-201	Corrosió sota aïllament	Fuga de producte i possibilitat d'explosió	2	-1	C	Programa d'inspecció en vigor (1 IPL)	2	-2	C
		Erosió en tubs del R-201.	Ruptura tub reboiler R-201. Ídem més pressió a C-201.							Posar placa de protecció en l'entrada de vapor al reboiler R-201.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

No	No <i>utilities</i>	Fallada energia elèctrica	Parada bomba P-201, Ídem més nivell a C-201.								
			Parada bomba P-202, Ídem més nivell a A-201.								
		Fallada aigua de refrigeració	Fallada en E-201, augment de la pressió en C-201, Possible ruptura catastròfica. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-201 obrirà a 3,5 bara (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV 201 per a aquest cas.
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en R-201. Ídem menys pressió a C-201.								
			V-202 tanca V-207 obre								
			V-212 obre V-216 obre								
		Fallada aire instruments	V-219 obre V-221 obre								
			V-226 obre V-232 tanca								
			V-236 obre V-241 tanca								
No	No contenció	No hi ha casos rellevants									

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons C-301	Fallada controlador de nivell LT-3017 (Llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna C-301. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma alt nivell a LT-3017
	Més nivell a 301	A- Fallada controlador de nivell LT-3012 (Llegeix menys nivell del real) Fallada bomba P-302 i P-303	Inundació de l'acumulador A-301. Inundació del condensador E-301, augment de la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV-301 per aquest cas Ficar alarma alt nivell a LT-3012
Menys	Menys nivell a fons C-301	Fallada controlador de nivell LT-3017 (Llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació disminueix, major quantitat de vapor al fons, cavitació de la bomba P-301, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma baix nivell a LT-3017
	Menys nivell a A-301	Fallada controlador de nivell LT-3012 (Llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-302 i P-303, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	Doble tanca mecànica en la bomba, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic	1	-1	D	Ficar alarma baix nivell a LT-3012
No	No flux alimentacions C-301	Fallada llaços de control 3001, 3002 i 3003 (tanca) Falta alimentació	Inestabilitat de la columna amb possibilitat de <i>coning</i> als plats. Sense conseqüències de seguretat								Ficar alarma baix cabal a FT-3001, FT-3002, FT-3003

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

No flux en el reflux de C-301	Fallada llaç de control 3008 (tanca)	Augment de la temperatura a cap de columna, producte fora d'especificació. Sense conseqüències de seguretat.	
No flux fons de columna a C-301	Fallada llaç de control 3017 (tanca)	La bomba P-301 treballa en <i>shut off</i> . Possible escalfament del producte produint l'evaporació. Possibilitat d'explosió.	3 -1 B
No flux de destil·lat orgànic	Fallada llaç de control 3012 (tanca)	Ídem més nivell en A-301.	
No flux de destil·lat aquós	Fallada Llaç de control 3012 (tanca)	Ídem més nivell en A-301.	
Menys Menys flux alimentacions C-301	Fallada llaç de control 3001, 3002, 3003 (tanca)	Ídem no flux en alimentació C-301.	Ficar alarma baix cabal a FT-3001, FT-3002 i FT-3003
Menys flux en el reflux de C-301	Fallada Llaç de control 3008 (tanca)	Ídem no reflux en C-301.	Ficar alarma baix cabal a llaç 3008
Menys flux de fons de columna C-301	Fallada llaç de control 3017 (tanca)	Ídem no flux de fons de columna a C-301.	Ficar alarma baix cabal a llaç 3017
No flux de destil·lat orgànic	Fallada llaç de control 3012 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat aquós.	Ficar alarma baix nivell a LT-3012
No flux de destil·lat aquós	Fallada llaç de control 3012 (tanca)	Ídem no flux de destil·lat orgànic.	Ficar alarma baix nivell a LT-3012

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

Més	Més flux alimentacions C-301	Fallada llaç de control 3001, 3002, 3003 (obre)	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de C-301. Inundació de baixants i degoteig als plats. Sense conseqüències de seguretat							Ficar alarma alt cabal a FT-3001, FT-3002, FT-3003	
	Més flux en el reflux de C-301	Fallada llaç de control 3008 (obre)	Disminució de temperatura a cap de columna. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma alt cabal a llaç 3008	
	Més flux fons de columna C-301	Fallada llaç de control 3017 (obre)	Buidat de fons de columna i possibilitat d'entrada de gas a la columna C-301. Sense conseqüències de seguretat.								
	Més flux de vapor d'aigua a R-301	Fallada llaç de control 3004 (obre).	Augment de la taxa de recirculació del reboiler amb possible arrossegament als plats i inundació de la columna C-301 (es suposa que E-301 es capaç de condensar-ho tot).							Alarma alt cabal a llaç 3004 Alarma alta temperatura a llaç 3004	
Invers	Flux invers	No aplica									
Més	Més pressió C-301	Foc extern	Evaporació de la fase líquida de la columna C-301. Ruptura catastròfica de la columna i l'acumulador A-301. Possibilitat d'explosió.	4	-2	B	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-6	D	Dissenyar la PSV-301 per a aquest cas.
		Fallada aigua de refrigeració E-301	Augment de la pressió per la no condensació en E-301 amb possible ruptura i explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5	C	Dissenyar la PSV-301 per a aquest cas.

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

		Fallada bomba P-302 i P-303	Ídem més nivell a A-301								
		Ruptura tub reboiler R-301	Possibilitat d'augment de la pressió depenent de la capacitat de condensació del condensador E-301. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV-301 per a aquest cas.
		Ruptura tub condensador E-301, E-302 i E-303	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema, augment de la pressió a la columna. Possible ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-4	C	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-8	D	Dissenyar la PSV-301 per a aquest cas.
		Fallada llaç de control 3008 (tanca)	Augmenta la pressió lleugerament. Sense conseqüències de seguretat.								
Menys	Menys pressió a C-301	Fallada del llaç 3004 (obre)	Disminució de la producció de vapor en R-301. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma baix cabal a llaç 3004
		Fallada controlador de pressió 3009 (llegeix més pressió de la real)	Sense conseqüències de seguretat								Ficar alarma baixa pressió a PT-3021
Més	Més temperatura a C-301 i A-301	Ruptura tub reboiler R-301	Ídem més pressió a C-301								Ficar alarma alta temperatura a TT-3004 i TT-3008
		Falla del llaç 3004 (obre)	Ídem més flux de vapor al R-301								

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

		Fallada d'aigua de refrigeració al E-301	Ídem més pressió a C-301				
Menys	Menys temperatura a C-301	Ruptura tub E-101, E-102 i E-103	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.				
Una altra	Una altra composició alimentació de C-301	Diferent composició a la esperada.	Sense conseqüències de seguretat.				
	Una altra fase a C-301	Ruptura tub reboiler R-301	Ídem més pressió a C-301.				
	Una altra fase en A-301	Ruptura tub condensador E-303	Ídem més pressió a C-301.				
		Fallada llaç de control 3012 (tanca)	Ídem més pressió a C-301.				
		Fallada llaç de control 3012 (obre)	Ídem menys nivell A-301.				
As well as	<i>As well as</i> corrosió / erosió a C-301, R-301	Corrosió sota aïllament	Fuga de producte i possibilitat d'explosió	2	-1	C	Programa d'inspecció en vigor (1 IPL) 2 -2 C
		Erosió en tubs del R-301.	Ruptura tub reboiler R-301. Ídem més pressió a C-301.				Posar placa de protecció en l'entrada de vapor al reboiler R-301.
No	<i>No utilities</i>	Fallada energia elèctrica	Parada bomba P-301. Ídem més nivell a C-301.				

Unitat de recuperació d'àcid acètic d'una planta d'acetat de vinil monòmer

			Parada bomba P-302 i P-303. Ídem més nivell a A-301.						
	Fallada aigua de refrigeració	Fallada en E-301, augment de la pressió en C-301, Possible ruptura catastròfica. Possible explosió.	4	-1	A	La vàlvula PSV-301 obrirà a 4 barg (4 IPL)	4	-5 C	Dissenyar la PSV-301 per a aquest cas.
	Fallada vapor d'aigua	Fallada en R-301. Ídem menys pressió a C-301.							
	Fallada aire instruments	V-306 tanca V-310 tanca V-302 tanca V-104 tanca V-105 tanca V-318 obre V-346 obre V-314 tanca V-349 obre V-322 obre V-326 obre V-330 obre V-334 obre V-353 obre V-338 obre							
No	No contenció	No hi ha casos rellevants							
	5.1.2.								

5.1.2. Zones ATEX

Les zones ATEX són les àrees on hi ha una atmosfera explosiva. Totes les definicions i càlculs estan extrets de (ref. 26) i (ref. 27).

S'han identificat les àrees de la planta que estan classificades com a Zones d'Atmosfera Explosiva. Aquestes s'han classificat segons la seva perillositat:

- Zona 0: Àrea de treball en la que una atmosfera explosiva consistent en una mescla d'aire i gas o vapor o una boira inflamables està present de manera permanent o per un període de temps prolongat o amb freqüència de >1000 hores/any. A les unitats estudiades, no hi ha cap equip classificat dins d'aquesta zona.
- Zona 1: Àrea de treball en la que és probable, en condicions normals d'explotació, la formació ocasional d'una atmosfera explosiva (de 10 a 1000 hores/any). Només les canaletes de recollida s'han classificat a aquesta zona.
- Zona 2: Àrea de treball en la que no és probable, en condicions normals d'explotació, la formació d'una atmosfera explosiva (0 1 a 10 hores/any). Tots els equips estudiats han estat classificats dins d'aquesta zona.
- Zona 20, 21 i 22: Aquesta zona fa referència a l'àrea de treball en la que hi ha pols, i possibilitat d'explosió. Aquesta zona no està present en les unitats estudiades.

Els equips instal·lats en zones ATEX s'han classificat per la sensibilitat de la substància a la iniciació de l'explosió per arc elèctric o flama. Es distingeixen 3 grups:

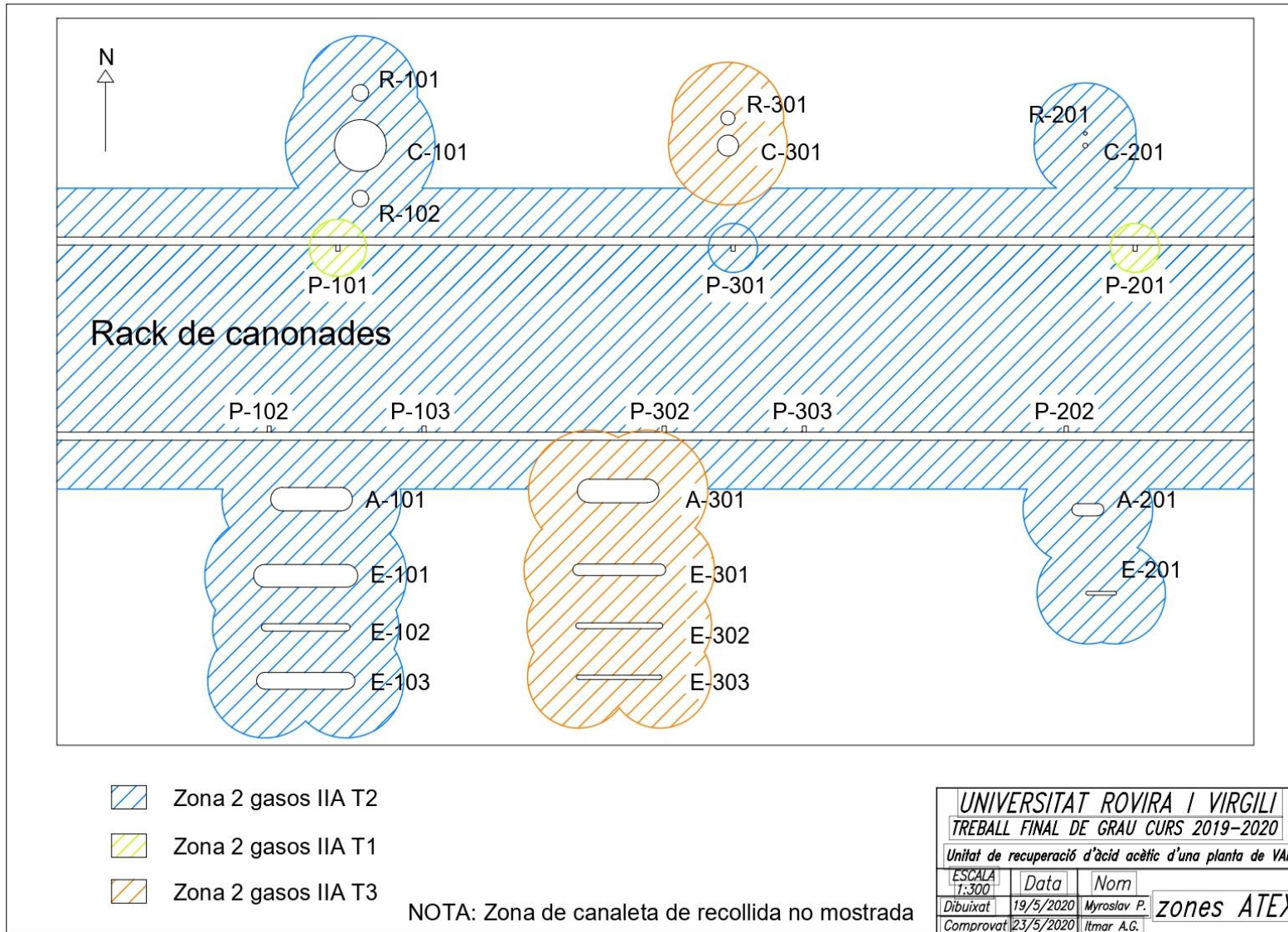
- Subgrup IIA: EMI (Energia Mínima d'Ignició) 250 microJ IEMS (Interstici Experimental Màxim de Seguretat) 0 92 mm (ref metà).
- Subgrup IIB: EMI 96 microJ IEMS 0 65 mm (ref etilè).
- Subgrup IIC: EMI 96 microJ IEMS 0 35 mm (ref hidrogen).

També s'ha classificat els equips per la sensibilitat de la substància a l'explosió per contacte amb una superfície calenta:

Taula 5.4. Classificació equips zones ATEX

Classe de temperatura	Temperatura superficial màxima (°C)
T1	< 450
T2	< 300
T3	< 200
T4	< 135
T5	< 100
T6	< 85

Seguint el mètode de determinació de les zones ATEX descrit a l'apartat A.15., s'elabora el plànol de zones ATEX de les 3 unitats estudiades:



5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions

Les vàlvules de seguretat (PSV) són les encarregades de mantenir la pressió dels equips per sota d'un límit preestablert, que acostuma a ser la pressió de disseny. Per aquest motiu, es important identificar-les i dissenyar-les correctament, per a que protegeixin l'equip on han estat instal·lades.

Després d'haver realitzat el HAZOP, es va observar que les columnes C-101, C-201 i C-301 necessitaven incorporar una PSV.

Es va estudiar dos casos diferents en els que les vàlvules de seguretat haurien d'actuar: per foc extern mostrat en l'annex A.16 (ref. 8) i per fallada d'aigua de refrigeració, d'acord amb els resultats del HAZOP. En totes les PSV dissenyades, el factor iniciador escollit va ser l'últim mencionat, ja que era el que presentava unes condicions més crítiques dels 2. El procediment seguit per a dissenyar les PSV està explicat a l'annex A.12 (ref. 23).

A la columna C-101 la PSV dissenyada s'anomena PSV-101, a la columna C-201 és la PSV-201 i a la columna C-301 es diu PSV-301.

A continuació s'adjunta una taula amb els resultats obtinguts:

Taula 5.5. Taula resultats disseny PSVs

Paràmetre	PSV-101	PSV-201	PSV-301
Tipus d'orifici	T	D	Q
Cabal de descàrrega, W (kg/h)	$9,1 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^4$
Estat fluid de descàrrega	Vapor	Vapor	Vapor
Pressió de disseny (barg)	4,1	2,5	3
Pressió de descàrrega (barg)	4,8	3	3,7
Àrea orifici normalitzada (cm ²)	167,5	0,71	71,3
Coefficient de descàrrega, K	0,946	0,946	0,946
Coefficient d'expansió, C	0,628	0,626	0,628
Pes molecular (g/mol)	70,5	74,3	71,5
Temperatura (K)	394	384	383

Per últim, es mostren les fulles d'especificació de la PSV-101, PSV-201 i PSV-301 respectivament:

				RELIEF VALVE		
				REVISION DATE	Juny 10, 2020	
				ITEM No.	1	
				TAG No.	PSV 101	
				VALVE SERVICE	Overpressure C-101	
				MANUFACTURER	VALVULAS NACIONAL	
				TYPE No.	3-5211	
				NUMBER VALVES REQ'D	1	
				NORMAL SYSTEM PRESS., BARG	0,2	
				NORMAL SYSTEM TEMP., °C	73	
				GOVERNING UPSET CONDITION	COOLING WATER FAILURE	
				ACCUMULATION, PERCENT	25	
MADE BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 08/06/2020 APP. BY: Roger Català Dalmau DATE: 10/06/2020	VALVE SIZING CONDITIONS	FLOWING FLUID		Acetat de vinil-aigua-àcid acètic		
		FLOW QUANTITY, kg/h		90728		
		FLOW SPECIFIC GRAVITY		3,20E-01		
		FLOW TEMP., °C		121		
		FLOW VISCOSITY, cP		0,01		
		SET PRESSURE, BAR G		4,1		
		ACCUM. INLET PRESSURE, BAR G		0,4		
		BACK PRESS., BAR G		0		
		COMPRESSIBILITY FACTOR Z		1		
		REQ'D ORIFICE AREA, CM2		158		
MADE BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 08/06/2020 APP. BY: Roger Català Dalmau DATE: 10/06/2020	CONSTRUCTION	MAT'L SIZE/RATING	NOMINAL SIZE INCH.		8	
			ORIFICE AREA, CM2/VALVE		167,5	
		TOTAL ACTUAL AREA, CM2		167,5		
		BODY CONN. & RATING -		INLET	8-150	
				OUTLET	10-150	
		ACCESSORIES		BODY		A216WCB
				BONNET		AC/CS
				SPRING		AC/CS
		RADIATING BONNET		NO		
		STYLE TOP		NO		
LIFTING GEAR - REG./PACKED		NO				
TEST ROD		NO				
REMARKS:						

		RELIEF VALVE	
		REVISION DATE	Juny 9, 2020
		ITEM No.	
		TAG No.	PSV 201
		VALVE SERVICE	Overpressure C-201
		MANUFACTURER	VÁLVULAS NACIONAL
		TYPE No.	3-5211
		NUMBER VALVES REQ'D	1
MADE BY: Roger Català Dalmau DATE: 05/06/2020 APP. BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 06/06/2020	VALVE SIZING CONDITIONS	NORMAL SYSTEM PRESS., BARG	0,14
		NORMAL SYSTEM TEMP., °C	74
		GOVERNING UPSET CONDITION	COOLING WATER FAILURE
		ACCUMULATION, PERCENT	25
		FLOWING FLUID	Acetat de vinil-aigua-acetat d'etil
		FLOW QUANTITY, kg/h	111
		FLOW SPECIFIC GRAVITY	
		FLOW TEMP., °C	111
		FLOW VISCOSITY, cP	9,60E-03
		SET PRESSURE, BAR G	2,5
MADE BY: Roger Català Dalmau DATE: 05/06/2020 APP. BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 06/06/2020	CONSTRUCTION	ACCUM. INLET PRESSURE, BAR G	0,25
		BACK PRESS., BAR G	0
		COMPRESSIBILITY FACTOR Z	1
		REQ'D ORIFICE AREA, CM2	0,27
		NOMINAL SIZE INCH.	1
		ORIFICE AREA, CM2/VALVE	0,7
		TOTAL ACTUAL AREA, CM2	0,7
		BODY CONN. & RATING - INLET	1-150
		BODY CONN. & RATING - OUTLET	2-150
		BODY	A216WCB
BONNET	AC/CS		
SPRING	AC/CS		
ACCESSORIES	RADIATING BONNET	NO	
	STYLE TOP	NO	
	LIFTING GEAR - REG./PACKED	NO	
	TEST ROD	NO	
REMARKS:			

				RELIEF VALVE	
				REVISION DATE	Juny 9, 2020
				ITEM No.	1
				TAG No.	PSV 301
				VALVE SERVICE	Overpressure C-301
				MANUFACTURER	VALVULAS NACIONAL
				TYPE No.	3-5211
				NUMBER VALVES REQ'D	1
				NORMAL SYSTEM PRESS., BARG	0,2
				NORMAL SYSTEM TEMP., °C	69
				GOVERNING UPSET CONDITION	COOLING WATER FAILURE
				ACCUMULATION, PERCENT	25
MADE BY: Roger Català Dalmau DATE: 05/06/2020 APP. BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 06/06/2020	VALVE SIZING CONDITIONS			FLOWING FLUID	Acetat de vinil-aigua-acetaldehid
				FLOW QUANTITY, kg/h	19640
				FLOW SPECIFIC GRAVITY	
				FLOW TEMP., °C	111
				FLOW VISCOSITY, cP	
				SET PRESSURE, BAR G	3
				ACCUM. INLET PRESSURE, BAR G	0,3
				BACK PRESS., BAR G	0
				COMPRESSIBILITY FACTOR Z	1
				REQ'D ORIFICE AREA, CM2	41,6
		MADE BY: Roger Català Dalmau DATE: 05/06/2020 APP. BY: Itmar Alsinet Gili DATE: 06/06/2020	CONSTRUCTION	MAT'L SIZE/RATING	NOMINAL SIZE INCH.
ORIFICE AREA, CM2/VALVE					71,3
TOTAL ACTUAL AREA, CM2					71,3
BODY CONN. & RATING -					INLET 6-150
				OUTLET 8-150	
ACCESSORIES	BODY			A216WCB	
	BONNET			AC/CS	
	SPRING			AC/CS	
	RADIATING BONNET			NO	
	STYLE TOP			NO	
LIFTING GEAR - REG./PACKED				NO	
TEST ROD				NO	
REMARKS:					

5.1.4. Equips de protecció contra incendis

En aquest apartat es descriuran els equips de protecció contra incendis que caldrà instal·lar a la planta estudiada. Aquests són de gran importància ja que la majoria de substàncies amb les que es treballa són inflamables.

En primer lloc s'instal·larà un sistema de protecció contra incendis capaç de garantir la pressió i el cabal d'aigua necessari per a cobrir les necessitats de la planta. S'instal·larà un tanc per a assegurar la quantitat mínima d'aigua i un tanc de combustible per a assegurar el funcionament de les bombes dièsel. Per a distribuir l'aigua d'aquest tanc, s'instal·laran una bomba Jockey i una combinació de bombes elèctriques i dièsel que garanteixin grans cabals i bones pressions a tots els terminals de la xarxa que s'especificaran a continuació.

S'instal·larà un sistema de diluvi o sistema d'aigua polvoritzada i un sistema d'hidrants de columna humida. Amb aquests terminals es vol protegir les zones més importants i per les que més cabal hi circula de la planta, com per exemple les columnes de destil·lació o els reboilers.

Per últim, també es creu convenient instal·lar extintors, amb l'escuma com a agent extintor, per tota la planta.

5.1.5. Pla d'autoprotecció

Qualsevol tipus d'empresa ha de disposar d'un Pla d'Emergència per donar resposta a tots els requeriments legals aplicables al desenvolupament de l'activitat. Els objectius que qualsevol PAU ha de complir segons la "Guia para la elaboración de un Plan de Autoprotección" del ministeri de l'interior" (ref. 36) són els següents:

- Descripció de l'establiment, les seves instal·lacions i zones de risc potencial
- Identificar, analitzar i avaluar els riscos propis i externs.
- Establir formes de col·laboració amb el sistema públic de Protecció Civil
- Garantir la fiabilitat de les instal·lacions i els mitjans de protecció
- Garantir la disponibilitat de persones formades i preparades per a una actuació ràpida i eficaç.
- Garantir la intervenció immediata, la evacuació i/o confinament (si fos necessari).
- Identificar els mitjans de protecció existents i necessaris per a mitigar els possibles esdeveniments (humans i materials).
- Organitzar els mitjans humans i materials i planificar les seves obligacions.
- Complir la normativa vigent

A continuació, s'exposen de forma resumida les actuacions proposades en aquesta guia en cas d'emergència del tipus d'incendi i explosió, fuga de gas i abocament de líquid.

Les emergències que s'estudien en el pla d'autoprotecció són d'origen intern i en funció de la gravetat es divideixen en conat d'emergència, emergència parcial i general.

5.1.5.1. Detecció d'alerta

L'alerta consisteix a avisar de la forma més ràpida possible als equips d'emergència del propi establiment i sol·licitar si es requereix ajuda d'intervenció externa.

El sistema de detecció serà:

- Detecció automàtica mitjançant mitjans tècnics (detectors, trets de sistemes fixos, etc.)
- Detecció personal (mitjançant polsadors, mitjans de comunicació, etc.).

5.1.5.2. Mecanismes d'alarma

L'alarma serà un avís/senyal (clar i concís) per la qual s'informarà el personal per a què segueixi una sèrie d'instruccions específiques davant la situació d'emergència.

D'una banda, s'identifiquen les persones encarregades de donar els avisos a través dels mitjans disponibles en els llocs de treball que ocupen. Caldrà també fixar el lloc on s'han de reunir el director del pla d'actuació i la persona encarregada de donar els avisos, per tal de coordinar les actuacions i comunicacions durant l'emergència.

El director del pla d'actuació ha de notificar l'emergència a el Centre de Coordinació d'Emergències de Tarragona (Telèfon: 112).

5.1.5.3. Evacuació i/o confinament

El pla ha de donar resposta quan el succés requereixi d'evacuació i / o confinament, per això s'especifica que l'ordre es donarà per megafonia (missatge parlat) i per senyal acústica (xiulet intermitent o fix en cas d'evacuació o confinament, respectivament).

- Evacuació: el personal de la planta i contractistes, que es puguin trobar realitzant treballs a l'establiment, s'han de dirigir a el punt de reunió a l'espera de l'arribada de l'equip d'evacuació.
- Confinament: a l'avís amb senyal permanent, el personal i contractistes, que es puguin trobar realitzant treballs en l'establiment, seran destinats a les zones habilitades per a aquest tipus de succés.

En el cas específic dels contractistes, se'ls formarà i informarà dels punts clau d'aquest pla d'autoprotecció abans que accedeixin al seu lloc de treball.

A la taula 5.6. es mostren les accions que s'han de dur a terme quan sorgeix una emergència:

Taula 5.6. Actuacions a realitzar per a cada cas plantejat

Cas d'emergència	Evacuació	Confinament
Incendi		X
Incendi amb possible explosió	X	
Fuga de gas		X
Vessament de líquid		X

5.1.5.4. Prestació de les primeres ajudes

El director del pla d'actuació dirigirà a la sala de control les primeres actuacions.

Per a això, es disposarà d'un equip d'actuació (específicament format) encarregat d'actuar en els primers moments de l'emergència la funció es centra en utilitzar els equips de protecció contra incendis (si no suposa un risc elevat per a la seva pròpia salut / seguretat) i efectuar els talls de subministraments energètics necessaris.

5.1.5.5. Mode de recepció de les ajudes externes

El director del pla d'actuació rebrà les ajudes externes a la sala de control, es comunicarà amb l'equip d'ajuda externa per informar-los detalladament de la situació i facilitar-los l'accés a al lloc de l'esdeveniment.

5.2. Seguretat laboral

5.2.1. Avaluació de Riscos Laborals

A continuació es mostra una taula amb els riscos laborals més freqüents del personal que treballa a les 3 unitats estudiades. També es proposaran una sèrie de mesures correctores per a cada risc identificat:

Taula 5.7. Identificació de riscos laborals i mesures protectores

Identificació de riscos laborals	Mesures correctores
Caiguda de persones a diferent nivell	Ús correcte de les escales Utilitzar EPI per treballs en alçada Revisió periòdica d'escales, accessos i passos
Caiguda de persones al mateix nivell	Utilització de calçat adequat Respectar senyalitzacions
Cops contra objectes immòbils	Il·luminació de la planta adequada Circular per les zones establertes Ús de casc i calçat de seguretat
Sobreesforços	Realitzar les operacions que requereixen esforç físic amb mitjans mecànics Adoptar posicions correctes reduint així l'esforç postural
Incendis	Seguir el procediment establert Utilització de roba de treball ignífuga
Atropellaments, xocs o cops amb altres vehicles	Apartar-se de vehicles maniobrant Respectar les balises provisionals
Cremades	Utilització de guants Respectar senyalitzacions de canonada calenta

5.2.2. Equips de protecció individual

“S'entén per EPI qualsevol equip destinat a ser portat o subjectat pel treballador perquè es protegeixi d'un o diversos riscos que puguin amenaçar la seva seguretat o salut, així com qualsevol complement o accessori destinat a tal finalitat” (definició RD 773/1997).

Tot el personal present en la instal·lació haurà de complir aquesta normativa. La senyalització de seguretat de les zones, tindrà consideració del seu us obligatori amb caràcter general. És obligatori l'ús dels EPI que s'han establert a partir de l'avaluació inicial de riscos,

en l'aplicació de la Llei 31/95, per la prevenció de riscos laborals, i sobre els quals s'ha informat de forma individualitzada a cada treballador de la instal·lació.

Amb caràcter general per aquesta instal·lació, serà obligatori l'ús dels EPI següents: calçat, casc, ulleres, guants i roba ignífuga i antiestàtica.

5.2.3. Incidents i accidents

L'objectiu d'aquest protocol és regular les actuacions a realitzar després d'algun accident o incident, així com el les situacions en que s'hagi produït danys en la salut dels treballadors o quan apareguin indicis de que les mesures de prevenció són insuficients. Aquesta investigació serà d'aplicació a totes les persones que realitzin alguna activitat en la instal·lació.

Es considerarà un incident qualsevol fet relacionat amb el treball en el qual succeeixi o podria succeir un dany, un deteriorament de la salut o una fatalitat.

Es considera un accident quan un incident hagi originat un dany, un deteriorament de la salut o una fatalitat.

La investigació d'accidents la realitzen els comandaments mitjos del departament afectat i tenen la obligació d'informar al cap seguretat i a un delegat de prevenció, per escrit, de qualsevol accident que s'hagi produït en la seva àrea de responsabilitat. El cap de seguretat, el comandament mig i el delegat de prevenció formen el comitè investigador que emetrà el corresponent informe d'investigació en les 72 hores posteriors a l'accident.

Finalment, s'establirà el cost final de la pèrdua econòmica i es considerarà la necessitat de revisar l'avaluació de riscos del lloc de treball afectat.

5.2.4. Formació en seguretat

La formació en seguretat que córrer a càrrec de la empresa, es realitzarà de manera anual mitjançant uns cursos per mantenir al personal de planta format i amb els coneixements necessaris per actuar de la manera més correcta i eficient en cas d'emergència.

Per tal de formar a les persones de la manera més eficient possible, es realitzen sessions teòriques que consten d'un curs de formació, un curs basic de seguretat i unes jornades de prevenció i sessions pràctiques que consten d'una sessió de continguts bàsics i un simulacre, totes aquestes es realitzen de forma distribuïda durant l'any.

6. MANUAL DE MANTENIMENT

Tota planta química requereix un manteniment regular, és a dir, la conservació i restabliment de sistemes o equips a un estat que permeti garantir el seu funcionament amb un cost mínim. Les diferents activitats que es dedueixen són:

- Prevenció i/o correcció d'averies.
- Quantificar i/o avaluar l'estat de les instal·lacions.
- Aspecte econòmic, o costos.

Però, el primer pas abans de concretar com se gestionaran els treballs és establir la política de manteniment, per tal de definir els objectius tècnic-econòmics del servei. Els principals objectius són:

- Evitar accidents i garantir la seguretat de la planta.
- Optimitzar el funcionament dels equips.
- Ampliar la vida útil dels sistemes o equips.
- Reparar ràpidament emergències que puguin sorgir mitjançant mètodes definits.

El següent pas és establir el mètode i tipus de manteniment a aplicar, que s'explicaran breument als següents apartats. Aquesta informació està extreta de (ref. 29).

6.1. Manteniment correctiu

És el conjunt d'activitats de reparació i substitució d'elements deteriorats, que es realitza quan apareix la fallada per reparar averies. Pot ser desenvolupat com a:

- Manteniment aplaçat: no es dona lloc immediatament després de la detecció de fallada, però és retardat d'acord amb la normativa del manteniment i es corregeix la font d'averia. Baixos costos de materials i recanvis, però alt de mà d'obra.
- Manteniment immediat: es dur a terme quan s'ha detectat la fallada per evitar conseqüències inacceptables. La qualitat del manteniment sol ser baixa degut al poc temps disponible per la reparació.

Òbviament, les averies succeeixen imprevisiblement, fet que provoca trastorns a la producció.

6.2. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu pretén disminuir o evitar en certa mesura la probabilitat de fallada, mitjançant una rutina d'inspeccions periòdiques i la renovació dels elements deteriorats. A les inspeccions es procedeix al desmuntatge total o parcial de la màquina amb la fi de revisar l'estat dels seus elements, substituint aquells que s'estimi oportú. D'altres elements són substituïts sistemàticament a cada inspecció, com per exemple canvi dels rodaments d'una bomba centrífuga.

Tot i això, el greu inconvenient que presenta l'aplicació d'aquest tipus de manteniment és l'elevat cost de les inspeccions. A més, en molts casos no s'aprofita la vida útil completa de l'equip. Centrant-nos en les unitats a estudiar, les revisions periòdiques a realitzar són les següents:

- Revisions visuals a diari de les canonades i vàlvules, per tal de comprovar que no hi hagi fuites de fluid i que les vàlvules estiguin ben lubricades i funcionin correctament.
- Control i calibratge de tots els instruments del procés cada setmana per assegurar la qualitat de producte final.
- Manteniment setmanal de les bombes per comprovar el seu correcte funcionament.
- Revisió mensual de l'estat de les vàlvules de seguretat. S'han de netejar bé per evitar que la brutícia pugui bloquejar la sortida del fluid.

6.3. Manteniment predictiu

Consisteix amb el seguiment i diagnòstic continu que permeten una intervenció correctora immediata, com a conseqüència de la detecció d'algun símptoma de fallada. A més, s'utilitza com a resposta a la necessitat de reduir els costos dels mètodes tradicionals de manteniment, que són els preventiu i correctiu. D'entre els avantatges més importants d'aquest tipus de manteniment, es pot citar:

- Detectar i identificar amb antelació els defectes que poguessin aparèixer, sense necessitat de desmuntar la màquina ni interrompre el seu funcionament.
- Programar el subministrament de respostos i la mà d'obra.
- Reduir el temps de reparació, ja que prèviament s'ha identificat l'origen de l'avaría i els elements afectats per la mateixa.

Tot i això, podria ser que es presentessin avaries no detectades pel programa de vigilància, degut a que no és viable una monitorització de tots els paràmetres funcionals significatius per tots els equips d'una instal·lació.

6.4. Manteniment legal

El manteniment legal engloba a aquell manteniment preventiu obligatori recollit a diferents disposicions de la normativa d'aplicació, on s'especifica en general tant les tasques a realitzar, la freqüència, qui està autoritzat per dur-les a terme i com se deixa una constància documental de la seva realització.

Per exemple, l'anomenada ITC, o Instrucció Tècnica Complementària, s'aplica a la instal·lació, inspeccions periòdiques i reparacions de tots els equips a pressió inclosos al Reglament d'Equips a Pressió (REP) instal·lats a refineries de petrolis i plantes petroquímiques (ref. 34).

Els recipients a pressió se classifiquen atenent a la seva perillositat amb els següents criteris:

- Potencial de risc, és a dir, el producte de la pressió màxima admissible (PS en barg) pel volum (V en m³):
 - Potencial 1: Major o igual a 1000.
 - Potencial 2: Major o igual a 300 i menor de 1000.
 - Potencial 3: Major o igual a 25 i menor de 300.
 - Potencial 4: Major o igual a 10 i menor de 25.
 - Potencial 5: Menor de 10.
- Característiques del fluid:
 - Grup 1.1: fluids inflamables en forma de vapors, líquids, gasos i les seves mescles, a temperatura màxima de servei T_{ms} igual o superior a 200 °C; gasos o líquids classificats com a molt tòxics i hidrogen a qualsevol temperatura a concentracions superiors al 75% en volum.
 - Grup 1.2: altres fluids perillosos inclosos al grup 1 de l'article 9 del Real Decret 769/1999 que no classifiquin al grup anterior.
 - Grup 2.1: gasos no perillosos inclosos al grup 2 de l'article 9 del RD 769/1999 (vapor d'aigua, gasos inerts, innocus, aire...).
 - Grup 2.2: altres fluids no perillosos que no se classifiquen al grup anterior.
- Classes d'equips: mitjançant la combinació del potencial de risc i de les característiques dels fluids, els recipients de la present ITC se classifiquen segons la taula següent:

Taula 6.1. Classes d'equips

Potencial de risc	Característiques dels fluids			
	1.1	1.2	2.1	2.2
1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 2
2	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 3
3	Classe 2	Classe 3	Classe 3	Classe 4
4	Classe 3	Classe 4	Classe 4	Classe 5
5	Classe 4	Classe 5	Classe 5	Classe 5

- Periodicitat d'inspeccions: un cop els recipients tinguin totes les característiques i les dades del fabricant i s'hagin instal·lat, les empreses instal·ladores s'encarregaran de posar-ho en servei. A partir d'aquí, es realitzaran inspeccions periòdiques atenent a la classificació expressada a la taula anterior, pels agents i amb les periodicitats màximes següents.

Taula 6.2. Periodicitat d'inspeccions

Classificació de recipient	Característiques dels fluids		
	A	B	C
Classe 1	Inspector propi 4 anys	O.C.A. 6 anys	O.C.A. 12 anys
Classe 2	Inspector propi 6 anys	O.C.A. 8 anys	O.C.A. 16 anys
Classe 3	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 10 anys	No requereix
Classe 4	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 12 anys	No requereix
Classe 5	Inspector propi 8 anys	No requereix	No requereix

La O.C.A. és l'organisme de control autoritzat, entitat que té la finalitat de verificar el compliment de les condicions de seguretat obligatori dels productes i instal·lacions, mitjançant activitats de certificació, assaig, inspecció o auditoria.

A més de les inspeccions periòdiques, s'hauran de realitzar quants controls, inspeccions o proves se considerin necessaris per garantir la integritat dels equips i instal·lacions. Quan a les inspeccions periòdiques, així com les addicionals, se descobreixin corrosions o danys, s'haurà de seguir la seva evolució mitjançant les inspeccions a les parades de les instal·lacions per decidir si se procedeix a realitzar reparació.

A continuació es classifiquen els equips del procés de destil·lació de la unitat de columna azeotròpica i s'adjudica una periodicitat d'inspecció i quin organisme se n'encarrega:

Taula 6.3. Classificació dels equips de la unitat de columna azeotròpica

Equip	PS (barg)	V (m³)	Potencial	Grup	Classe
C-101	4,1	1,8·10 ²	2	1.1	Classe 1
R-101	4,1	3,2	4	1.1	Classe 3
R-102	4,1	3,2	4	1.1	Classe 3
E-101	4,1	7,6	3	1.1	Classe 2
E-102	4,1	0,82	5	1.1	Classe 4
E-103	4,1	4,3	4	1.1	Classe 3
A-101	4,1	18	3	1.1	Classe 2

A continuació es classifiquen els equips del procés de destil·lació de la unitat de columna d'acetat etil i s'adjudica una periodicitat d'inspecció i quin organisme se n'encarrega:

Taula 6.4. Classificació dels equips de la unitat d'acetat d'etil

Equip	PS (barg)	V (m³)	Potencial	Grup	Classe
C-201	2,5	0,94	3	1.1	Classe 2
R-201	2,5	0,05	5	1.1	Classe 4
E-201	2,5	0,2	5	1.1	Classe 4
A-201	2,5	0,53	4	1.1	Classe 3

A continuació es classifiquen els equips del procés de destil·lació de la unitat de columna de deshidratació i s'adjudica una periodicitat d'inspecció i quin organisme se n'encarrega:

Taula 6.5. Classificació dels equips de la unitat de columna de deshidratació

Equip	PS (barg)	V (m³)	Potencial	Grup	Classe
C-301	3	62	2	1.1	Classe 1
R-301	3	1,5	5	1.1	Classe 4
E-301	3	2,0	4	1.1	Classe 3
E-302	3	0,5	5	1.1	Classe 4
E-303	3	0,28	5	1.1	Classe 4
A-301	3	6,5	3	1.1	Classe 2

Llavors, es valora en cada cas quin nivell d'inspecció s'ha d'aplicar. Cadascun correspon a un temps determinat fins la pròxima inspecció, que és el que s'indica a la taula 7.2. El nivell A

és inspecció en servei en que almenys ha d'haver una comprovació de la documentació dels equips a pressió i una completa inspecció visual; el B es duen a terme fora de servei en que a més del que es fa a la inspecció A, també s'analitzen visualment totes les zones sotmeses a majors esforços i a corrosió, i comprovació d'espessors i dels accessoris de seguretat; i el C es fa fora de servei i amb prova de pressió, i per tant amb un interval de temps d'inspecció més elevat.

6.5. RCM (Reliability Centered Maintenance)

S'ha realitzat un estudi de manteniment centrat en la fiabilitat (RCM) per tal de focalitzar els recursos de manteniment amb les possibles fallades més crítiques, per la seguretat, el medi ambient i la productivitat de les instal·lacions industrials. Aquesta és una altra metodologia qualitativa més completa pel que fa a manuals de manteniment. La bibliografia seguida per a realitzar aquest estudi ha sigut *Aplicación del RCM a un proceso químico* (ref. 18).

Els objectius des d'un punt de vista de manteniment del procés són:

- Reducció de la probabilitat de fallades que puguin afectar el medi ambient i a la seguretat de processos.
- Augment de la fiabilitat i disponibilitat de les instal·lacions i equips, és a dir, disminuir el temps de parada de planta per avaries imprevistes que impedeixin complir amb els plans de producció.
- Reducció de costos de manteniment.

Per l'aplicació del RCM en el procés, s'ha seguit els següents passos de l'1 al 6, extrets de la (ref. 18).

6.5.1. Separació d'àrees o sistemes.

L'objectiu d'aquesta fase és dividir el procés en diferents àrees o sistemes amb les majors dimensions possibles per a, posteriorment, discutir aquelles àrees no crítiques. A la figura 6.1. es pot veure el procés de la unitat de columna azeotròpica que s'ha descompost amb les àrees llistades en la taula següent 6.6:

Taula 6.6. Sistemes unitat columna azeotròpica

Codi	Sistema
S001	Alimentacions
S002	Sistema de separació
S003	Condensació
S004	Sistema de recirculació
S005	Recollida destil·lat
S006	Recollida fons de columna

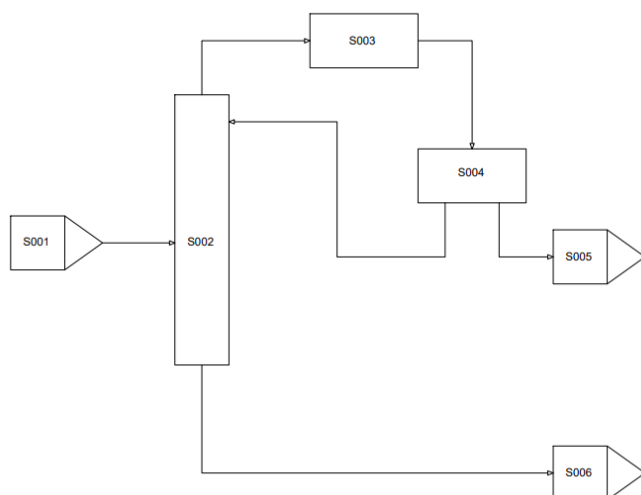


Figura 6.1 Unitat columna azeotròpica amb les corresponents àrees.

A la figura 6.2. es mostra la unitat d'acetat d'etil que s'ha dividit en les àrees llistades a la taula següent 6.7:

Taula 6.7. Sistemes unitat acetat d'etil

Codi	Sistema
T001	Alimentacions
T002	Sistema de separació
T003	Condensació
T004	Sistema de recirculació
T005	Recollida destil·lat
T006	Recollida fons de columna

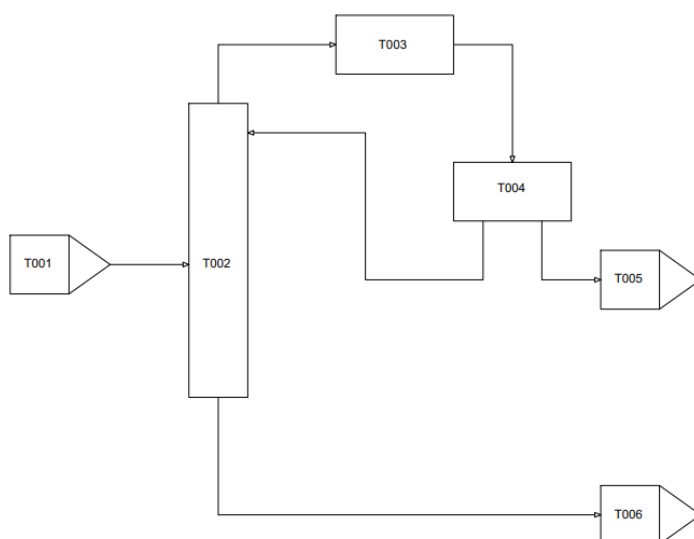


Figura 6.2 Unitat d'acetat d'etil amb les àrees corresponents.

A la figura 6.3. es mostra la unitat de deshidratació que s'ha dividit en les àrees llistades a la taula següent 6.8:

Taula 6.8. Sistemes unitat de deshidratació

Codi	Sistema
U001	Alimentacions
U002	Sistema de separació
U003	Condensació
U004	Sistema de recirculació
U005	Recollida destil·lat
U006	Recollida fons de columna

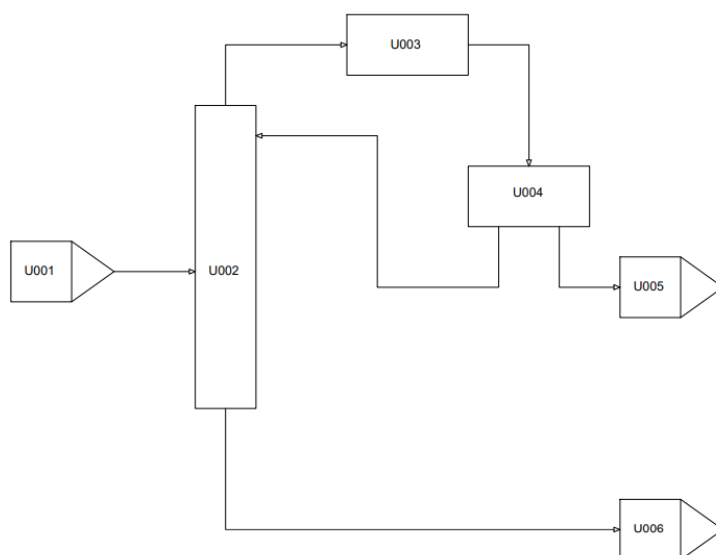


Figura 6.3 Unitat de deshidratació amb les àrees corresponents.

6.5.2. Càlcul de la criticitat d'àrees o sistemes

En aquesta fase s'analitza cadascuna de les àrees segons els següents criteris:

- Seguretat i medi ambient.
- Disponibilitat.
- Fiabilitat.

Valorant la probabilitat i conseqüències d'una fallada, determinant d'aquesta manera la criticitat dels sistemes. Per això, s'empren les taules i matrius 6.9. i 6.10. segons el criteri de seguretat i medi ambient, i 6.11 segons el criteri de fiabilitat i disponibilitat:

Taula 6.9. Conseqüències per la seguretat i medi ambient

Efecte a les persones	Extensió dels danys	Impacte ambiental	Valor
Morts	Els efectes arriben a les comunitats veïnes	Molt greu, llarga duració de contaminació	10
Lesions molt greus: hospitalització	Afecta a tot el recinte de la fàbrica	Important, descontaminació difícil	6
Lesions que requereixen tractaments	Extensió molt localitzada	Poc important	2
Lesions menors	No hi ha extensió	Menor	1

Taula 6.10. Probabilitat de fallada per la seguretat i medi ambient

Probabilitat de fallada	Valor
Improbable	1
Poc probable	2
Probable	6
Molt probable	10

Taula 6.11. Fiabilitat i disponibilitat

	Impacte de fallada	Disponibilitat		
		Alt	Mitjà	Baix
Fiabilitat	Alt	10	8	6
	Mitjà	8	6	5
	Baix	6	4	2

El valor final de la criticitat relacionada amb la seguretat i medi ambient s'obté amb el producte de les dades obtingudes per les taules 6.9. i 6.10. S'ha diferenciat la criticitat depenent de la seguretat i medi ambient, per una banda, i segons la fiabilitat i disponibilitat per l'altra. La valoració dels criteris de seguretat i medi ambient és prioritària per determinar el grau de criticitat de les àrees.

6.5.3. Elecció del nivell crític d'anàlisi

A cada fase final d'anàlisi s'ha de fixar un valor per sota del qual les àrees, sistemes, equips o formes de fallades són apartats del mètode RCM i per tant, separats dels programes de manteniment preventiu; les seves avaries, per la seva baixa criticitat, són resoltes de forma correctiva. Es fixa com a límit inferior 4 per al criteri de seguretat i medi ambient, i 6 per al de disponibilitat i fiabilitat.

Com que les 3 unitats tenen les mateixes àrees, els resultats obtinguts a partir de la taula 6.12 eren iguals. Això es repeteix fins al final del manual de manteniment. Per això a partir d'ara es mostrarà únicament els resultats obtinguts per a una unitat, ja que el valor de les altres és el mateix. A continuació s'avalua la criticitat d'àrees.

Taula 6.12. Càlcul de la criticitat d'àrees

Sistema	Seguretat i medi ambient			Disponibilitat i fiabilitat
	Conseqüències	Probabilitat	Valor	
Alimentacions	1	1	1	10
Sistema de separació	2	1	2	8
Condensació	6	6	36	6
Sistema de recirculació	1	2	2	6
Recollida destil·lat	6	2	12	2
Recollida fons de columna	6	2	12	2

S'obté que l'àrea més crítica de les unitats estudiades és la condensació, el valor del qual és de 36 pel criteri de seguretat i medi ambient, i un total de 42 de criticitat sumant-li els de disponibilitat i fiabilitat.

6.5.4. Anàlisi de fallades funcionals crítiques

Consisteix en descompondre els sistemes crítics, en aquest cas el de condensació, amb els seus equips i definint exactament les funcions que té encomanades. Els equips tenen tres classes de funcions:

- Funció principal: aquella per la que l'equip ha estat dissenyat.
- Funció secundària: aquella que sense ser la principal, és necessària per al funcionament de l'equip.
- Funció de protecció: la necessària per protegir les persones i instal·lacions des del punt de vista de seguretat.

Un cop conegudes les funcions de cada equip del sistema, se determinen les fallades funcionals i els seus mètodes de detecció, per posteriorment determinar la seva criticitat. S'utilitzen els següents criteris: disponibilitat, freqüència, detectabilitat, i seguretat i medi ambient. Per a això, són usades les taules 6.13, 6.14, 6.15. i 6.16. A continuació es mostren les taules de criticitat de les fallades funcionals, segons els criteris esmentats:

Taula 6.13. Disponibilitat

Disponibilitat	Valor
Parada de planta superior a 12 hores	4
Parada de planta de 6 a 12 hores	3
Parada de planta inferior a 6 hores	2
Sense efecte (equips redundants)	1

Taula 6.14. Freqüència

Freqüència	Valor
Menor que cada 8760 hores	4
Entre 8760 hores i 17520 hores	3
Entre 17520 hores i 35040 hores	2
Major que cada 35040 hores	1

Taula 6.15. Detectabilitat

Detectabilitat	Valor
La fallada funcional és indetectable o la seva detecció no impedeix la no disponibilitat	2
La detecció de la fallada funcional és possible i es pot corregir sense que es produeixi la parada de la planta	1

Taula 6.16. Seguretat i medi ambient

Efecte a les persones	Extensió dels danys	Impacte Ambiental	Valor
Morts	Els efectes arriben a les comunitats veïnes	Molt greu, llarga duració de contaminació	9
Lesions molt greus: hospitalització	Afecta a tot el recinte de la fàbrica	Important, descontaminació difícil	6
Lesions que requereixen tractaments	Extensió molt localitzada	Poc important	3
Lesions menors	No hi ha extensió	Menor	1

A la taula 6.17. es mostra l'exemple de la fulla d'anàlisi de les fallades funcionals del condensador, equip pertanyent a l'àrea més crítica de la taula 6.12:

Taula 6.17. Fulla d'anàlisi de fallades funcionals.

Sistema S003		Condensador						Criticitat: 42	
Funció	F. funcional	M. detecció	D	F	D	S	Total	Feina preventiva	Per
Condensació de fluid procés costat-carcassa	Desviació del paràmetre T	Indicador de pressió	2	3	1	1	6	Bypass al condensador quan es detecti ΔP excessiu per neteja	Planta
Contenir aigua	Fuga aigua	Inspecció	1	1	2	1	2		
Contenir fluid procés	Fuga fluid procés	Detector acetat de vinil	2	4	2	2	32	Veure causes de fallades tècniques	Manteniment

6.5.5. Anàlisi de causes de fallades tècniques

En aquesta fase de desenvolupament de l'estudi RCM es valora la forma en què han fallat els elements que componen els equips. Les fallades tècniques són, generalment, les causes de les fallades funcionals. El procés d'anàlisi de formes i causes de fallades tècniques consisteix en:

- Descompondre l'equip amb elements susceptibles de necessitar ser mantinguts.
- Determinar les diferents formes de fallades que pren cada element.
- Definir les diferents causes de forma de fallada.
- Valorar la criticitat de cada causa de fallada.
- Determinar les feines de manteniment preventiu o modificatiu que elimini o redueixi la probabilitat de fallada.

Per la valoració de la criticitat s'utilitzen les taules de l'anterior fase, i s'afegeix un altra concepte: cost de reparació (taula 6.18.).

Taula 6.18. Criticitat de formes i causes de fallades funcionals

Cost de reparació	Valor
Cost superior a 36000 €	8
Entre 18000 i 36000 €	6
Entre 6000 i 18000 €	4
Cost menor a 6000 €	2

Finalment, per realitzar aquesta fase s'utilitza la fulla de formes i causes de fallades tècniques per a l'exemple del condensador, a la taula 6.19.

Taula 6.19. Fulla d'anàlisi de formes i causes de fallades tècniques

Element mantenible	Forma de fallada	Causa de fallada	Efecte	D	F	C	S	Total	Feina	Freq.	Cost anual (€)
Carcassa	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota aïllament i localitzada	Fuga fluid de procés a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
Tubuladures c. carcassa	Fallada junta	Error humà al muntatge	Fuga fluid de procés a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
		Deteriorament material junta	Fuga fluid de procés a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
Feix tubular	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota dipòsit	Fuga aigua cap a procés	2	3	6	1	36	Control qualitat condensat	Setmanal	1500
									Mesurar espessors residuals	Semestral	3000
Capçal superior	Pèrdua d'espessor	Corrosió (erosió) per aigua	Fuga aigua cap a exterior	2	1	2	1	4	Manteniment correctiu		
Tubuladures aigua	Fallada junta	Error humà al muntatge	Fuga fluid de procés a exterior	1	2	2	3	12	Inspecció muntatge	Annual	200

6.6. Conclusions del manteniment basat en la fiabilitat a les diferents unitats (RCM)

El mètode RCM serveix per realitzar un anàlisi detallat dels equips que componen el procés, definint les seves fallades funcionals i tècniques fixant unes feines de manteniment preventiu, predictiu o modificatiu, que impedeixin les avaries més crítiques abans que es produeixin. Aquest mètode ha d'estar combinat amb un bon anàlisi d'avaries, control de l'evolució de la disponibilitat i fiabilitat, control de costos per equip, etc., de manera que es vagi corregint l'estudi i el programa preventiu segons els resultats.

Pel que fa a les unitats estudiades, els equip més crítics són els condensadors, tal i com es pot observar a la taula 6.12. Es mostren les formes de fallada i les seves causes, així com l'estimació de criticitat. Finalment, també es mostren les feines preventives, la seva freqüència i el cost anual.

L'element susceptible de ser mantingut més crític dels condensadors és el feix tubular, que a causa de corrosió sota dipòsit genera pèrdua d'espessor obtenint una criticitat de 36.

7. MANUAL DE MEDIAMBIENT

En aquest manual es tractaran els diferents aspectes ambientals de cada una de les unitats a estudiar.

7.1. Emissions atmosfèriques

Es preveuen els següents dos tipus d'emissions gasoses a l'atmosfera:

- Emissions puntuals per la torxa: Si s'activa el mecanisme de seguretat instal·lat a les columnes de cada unitat (PSV), s'alleujarà el contingut d'aquests equips per la torxa.
- Emissions fugitives: són petites fuites emeses de fluid de procés que tenen lloc de forma contínua i no són detectables pels sentits. Tenen lloc a les vàlvules de control, on es genera una pèrdua de producte igual a 3 kg/any; i a les bombes i les brides del procés on es perd aproximadament 1 kg/any de producte.

7.1.1. Emissions contínues de la unitat de columna azeotròpica

La unitat de columna azeotròpica conté una sortida contínua de gasos al evaporador *Flash* F-101. La funció d'aquesta es alleugerir els incondensables i altres gasos presents en el procés, enviant-los a la torxa. Aquest cabal continu és de $5,6 \cdot 10^2$ kg/h. A l'apartat 7.4. s'avaluarà el valor d'aquest cabal en emissions de gasos que contribueixen a l'efecte hivernacle.

7.2. Abocaments líquids

El principal abocament líquid de les unitats serà l'ús d'oli de lubricació pel manteniment de les bombes. Aquest es recollirà i s'enviarà a les plantes encarregades del seu tractament, ja que és un compost no biodegradable.

També es contempla com a abocament líquid les aigües pluvials. Aquestes seran enviades a unes basses de recollida properes a la planta.

7.3. Residus sòlids

Deixant de banda els residus sòlids que es poden generar a partir d'activitats relacionades amb el procés (envasos de plàstics, embalatges de paper, entre d'altres), es considera que els principals residus sòlids de les unitats estudiades seran residus i partícules metàl·liques, restes de canonades, juntes, etc. Aquests residus són enviats a abocadors on se'ls hi realitzarà el tractament pertinent.

7.4. Gasos d'efecte hivernacle

Els gasos d'efecte hivernacle que es poden generar a la unitat de columna azeotròpica són CO_2 , que s'emet a partir de la torxa. També s'ha de mencionar que el vapor d'aigua, tot i ser un gas d'efecte hivernacle, no contribueix a l'escalfament global i per tant no s'ha contemplat en aquest estudi.

Per tal de calcular les emissions generades en aquesta unitat, s'ha estudiat la reacció de combustió per a cada un dels components del corrent.

La reacció de combustió d'etilè és:



La reacció de combustió d'età és:



La reacció de combustió de l'acetat de vinil és:



La reacció de combustió de l'àcid acètic és:



La reacció de combustió de l'acetaldehid és:



La reacció de combustió de l'acetat d'etil és:



La reacció de combustió de l'acetat de metil és:



La reacció de combustió de l'acroleïna és:



A partir d'això, s'ha calculat els kg de CO₂ que es produeixen quan es crema cada substància. Els càlculs realitzats estan explicats a l'annex A.13. Resumint, el cabal en tones/any de CO₂ calculat, s'obté de la suma de cabals de CO₂ calculats estequiomètricament a partir de la reacció de combustió de cada component del corrent estudiat. S'adjunten els resultats obtinguts a la taula 7.1:

Taula 7.1. Gasos efecte hivernacle unitat de columna azeotròpica

Gas d'efecte hivernacle	Cabal
CO ₂ (t/any)	9,4 · 10 ³

7.5. Sorolls i vibracions

El llindar màxim de soroll permès durant el funcionament de la planta és de 85dB a 1 metre de distància de la bomba. Si es sobrepassa aquest límit, s'instal·larien caixes acústiques a les bombes.

7.6. Contaminació lumínica

La il·luminació en una planta química té certa importància, ja que la indústria treballa les 24 hores del dia. Per tal de que la il·luminació sigui suficient i alhora no perjudiqui a l'entorn en el que es troba es segueixen els càlculs i regulacions del reial decret 1890/2008 del BOE (ref. 34).

7.7. Olors

Per tal de detectar les principals fonts d'olors en les unitats a estudiar, s'ha consultat les fitxes tècniques de cada component present en els processos per a determinar quins d'ells són inodors i quins s'haurien de tenir en compte en aquest aspecte ambiental.

S'ha detectat que hi ha 4 substàncies que presenten una olor detectable. Aquestes són l'acetat de metil, l'acetat d'etil, l'àcid acètic i l'acetaldehid. Les dues primeres tenen un aroma fruitós, l'àcid acètic olora a acre i per últim l'acetaldehid té una olor més aviat picant.

El llindar de detecció d'aquestes olors és d'entre 0,2 i 100 ppm.

7.8. Millors tècniques disponibles (MTD)

S'ha consultat el document de "Tractament i gestió d'aigües i gasos residuals en el sector químic – Conclusions sobre les MTD (2016) (ref. 40).

7.8.1. MTD residus sòlids

Per a la gestió de residus sòlids es proposa seguir la MTD 13. Aquesta indica que, per a evitar la generació o, quan això no sigui possible, reduir la quantitat de residus que s'enviaran per a la seva eliminació, la MTD consisteix a establir i aplicar, en el marc de el sistema de gestió ambiental (vegeu l'MTD 1), un pla de gestió de residus que, per ordre de prioritat, garanteixi que els residus s'evitin, es preparin per a la seva reutilització, es reciclin o es recuperin per altres mitjans.

7.8.2. MTD emissions atmosfèriques

En aquest document s'inclou dues MTD referents a la combustió a la torxa, concretament la 17 i la 18. La MTD 17 proposa que, per a evitar les emissions a l'aire de les torxes, la MTD consisteix en utilitzar la combustió en torxa només per motius de seguretat o en condicions operatives no rutinàries (per exemple, posada en marxa o parada), mitjançant una o diverses de les tècniques descrites a continuació:

Taula 7.2. Tècniques descrites a la MTD 17

Tècnica	Descripció	Aplicabilitat
a) Disseny correcte de la planta	Aquest disseny ha de preveure un sistema de recuperació de gasos amb capacitat suficient i la utilització de vàlvules de seguretat d'alta integritat.	En general, aplicable a les noves plantes. Els sistemes de recuperació de gasos poden afegir posteriorment a les plantes existents.
b) Gestió de la planta	Es tracta d'ajustar el balanç de sistema de gas combustible i d'utilitzar un control avançat del procés.	Aplicable amb caràcter general

La MTD 18 explica que, per a reduir les emissions atmosfèriques de les torxes quan el seu ús sigui inevitable, la MTD consisteix a utilitzar les tècniques descrites a continuació:

Taula 7.3. Tècniques descrites a la MTD 18

Tècnica	Descripció	Aplicabilitat
a) Disseny correcte dels dispositius de combustió en torxa	Optimització de l'alçada, la pressió, l'ajuda mitjançant vapor, aire o gas, el tipus de filtres de cremador (tancades o protegides), etc., a fi de permetre un funcionament fiable i sense fums i garantir la combustió eficient de l'excedent de gas.	Aplicable a les noves torxes. A les plantes existents, l'aplicabilitat es pot veure limitada en funció, per exemple, de la disponibilitat de temps durant la parada de manteniment de la planta.
b) Control i registre de dades en el marc de la gestió de les torxes	Control continu de gas enviat a la torxa, mesuraments de el flux de gas i càlcul d'altres paràmetres com, per exemple, composició, contingut calorífic, proporció d'ajuda, velocitat, cabal de gas de purga, emissions contaminants (p. Ex., NOX , CO, hidrocarburs, soroll). El registre de l'ús de torxes inclou normalment dades sobre la composició i la quantitat estimada / mesurada dels gasos de torxa i la durada de l'operació. El registre permet quantificar les emissions i eventualment evitar futurs casos d'ús de torxes.	Aplicable amb caràcter general

7.8.3. MTD emissions d'olors

El document utilitzat proposa una MTD referent a les olors, la MTD 20. Aquesta proposa que, per evitar o, quan això no sigui possible, reduir les emissions d'olors, la MTD consisteix a establir, aplicar i revisar periòdicament un pla de gestió d'olors, com a part de el sistema de gestió ambiental (vegeu l'MTD 1), que inclogui tots els elements següents:

1. Un protocol que contingui actuacions i terminis adequats
2. Un protocol per a realitzar controls d'olors,
3. Un protocol de resposta a incidents concrets d'olors,
4. Un programa de prevenció i reducció d'olors destinat a determinar la font o les fonts, mesurar o estimar l'exposició a les olors, caracteritzar les contribucions de les fonts, i aplicar mesures de prevenció i / o reducció.

7.8.4. MTD emissions de sorolls

Es proposen dues MTDs per a les emissions de sorolls, la 22 i la 23. La 22 explica que, per evitar o, quan això no sigui possible, reduir les emissions de soroll, la MTD consisteix a establir i aplicar un pla de gestió de sorolls, com a part de el sistema de gestió ambiental (vegeu l'MTD 1), que inclogui tots els elements següents descrits a l'apartat 1.8.3.

La segona MTD es la 23. Aquesta explica que, per evitar o, quan no sigui possible, reduir les emissions de sorolls, la MTD consisteix a utilitzar una o diverses de les tècniques descrites a continuació:

Taula 7.4. Tècniques descrites a la MTD 23

Tècnica	Descripció	Aplicabilitat
a) Localització adequada d'equips i edificis	Augment de la distància entre l'emissor i el receptor i utilització dels edificis com pantalles antisoroll.	En el cas de plantes existents, la reubicació dels equips pot veure's limitada per la manca d'espai o per costos excessius.
b) Mesures operatives	Aquest concepte comprèn: <ol style="list-style-type: none"> 1. Millora de la inspecció i del manteniment dels equips. 2. Tancament de portes i finestres de les zones confinades, quan sigui possible 3. Utilització dels equips per personal especialitzat, 4. Evitar activitats sorolloses a hores nocturnes, quan sigui possible 5. Mesures de control de soroll durant les activitats de manteniment. 	Aplicable amb caràcter general
c) Equips de baix nivell de soroll	Es tracta de compressors, bombes i torxes de baix soroll	Aplicable únicament als equips nous o reemplaçats
d) Equips de control de soroll	Es tracta de: <ol style="list-style-type: none"> 1. Reductors de soroll 2. Aïllament d'equips, 3. Confinament d'equips sorollosos, 4. Insonorització d'edificis. 	L'aplicabilitat es pot veure limitada a causa de requisits d'espai (en el cas de les instal·lacions existents), salut i seguretat.
e) Reducció de soroll	Inserció d'obstacles entre emissors i receptors (per exemple, murs de protecció, talussos i edificis).	Només aplicable a les plantes existents, atès que el disseny de les noves instal·lacions fa innecessària aquesta tècnica. En el cas de plantes existents, la inserció d'obstacles pot veure limitada per la manca d'espai.

7.9. **Registre REACH**

El reglament del REACH (ref. 41) té com a objectiu millorar la protecció de la salut humana i el medi ambient. Aquest òrgan administratiu permet la producció i el comerç de substàncies químiques en el territori de la unió europea.

Per tal de poder fer funcionar la planta i guanyar beneficis cal presentar la informació requerida pel REACH i la ECHA. Aquesta informació requerida depèn del producte en qüestió i de la quantitat a importar / exportar. La informació bàsica exigida consisteix en registrar els productes llistats pel REACH presents en la planta, tindre disponibles les seves fitxes de seguretat i recomanacions d'ús. Al final d'aquest informe són presents les fitxes de seguretat de tots els compostos perillosos, aquestes són extretes de la web de la *International Labour Organization* (ref. 35).

8. MANUAL D'OPERACIÓ

En aquest apartat s'explicarà l'operació de la unitat de columna azeotròpica, on l'equip principal és la columna C-101; de la unitat d'acetat d'etil, on l'equip central és la columna C-201 i de la unitat de deshidratació, on l'equip de més importància és la columna C-301. Les comprovacions prèvies i les aturades d'emergència són comunes per a les 3 unitats estudiades.

8.1. Comprovacions prèvies

- Bufat de les línies de gas.
- Bufat de les línies d'instrumentació
- Revisió dels sistemes de venteig.
- Circulació de l'aigua de refrigeració.
- Bufat de les línies de vapor.
- Neteja mecànica i inspecció dels equips.
- Revisar el correcte aïllament de les línies i equips, especialment en la torre i els intercanviadors.
- Circulació d'aigua per les conduccions de procés de líquid.
- Comprovació del sentit de gir i el correcte funcionament de les bombes.
- Correcte instal·lació dels controladors i sistemes d'alarma.
- Inspecció de vàlvules de seguretat.
- Disponibilitat de matèria prima
- Revisió de les connexions elèctriques i verificació de la toma a terra.
- Probes funcionals.
- Purga d'equips que hagin contingut aigua per a realitzar proves de pressió.
- Comprovació dels sistemes de seguretat contra incendis
- Revisar el material de recanvi imprescindible per a una correcta posada en marxa i manteniment de la planta.
- Comprovar les fixacions al paviment dels recipients.
- Comprovació de les brides de les línies d'entrada i sortida i assegurar que estan ben fixades.

8.2. Funcionament de la unitat de columna azeotròpica

8.2.1. Posada en marxa

Per a posar en marxa la columna cal seguir els següents passos:

- Abans de començar cal comprovar que totes les purgues i ventejos estan tancats i que el sistema de control està llest per començar.
- En primer lloc s'omple de líquid el fons de columna.
- Arribat al nivell mínim de líquid al reboiler es posa en marxa l'aigua de refrigeració del condensador E-101, E-102 i E-103.
- Un cop circula aigua de refrigeració pel condensador, es pot obrir les vàlvules V-108 i V-110 per a introduir vapor als reboilers i començar a evaporar.
- La columna C-101 treballarà a reflux total fins a aconseguir l'estat estacionari, això vol dir que les vàlvules V-117 i V-119 estan totalment tancades.
- Un cop s'ha assolit l'estat estacionari, s'obre les vàlvules V-101, V-102, V-103, V-104 i V-105 i s'activa el llaç de control de nivell 1400. Aquest controla les vàlvules V-117 i V-119. També s'activa el llaç de control 1505 que controla la vàlvula V-106.

8.2.2. Funcionament en estat estacionari

La columna C-101, també anomenada columna azeotròpica, opera a 130°C a fons de columna i 70°C a cap de columna, i una pressió de 0,62 i 0,2 atmg respectivament.

Per fons de columna s'envia part del fluid cap als reboilers R-101 i R-102. L'altra part del fluid es bombeja amb la bomba P-101 A/B cap a EA-K-214.

El vapor que surt per cap de columna va a parar al condensador parcial E-101. Els gasos no condensats són conduïts fins al E-102 on es subrefreden fins a 40°C. Posteriorment s'envien al F-101 on s'evaporen els incondensables dissolts en el líquid.

D'altra banda el condensat a E-101 s'envia al refredador E-103 on s'assoleix la temperatura de 40°C. Aquest corrent sumat al de sortida del F-101 s'envien a l'acumulador A-101. En aquest equip se separa el líquid en dues fases, aquosa i orgànica. La fase aquosa s'extreu de la columna com a destil·lat.

La fase orgànica és bombeja amb la bomba P-103 A/B. Aquest corrent es divideix en dos: una part es recircula cap a la columna i l'altra s'extreu com a destil·lat.

8.3. Aturada normal de planta de la unitat de columna azeotròpica

- Es para l'alimentació de producte a la columna amb les vàlvules V-101, V-102, V-103, V-104 i V-105
- Un cop destil·lat tot el producte possible, es tanca la vàlvula V-117 i també la V-119.
- Es paren els reboilers i simultàniament els condensadors.
- Es drena el líquid de fons de columna i de l'acumulador. A continuació es paren les bombes P-101 A/B i P-103 A/B.
- Finalment es purga la columna, l'acumulador, els intercanviadors i es fa tot el manteniment necessari dels equips.

8.4. Funcionament de la unitat d'acetat d'etil

8.4.1. Posada en marxa

Per a posar en marxa la columna cal seguir els següents passos:

- Abans de començar cal comprovar que totes les purgues i ventejos estan tancats i que el sistema de control està llest per començar.
- En primer lloc s'omple de líquid el fons de columna.
- Arribat al nivell mínim de líquid al reboiler es posa en marxa l'aigua de refrigeració del condensador E-201.
- Un cop circula aigua de refrigeració pel condensador, es pot obrir la vàlvula V-241 per començar a introduir vapor al reboiler i començar a evaporar.
- La columna C-201 treballarà a reflux total fins a aconseguir l'estat estacionari, això vol dir que les vàlvules V-236 i V-221 estan totalment tancades.
- Un cop s'ha assolit l'estat estacionari, s'obre la vàlvula V-202 i s'activa el llaç de control de nivell 2004. Aquest controla les vàlvules V-221 i V-236. També s'activa el llaç de control 2011 que controla la vàlvula V-212.

8.4.2. Funcionament en estat estacionari

La columna C-201, també anomenada columna d'acetat d'etil, opera a 121°C a fons de columna i 73°C a cap de columna, i una pressió de 0,18 i 0,14 atmg respectivament. La columna només té una alimentació, aquesta prové de la columna azeotròpica C-101.

Per fons de columna s'envia part del fluid cap al reboiler R-201. L'altra part del fluid es bombeja amb la bomba P-201 A/B cap a l'alimentació de la C-101.

El vapor que surt per cap de columna va a parar al condensador E-201 en el qual no només es condensa el vapor sinó que es subrefreda fins a 40°C. Tot seguit aquest líquid subrefredat es

conduïx cap a l'acumulador A-201. En aquest equip se separa el líquid en dues fases, aquosa i orgànica. La fase aquosa s'extreu de la columna com a destil·lat.

La fase orgànica és bombejada amb la bomba P-202 A/B. Aquest corrent es divideix en dos: una part es recircula cap a la columna i l'altra s'extreu com a destil·lat.

8.5. Aturada normal de planta de la unitat d'acetat d'etil

- Es para l'alimentació de producte a la columna amb la vàlvula V-202.
- Un cop destil·lat tot el producte possible, es tanca la vàlvula V-221 i també la V-236.
- Es para el reboiler i simultàniament el condensador.
- Es dreña el líquid de fons de columna i de l'acumulador. A continuació es paren les bombes P-201 A/B i P-202 A/B.
- Finalment es purga la columna, l'acumulador, els intercanviadors i es fa tot el manteniment necessari dels equips.

8.6. Funcionament de la unitat de deshidratació

8.6.1. Posada en marxa

Per a posar en marxa la columna cal seguir els següents passos:

- Abans de començar cal comprovar que totes les purgues i ventejos estan tancats i que el sistema de control està llest per començar.
- En primer lloc s'omple de líquid el fons de columna.
- Arribat al nivell mínim de líquid al reboiler es posa en marxa l'aigua de refrigeració dels condensadors E-301, E-302 i E-303.
- Un cop circula aigua de refrigeració pels condensadors, es pot obrir la vàlvula V-314 per a introduir vapor al reboiler i començar a evaporar.
- La columna C-301 treballarà a reflux total fins a aconseguir l'estat estacionari, això vol dir que les vàlvules V-338 i V-334 estan totalment tancades.
- Un cop s'ha assolit l'estat estacionari, s'obren les vàlvules V-302, V-306 i V-310 i s'activa el llaç de control de nivell 3012. Aquest controla les vàlvules V-338 i V-334. També s'activa el llaç de control 3017 que controla la vàlvula V-318.

8.6.2. Funcionament en estat estacionari

La columna C-301, també anomenada columna de deshidratació, opera a 82°C a fons de columna i 69°C a cap de columna, i una pressió de 0,35 i 0,14 atmG respectivament.

Per fons de columna s'envia part del fluid cap al reboiler R-301. L'altra part del fluid es bombeja amb la bomba P-301 A/B cap a la columna d'acetat de vinil.

El vapor que surt per cap de columna va a parar al condensador parcial E-301. Els vapors no condensats són conduïts fins al E-303 on s'acaben de condensar. El condensat d'aquests dos intercanviadors s'envia a E-302 on es refreden fins a 40°C. Aquest corrent s'envia a l'acumulador A-301. En aquest equip se separa el líquid en dues fases, aquosa i orgànica. La fase aquosa s'extreu de la columna com a destil·lat.

La fase orgànica és bombejada amb la bomba P-302 A/B. Aquest corrent es divideix en dos: una part es recircula cap a la columna i l'altra s'extreu com a destil·lat.

8.7. Aturada normal de planta de la unitat de deshidratació

- Es para l'alimentació de producte a la columna amb les vàlvules V-302, V-306 i V-310.
- Un cop destil·lat tot el producte possible, es tanca la vàlvula V-338 i també la V-334.
- Es paren el reboiler i simultàniament els condensadors.

- Es drena el líquid de fons de columna i de l'acumulador. A continuació es paren les bombes P-301 A/B i P-302 A/B.
- Finalment es purga la columna, l'acumulador, els intercanviadors i es fa tot el manteniment necessari dels equips.

8.8. Aturades d'emergència

8.8.1. Fallada de subministrament elèctric

Tots els equips dinàmics van accionats per un motor elèctric. Per tant una fallada de la xarxa elèctrica suposa aturar la planta.

Al fallar les bombes, deixa d'haver moviment de fluid. Llavors, es tanquen les entrades d'alimentació del procés, s'obren les vàlvules de seguretat (PSV) i s'envia el producte fora d'especificació a cremar a la torxa.

8.8.2. Fallada d'aire d'instruments

Totes les vàlvules de control s'accionen amb aire d'instruments. Per tant una fallada del subministrament d'aquesta *utility*, suposaria aturar la planta.

En aquest cas de fallada, totes les vàlvules van a la seva posició segura

8.8.3. Fallada vapor d'aigua

Una fallada en el sistema de vapor d'aigua afectarà als reboilers. Si no hi ha evaporació al reboiler les columnes s'acabaran inundant. S'obriran les vàlvules de les sortides de la columna per tal de buidar la columna, tot i que el producte surti fora d'especificació.

8.8.4. Fallada d'aigua de refrigeració

Una fallada en el sistema d'aigua de refrigeració, afectarà els condensadors. Si no hi ha condensació, la pressió de les columnes augmentarà considerablement. Com a conseqüència s'obriran les vàlvules de seguretat.

9. ESTUDI ECONÒMIC

L'estudi econòmic és una part essencial avui dia. És la part que indica si els processos estudiats són viables econòmicament, per tant, indica si el projecte es podria dur a terme o no.

Aquest estudi està confeccionat per dos punts l'estimació dels costos d'instal·lació (inversió inicial) i pel càlcul del VAN, Valor Actual Net, la TIR, Taxa Interna de Retorn i el *payback period*. També cal esmentar que s'han considerat els tres equips estudiats per separat i s'ha realitzat una suposició que és que els productes extrets de les unitats són purs i, per tant, es poden vendre al preu de venda del producte pur.

Tots els càlculs d'estimació del cost d'inversió i factors utilitzats per a aquests provenen del Excel elaborat pel Dr. A. Rolan proporcionat pel tutor (ref. 1). El càlcul del VAN, la TIR i el *payback period* també és realitzat a partir d'un altre Excel creat pel Dr. A. Rolan proporcionat pel tutor (ref. 2). El procediment seguit per a calcular aquests paràmetres es mostra en l'annex A.14 (ref. 2).

9.1. Estimació dels costos d'instal·lació

Per a realitzar l'estudi econòmic és necessari saber el valor de la inversió inicial.

En les taules 9.1., 9.2. i 9.3. es mostren els valors dels preus dels diversos equips de cadascuna de les unitats de procés extrets d'un estimador de costos web (ref. 33), a excepció dels intercanviadors que s'han extret del EDR. Els càlculs realitzats per a determinar el cost es poden veure a l'annex A.14.

Taula 9.1. Preus dels equips a l'any 2020 a construir per la unitat de la columna azeotròpica.

Equip	Preu de construcció (€)
C-101	$3,3 \cdot 10^5$
R-101	$1,6 \cdot 10^5$
R-102	$1,6 \cdot 10^5$
E-101	$1,7 \cdot 10^5$
E-102	$2,4 \cdot 10^4$
E-103	$9,8 \cdot 10^4$
A-101	$6,4 \cdot 10^4$
P-101	$7,9 \cdot 10^3$
P-102	$5,8 \cdot 10^3$
P-103	$8,3 \cdot 10^3$

Taula 9.2. Preus dels equips a l'any 2020 a construir per la unitat de la columna acetat d'etil.

Equip	Preu de construcció (€)
C-201	$6,1 \cdot 10^4$
R-201	$9,9 \cdot 10^3$
E-201	$1,5 \cdot 10^4$
A-201	$3,8 \cdot 10^3$
P-201	$2,5 \cdot 10^3$
P-202	$2,5 \cdot 10^3$

Taula 9.3. Preus dels equips a l'any 2020 a construir per la unitat de la columna de deshidratació.

Equip	Preu de construcció (€)
C-301	$5,3 \cdot 10^5$
R-301	$5,8 \cdot 10^4$
E-301	$4,8 \cdot 10^4$
E-302	$1,8 \cdot 10^4$
E-303	$3,1 \cdot 10^4$
A-301	$2,9 \cdot 10^4$
P-301	$4,2 \cdot 10^3$
P-302	$5,1 \cdot 10^3$
P-303	$2,3 \cdot 10^3$

A continuació en la taula 9.4. es mostren costos dels equips que no són els principals. S'ha considerat que el PFD era molt elaborat, per tant, es pot suposar que el cost d'aquests equips és el 5% (ref. 1) del cost total dels equips principals.

Taula 9.4. Preus dels equips no llistats de cadascuna de les instal·lacions.

Unitat	Preu dels equips no llistats (€)
Columna azeotròpica	$6,3 \cdot 10^4$
Columna acetat d'etil	$4,7 \cdot 10^3$
Columna deshidratació	$3,6 \cdot 10^4$

A continuació, en la figura 9.1 es mostren els factors d'instal·lació d'una planta.

		Coste medio de cada equipo en Euros = EP/nº Equipos																											
		< 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																					
Equipo Principal																													
Equipo Básico	Equipo no listado: PFD preliminar PFD muy elaborado		20% a 10% del Equipo Principal 10% a 2% del Equipo Principal																										
Equipo principal + Equipo no listado		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%																					
Montaje Equipo Básico	Mucho equipo alto montaje Medio Eq. caro o poco montaje	23/18 18/12,5 12,5/7,5	21/17 17/11,5 11,5/6,7	19/16 16/10,8 10,8/6	18,5/15 15/10,5 10,5/5	17,5/14 14/9,2 9,2/5,2	16,5/13,5 13/8,5 8,5/5	15,5/13 12/7,5 8/4,8																					
Fundaciones y Estructuras	ALTO-Eq. Caros o complicados MEDIO- Acero carbono MEDIO- Aleaciones BAJO- Equipo sobre suelo Pilotes o rotura roca	16/9,2 7,1/3,2 5/0,3	18/13 14/8,5 8/3,1 4/0,2	17/12,2 12/5,7 8,5/3 3/0,2	15/10,2 11/6,5 7,5/3 2,5/0,1	14/9,3 9,5/5 6,5/2,5 2/0,1	12/8,2 8,2/4 5,5/2 1,5/0,1	10/5,6 7/3,2 4,5/1,5 1/0,1																					
Piping y racks sin aislamiento	ALTO-Petroquim. Racks MEDIO-Líquidos, Electolisis. BAJO-Líquidos/sólidos BAJO- Sólidos	105/65 65/33 33/13 13/5,5	90/58 58/27 27/10,5 10/4,5	80/45 48/22 22/8,5 8/3,5	70/40 40/16 16/6,5 6/2,5	58/34 34/12 12/5,5 5/1,5	50/30 30,5/10 10/4,5 4/0,5	42/25 25/9,2 9/3,5 3/0																					
Aislamiento Equipos y Tuberías	M. ALTO-acero bajas temp. ALTO-Temp. elevada MEDIO-Plantas Químicas BAJO	35/26 28/21 24/15 18/8,5	30/21 24/18 20/13 15/6,3	26/16 14/15 18/10,3 12/5,1	23/15 18/12,2 14/8,2 10/4,3	20/12,5 14/9,3 12/5,4 8/3,2	16/9,2 12/7,4 09/3,3 5/2,4	12/7,3 9/5,2 6/2,2 3/1,3																					
Electricidad + Iluminación	P. Electrolítica Grandes accionadores Líquidos	56/45 26/17 18/10,5	55/42 22/15 16/9,3	50/38 19/12,5 13/7,5	45/33 17/10,3 11/6,2	40/30 14/8,5 9/5,4	35/26 12/7,5 7/4,1	30/19 10/6,5 6/3,5																					
Instrumentación	Elevada Media Baja o sólidos	60/32 35/15 24/13	58/31 32/13 21/9,3	46/24 26/10,5 17/7,5	37/18 20/7,5 13/5,5	29/13 15/5,5 10/3,5	23/10,5 11/3,5 7/2,5	18/7,5 8/2,5 5/1,3																					
Proceso complicado No contabilizad Proceso simple			añadir en todos los casos entre 6% a 3%		añadir en todos los casos entre 2% a 0.5%																								
EDIFICIOS		Con preferencia se deben definir y valorar por superficie y contenidos Como alternativa y en estimación grosera tomar los siguientes valores:																											
Mayoría de equipos dentro Equipos al exterior		70/40 36/15	60/30 32/13	50/28 28/11,2	45/25 24/8,5	38/19 20/5,5	35/18 17/4,5	30/15 14/2,5																					
Servicios de edificios % sobre edificio				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Alto</th> <th>Normal</th> <th>Bajo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Iluminación</td> <td>18</td> <td></td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Ventil. & aire acondicionado</td> <td>18</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Calefacción</td> <td>25</td> <td></td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Fontanería</td> <td>20</td> <td></td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>			Alto	Normal	Bajo	Iluminación	18		9	Ventil. & aire acondicionado	18		8	Calefacción	25		16	Fontanería	20		12				
	Alto	Normal	Bajo																										
Iluminación	18		9																										
Ventil. & aire acondicionado	18		8																										
Calefacción	25		16																										
Fontanería	20		12																										

Figura 9.1 Factors per al càlcul del cost d'instal·lació (ref. 1).

Ara, en la taula 9.5 s'indica el preu mitjà dels equips per poder seleccionar els diferents factors d'instal·lació.

Taula 9.5 Preu mitjà dels equips de cadascuna de les instal·lacions.

Unitat	Preu mitjà dels equips (€)
Columna azeotròpica	1,1 · 10 ⁵
Columna acetat d'etil	1,6 · 10 ⁴
Columna deshidratació	8,0 · 10 ⁴

En les taules 9.6., 9.7. i 9.8. es poden veure els valors qualitius i quantitius escollits per a cada factor d'instal·lació per a cada unitat segons el preu mitjà dels equips principals. S'ha de comentar que s'ha decidit escollir el valor mitjà entre el límit superior i el límit inferior dels valors quantitius.

Taula 9.6. Valor qualitatiu i quantitatiu dels factor d'instal·lació de la unitat azeotròpica.

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	14
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	3
Canonades sense aïllament	Mitjà-líquids	17
Aïllament equips i canonades	Mitjà- plantes químiques	4
Electricitat i il·luminació	Líquids	5
Instrumentació	Elevada	13
No comptabilitzat	Procés simple	1
Edificis	Equipament exterior	8

Taula 9.7. Valor qualitatiu i quantitatiu dels factor d'instal·lació de la unitat d'acetat d'etil.

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	19
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	6
Canonades sense aïllament	Mitjà-líquids	43
Aïllament equips i canonades	Mitjà- plantes químiques	17
Electricitat i il·luminació	Líquids	13
Instrumentació	Elevada	45
No comptabilitzat	Procés simple	1
Edificis	Equipament exterior	23

Taula 9.8 Valor qualitatiu i quantitatiu dels factor d'instal·lació de la unitat de deshidratació.

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	15
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	4
Canonades sense aïllament	Mitjà-líquids	20
Aïllament equips i canonades	Mitjà- plantes químiques	6
Electricitat i il·luminació	Líquids	6
Instrumentació	Elevada	17
No comptabilitzat	Procés simple	1
Edificis	Equipament exterior	11

Dintre del factor dels edificis també s'han de tenir en compte els serveis d'aquests. En la taula 9.9. es mostren els valors qualitius i quantitatius d'aquests serveis. Aquests valors són iguals per a les tres unitats.

Taula 9.9. Valor qualitatiu i quantitatiu dels factors de serveis dels edificis.

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Il·luminació	Normal	9
Ventilació i aire condicionat	Normal	8
Calefacció	Normal	16
Fontaneria	Normal	12
Altres	-	5

Finalment, es presenta amb la taula 9.10. un glossari dels costos d'instal·lació de cadascuna de les unitats en euros.

Taula 9.10. Glossari dels costos d'instal·lació de cadascuna de les unitats en euros.

Tipus de cost	Unitat azeotròpica	Unitat d'acetat d'etil	Unitat de deshidratació
Cost de l'equip principal	$1,3 \cdot 10^6$	$9,5 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^5$
Cost dels equips no llistats	$6,3 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^4$
Cost dels factors	$9,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^5$
Cost directe de la planta	$2,2 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$
Cost indirecte de la planta	$6,5 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5$
Imprevistos	$3,1 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^5$
Cost total d'instal·lació	$3,2 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$

9.2. Evaluació econòmica de les unitats

Un cop estimada la inversió inicial necessària per a construir i instal·lar les diferents unitats, s'ha d'analitzar el benefici que donaran aquestes a través de la venda del producte finalitzat. Per a realitzar-ho, s'han de tenir en compte, també, els diversos costos d'operació i de compra de matèria primera que tenen les unitats. Els costos es poden dividir en directes fixos, directes variables i indirectes fixos.

9.2.1. Costos directes fixos

En les unitats estudiades els costos fixos directes són el personal que treballa per fer-les funcionar i el manteniment que se'ls hi ha de dur a terme. S'ha de comentar que el cost del manteniment s'ha considerat com un 2% del cost de instal·lació. Tots els valors s'han extret de la (ref. 2). En les taules 9.11., 9.12. i 9.13. es mostren el valor dels costos directes fixos de cadascuna de les unitats.

Taula 9.11. Valor dels costos directes fixos de la unitat azeotròpica.

Tipus de cost	Unitats	Preu/(unitat·any) (€/any/unitat)	Preu/any (€/any)
Operaris instal·lació	10	$3,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^5$
Laboratori	3	$2,1 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$
Envasat	0	-	-
Supervisió	2	$3,9 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^4$
Gestió	2	$1,4 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$
Manteniment	-	-	$6,4 \cdot 10^4$

Taula 9.12 Valor dels costos directes fixos de la unitat d'acetat d'etil.

Tipus de cost	Unitats	Preu/(unitat·any) (€/any/unitat)	Preu/any (€/any)
Operaris instal·lació	4	$3,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$
Laboratori	1	$2,1 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$
Envasat	0	-	-
Supervisió	2	$3,9 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^4$
Gestió	1	$1,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$
Manteniment	-	-	$7,8 \cdot 10^3$

Taula 9.13. Valor dels costos directes fixos de la unitat de deshidratació.

Tipus de cost	Unitats	Preu/(unitat·any) (€/any/unitat)	Cost (€/any)
Operaris instal·lació	6	$3,5 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$
Laboratori	3	$2,1 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$
Envasat	0	-	-
Supervisió	2	$3,9 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^4$
Gestió	2	$1,4 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$
Manteniment	-	-	$4,0 \cdot 10^4$

9.2.2. Costos directes variables

En les unitats estudiades els costos directes variables són la compra de matèria primera i l'ús de serveis per a la planta. S'ha de comentar que les unitats que fan referència a l'electricitat són kW·h i per la resta són tones. En les taules 9.14., 9.15. i 9.16. es mostren el valor dels costos directes variables de cadascuna de les unitats. Els preus indicats en aquestes taules són extrems de la (ref. 29).

Taula 9.14. Valor dels costos directes variables de la unitat azeotròpica.

Matèria	Preu/unitat (€/unitat)	Cabal (unitats/any)	Cost (€/any)
Matèria primera 1	334	$5,5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^8$
Matèria primera 2	670	$2,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^6$
Matèria primera 3	1,5	$2,8 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$
Vapor baixa pressió	27	$9,2 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^6$
Aigua refrigeració	0,56	$8,6 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$
Energia elèctrica	0,04	$3,0 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$

Taula 9.15. Valor dels costos directes variables de la unitat d'acetat d'etil.

Matèria	Preu/unitat (€/unitat)	Cabal (unitats/any)	Cost (€/any)
Matèria primera	334	$1,1 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^5$
Vapor baixa pressió	27	$2,0 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^3$
Aigua refrigeració	0,56	$1,0 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^3$
Energia elèctrica	0,04	$8,6 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^2$

Taula 9.16. Valor dels costos directes variables de la unitat de deshidratació.

Matèria	Preu/unitat (€/unitat)	Cabal (unitats/any)	Cost (€/any)
Matèria primera	670	$9,2 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^7$
Vapor baixa pressió	27	$3,4 \cdot 10^4$	$9,2 \cdot 10^5$
Aigua refrigeració	0,56	$1,8 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$
Energia elèctrica	0,04	$1,3 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^2$

9.2.3. Costos indirectes fixos

En els costos indirectes fixos s'han de tenir en compte els costos de l'estructura humana de l'empresa, és a dir, el personal que no és específic de les unitats però que sí que hi estan relacionats d'una forma o altra. Els costos indirectes fixos són els mateixos per a les tres unitats. En la taula 9.17. es poden observar el valor dels costos fixos indirectes. Els valors mostrats en les taules són extrets de la (ref. 2).

Taula 9.17. Valor dels costos indirectes fixos.

Tipus de cost	Preu (€/any)	Contribució a la unitat	Cost total (€/any)
Direcció	$2,0 \cdot 10^4$	1%	$2,0 \cdot 10^2$
Seguridad y M. Ambient	$1,0 \cdot 10^4$	5%	$5,0 \cdot 10^2$
Administració	$5,0 \cdot 10^3$	1%	50
SS Mèdics	$1,0 \cdot 10^5$	1%	$1,0 \cdot 10^2$
RR Humans	$5,0 \cdot 10^3$	1%	50

9.2.4. Ingressos

Els ingressos de les unitats són, únicament, la venda del producte final, els preus dels productes són extrets d'una web (ref. 30). En les taules 9.18., 9.19. i 9.20. es mostren els valors dels ingressos de cada unitat.

Taula 9.18. Valors dels ingressos de la unitat d'acetat d'etil.

Producte	Preu (€/t)	Cabal (t/any)	Ingressos (€/any)
Acetat de vinil	745	$8,7 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^7$
Àcid acètic	393	$4,4 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^8$

Taula 9.19. Valors dels ingressos de la unitat d'acetat d'etil.

Producte	Preu (€/t)	Cabal (t/any)	Ingressos (€/any)
Acetat de vinil	745	$4,9 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^5$
Àcid acètic	393	$1,13 \cdot 10^3$	$4,4 \cdot 10^5$

Taula 9.20 Valors dels ingressos de la unitat deshidratadora.

Producte	Preu (€/t)	Cabal (t/any)	Ingressos (€/any)
Acetat de vinil	745	$9,2 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^7$

9.2.5. VAN, TIR i *payback period*

Ara ja havent definit tant la inversió inicial com el flux de diners anual, tant pel que fa a ingressos com pel que fa a despeses, s'han de calcular el VAN, valor actual net, la TIR, taxa interna de rendibilitat i el *payback period*. Aquests tres paràmetres són els que, econòmicament, determinen si s'ha de realitzar la construcció de les unitats estudiades. El cost d'oportunitat considerat és del 10% (ref. 29). En la taula 9.21. es pot veure els valors d'aquests paràmetres per a cada unitat.

Taula 9.21. Valors VAN, TIR i *Payback period* de cada unitat

Paràmetre	Unitat azeotròpica	Unitat acetat d'etil	Unitat deshidratadora
VAN	$1,3 \cdot 10^8$ €	$3,2 \cdot 10^5$ €	$1,4 \cdot 10^7$ €
TIR	696%	28,1%	143%
<i>Payback period</i>	1 any	4 anys	1 any

9.3. Anàlisi de sensibilitat

Finalment, per acabar l'estudi econòmic cal realitzar un anàlisi de sensibilitat. Aquest anàlisi consisteix en avaluar la resposta dels paràmetres del VAN, la TIR i el *paybck period* a un decreixement en el preu de venda del producte final o a un increment del cost d'instal·lació de la planta.

9.3.1. Evolució del flux de caixa acumulat en funció del temps

Per realitzar l'estudi de sensibilitat, es mostrarà el valor del flux de caixa acumulat en funció del temps dels casos que s'estudien per cada unitat. És a dir, per un augment del 20% en el cost d'instal·lació, una disminució del 10% en el preu de venda i si no hi ha variacions. En les figures 9.2, 9.3 i 9.4 es mostra aquesta evolució per a cada unitat.

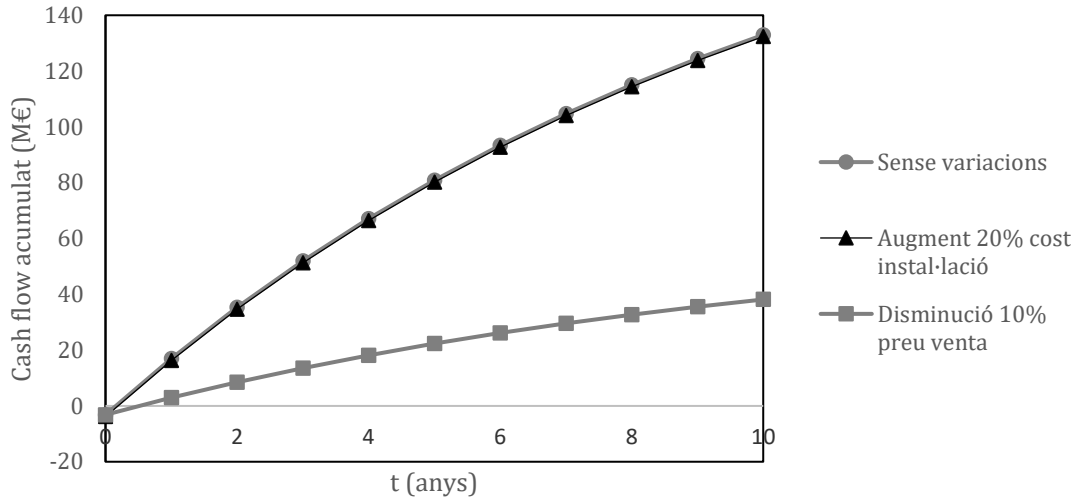


Figura 9.2. Evolució del *cashflow* descomptat acumulat al llarg del temps de la unitat de columna azeotròpica.

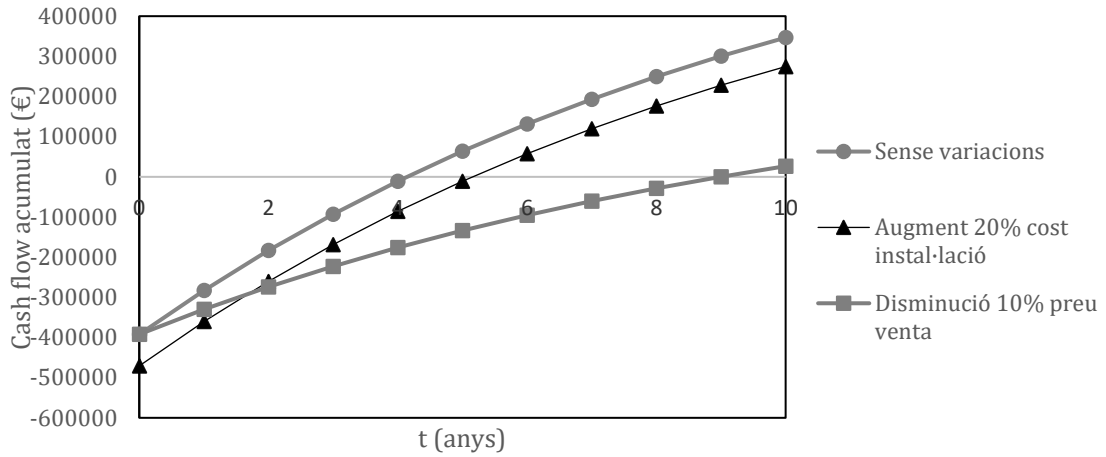


Figura 9.3. Evolució del *cashflow* descomptat acumulat al llarg del temps de la unitat de columna d'acetat d'etil.

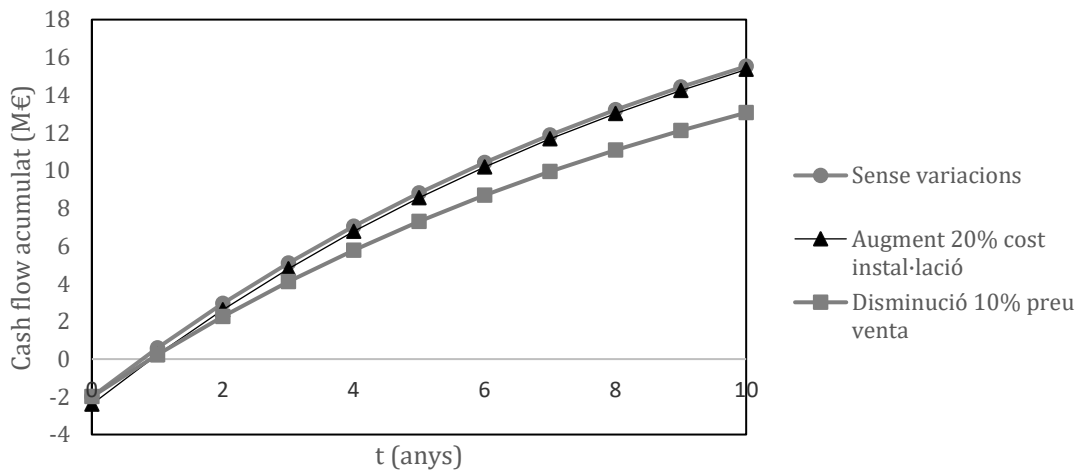


Figura 9.4. Evolució del *cashflow* descomptat acumulat al llarg del temps de la unitat de columna de deshidratació.

9.3.2. Increment del cost d'instal·lació

En el primer cas s'analitzarà un increment d'un 20% en el cost de construcció i instal·lació de les unitats. En la taula 9.22 es pot observar el VAN, la TIR i el *payback period* de les unitats.

Taula 9.22. Valor del VAN, de la TIR i del *payback period* amb un increment del 20% en el cost d'instal·lació.

Paràmetre	Unitat azeotròpica	Unitat d'acetat d'etil	Unitat deshidratadora
VAN	$1,3 \cdot 10^8$ €	$2,5 \cdot 10^5$ €	$1,4 \cdot 10^7$ €
TIR	580%	22,3%	121%
<i>Payback period</i>	1 any	4 anys	1 any

Tal i com es pot observar comparant les figures 9.2, 9.3 i 9.4, es pot afirmar que el projecte no és sensible al augment del cost d'instal·lació.

9.3.3. Decreixement del preu de venda del producte final

En el segon cas s'analitzarà un decreixement d'un 10% en el preu de venda de tots els productes finals de les unitats. En la taula 9.23. es pot observar el VAN, la TIR i el *payback period* de les unitats.

Taula 9.23. Valor del VAN, de la TIR i del *payback period* amb un decreixement d'un 10% del preu de venda de tots els productes finals.

Paràmetre	Unitat azeotròpica	Unitat d'acetat d'etil	Unitat deshidratadora
VAN	$3,7 \cdot 10^7$ €	$2,4 \cdot 10^4$ €	$1,2 \cdot 10^7$ €
TIR	211%	11,6%	123%
<i>Payback period</i>	1 any	6 anys	1 any

Tal i com es pot observar comparant les figures 9.2, 9.3 i 9.4, es pot afirmar que el projecte és sensible a la disminució del preu de venda.

10. CONCLUSIONS

S'ha aconseguit simular d'una forma acurada les tres destil·lacions proposades per a aquest TFG mitjançant *Aspen Plus*. Tot i això, a les simulacions que es van dur a terme en primera instància, es va utilitzar el model *RadFrac* que incorporava el reboiler, un condensador i un acumulador de reflux. Degut a la complexitat dels sistemes a estudiar, no es van aconseguir els resultats desitjats. Per a poder solucionar-ho es va proposar utilitzar un model que contenia la columna i un reboiler. Tots els altres equips que necessitaven els processos van ser afegits per separat. D'aquesta manera, es van aconseguir uns resultats més propers als experimentals proporcionats per l'empresa.

S'han dissenyat correctament els equips i canonades presents a les 3 unitats estudiades. Tot i això, els equips de la unitat d'acetat d'etil han estat sobredimensionats degut a problemes de construcció, ja que aquests eren massa petits i no arribaven a les mides mínimes comercials.

Es vol remarcar el disseny realitzat als intercanviadors de calor de les 3 unitats. Aquests han estat dissenyats amb el simulador *EDR* i mitjançant mètodes analítics. Dels 2 dissenys efectuats s'ha escollit el del simulador, ja que es considera que les propietats físiques que aquest utilitza són més precises que les emprades al mètode analític.

S'han elaborat el manual de seguretat per a les 3 unitats estudiades. Després de l'anàlisi que s'hi realitza i del disseny dels equips de seguretat necessaris per a evitar els escenaris més crítics, es conclou que les unitats són segures. A més a més, s'ha redactat una avaluació dels riscos laborals i s'ha proposat una bateria d'equips de protecció individual (EPI).

S'han estudiat diversos mètodes de manteniment, entre els quals s'ha aprofundit en el RCM. Després d'haver realitzat aquest mètode, s'ha arribat a la conclusió que la etapa més crítica de les 3 unitats és la condensació.

S'han comptabilitzat les diferents emissions de les unitats. Per tal de minimitzar les emissions identificades, s'han estudiat les MTDs disponibles per a cada tipus d'elles. A més a més, s'ha verificat que les unitats compleixen la normativa europea *REACH*, garantint així la seguretat dels treballadors i del medi ambient.

S'han estudiat les posades en marxa i aturades de cada una de les unitats. També es va analitzar el procediment a seguir en aturades d'emergència degut a algunes de les fallades més comunes d'una planta química.

S'ha realitzat un anàlisi econòmic per a cada una de les unitats per separat, a partir d'unes hipòtesis de càlcul. Es pot concloure que les 3 unitats són viables econòmicament. A més a més es va dur a terme un anàlisi de sensibilitat, on es va modificar el preu de venda i el cost de la inversió inicial per a avaluar com afectaven aquests paràmetres als beneficis generats per cada unitat.

11. WEBGRAFIA I BIBLIOGRAFIA

- 1 A. Rolán, (2000). *Estimación costes de instalación, (fulla Excel)*. ETSEQ, URV.
- 2 A. Rolán, (2000). *Evaluación económica, (fulla excel)*. ETSEQ, URV.
- 3 Crane (1987) *Flujo de fluidos*, McGraw Hill, México.
- 4 Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial*. México, Alfaomega.
- 5 Dimian, A. C. et. al. (2008) *Chemical process design: computer-aided case studies. Chapter 10: vinyl acetate monomer process*, Wiley-VCH Verlag GmbH.
- 6 Emerson (2019), *Control Valve Handbook*, 5th edition.
- 7 Green, D. W. et.al. (2019). *Perry's chemical engineers' handbook* 9th edition.
- 8 Katkar S. A. (2010), *Pressure relief requirement during external pool-fire contingency*. Chemical Engineerig,1,43-47.
- 9 Kern, D. Q. (1983). *Process heat transfer*. McGraw Hill.
- 10 Kister, H. Z. (1992), *Distillation Design*. McGraw-Hill.
- 11 Kister, H. Z. (1990), *Distillation Operation*. McGraw-Hill.
- 12 *Koch-Glitsch Balllast Tray Design Manual* . (2013) 6th edition.
- 13 Coker, A. K. (2007). *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants*, Elsevier, Volume 1.
- 14 Coker, A. K. (2010). *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants*, Elsevier, Volume 2.
- 15 Coker, A. K. (2015). *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants*, Elsevier, Volume 3.
- 16 Megyesy, E. F. (2001). *Pressure vessel handbook*. 12th edition.
- 17 Rase, H.F. , Barrow, M. H. (1988) *Ingeniería de proyectos para plantas de proceso*. México; CECSA
18. Romera Solanas, M. A. (2004), *Aplicación del RCM en un proceso químico*, Mantenimiento, Marzo, 36-41.
- 19 Shinskey, F. G. (1984). *Distillation Control*. McGraw-Hill.
- 20 Sinnott, R.K. (2005). *Chemical Engineering design*, Volume 6 4th edition, Butterworth-Heinemann.

- 21 Técnicas Reunidas, S.A. (1985) *Diseño de acumuladores de reflujo*. Información confidencial.
- 22 Ullmann's encyclopedia, (2005). Vinyl Esters, Wiley-VCH Verlag GmbH.
- 23 Válvulas Nacional. *Catálogo General*. Válvula 3-5211 y 3-5261.
- 24 Aspen Plus V11 2020
- 25 Aspen Exchanger Design and Rating. AspenTech-V10.
- 26 Norma ,UNE-EN 60079-10-1:2016 *Atmósferas Explosivas. Parte 10-1*.
- 27 Norma ,UNE 202007:2006 *IN Guía de Aplicación de la Norma UNE-EN 60079*.
- 28 TEMA (2007) Standards of the tubular exchanger manufacturers association.
- 29 Comunicació personal Dr. Josep Basco, Mayo 2020.
- 30 <https://www.echemi.com/> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 31 <https://www.permesa.es> (Última consulta 21 Juny 2020).
- 32 <https://www.sterlingsihi.com> (Última consulta 21 Juny 2020).
- 33 <http://www.mhhe.com> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 34 <https://www.boe.es/> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 35 <https://www.ilo.org> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 36 <http://www.proteccioncivil.es> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 37 <https://es.climate-data.org> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 38 <https://www.icgc.cat/> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 39 <https://www.google.com/maps> (Última consulta 23 Juny 2020).
- 40 Decisión de ejecución (UE) 2016/902 de la comisión, (2016), Maig.
- 41 <https://echa.europa.eu/> (Última consulta 23 Juny 2020).

ANNEXOS

A.1 Disseny de canonades

El mètode de disseny emprat és el suggerit per la (ref. 3).

A partir de les dades inicials recollides a les taules 4.6, 4.7 i 4.8 i dels cabals volumètrics de cada corrent es dimensionen les canonades.

En primer lloc es calcula el diàmetre de les canonades (D) i amb factors de conversió es passa de metres a polzades.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{v}}{\pi \cdot u}} \quad (\text{E.1})$$

On \dot{v} és el cabal volumètric (m^3/s) i u és la velocitat del fluid (m/s).

Un cop s'ha calculat el diàmetre en polzades, aquest s'arrodoneix al diàmetre nominal immediatament major. A continuació es calcula el gruix de paret mínim necessari (t):

$$t = \frac{P_d \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P_d \cdot y)} + A \quad (\text{E.2})$$

On P_d és la pressió de disseny (MPa), S és la tensió màxima admissible del material a la temperatura de disseny (MPa), E és la eficiència de les soldadures, y és un factor adimensional que depèn de la temperatura i A és el sobre gruix per a corrosió (m).

Coneixent el diàmetre i el gruix de paret mínim es busca a la taula 10-18 del Perry, Chemical Engineers Handbook (ref. 7) el tub comercial de gruix de paret (Schedule) igual o superior al calculat. Amb el nou valor de gruix de canonada que s'extreu d'aquesta taula, es calcula la pressió que aquesta ara aguantaria. La pressió novament calculada és diu pressió màxima de treball permesa i aquesta multiplicada per 1,43 dona la pressió de prova hidràulica.

A.2 Disseny dels plats

El procediment per a dissenyar els plats i el diàmetre de la columna (ref. 12) explicat funciona per a la secció definida de la columna. Si una columna està definida en diferents seccions, s'utilitza aquest mateix procediment per a cada secció variant únicament les dades inicials. Aquestes dades inicials es troben recollides a les taules 4.40. i 4.72.

A.2.1. Velocitat de disseny de la baixant

Es calcula la velocitat de disseny de la baixant, VD_{DSG} , (gpm/ft^2) que s'utilitzarà posteriorment per a calcular la seva àrea. S'agafa el valor més petit dels que s'obtenen a les següents 3 equacions:

$$VD_{DSg} = 250 \cdot \text{Factor sistemàtic} \quad (\text{E.3})$$

$$VD_{DSg} = 41 \cdot \sqrt{D_L - D_V} \cdot \text{Factor sistemàtic} \quad (\text{E.4})$$

$$VD_{DSg} = 7,5 \cdot \sqrt{TS} \cdot \sqrt{D_L - D_V} \cdot \text{Factor sistemàtic} \quad (\text{E.5})$$

On D_L és la densitat del líquid (lb/ft^3), D_V és la densitat del vapor (lb/ft^3), TS és el la separació entre plats (in) i el factor sistemàtic és un valor que es multiplica per a corregir l'error produït

pels escumògens. El seu valor és igual a 1 ja que es considera que els fluids de la columna no formen escumògens.

A.2.2. Estimació diàmetre de la columna

Per a calcular el diàmetre de la columna es calcula el V_{LOAD} (ft³/s), la càrrega de vapor per a qualsevol plat de la secció de columna a estudiar:

$$V_{LOAD} = CFS \cdot \sqrt{\frac{D_V}{D_L - D_V}} \quad (E.6)$$

On CFS és el cabal de vapor expressat en (ft³/s)

A partir de la densitat del vapor i de la separació entre plats s'obté, a la figura 5a del manual Koch-Glitsch, el CAF, el factor de capacitat d'inundació dels plats Ballast.

Després, a la figura 6 del mateix manual a partir del cabal de líquid (gpm) i del factor V_{LOAD} , es realitza una primera aproximació al diàmetre de la columna.

A.2.3 Aproximació al diàmetre de la columna

Es calcula el FPL (in), el "flow path length". Aquest és útil per a establir un diàmetre mínim de columna a partir de l'estimació feta anteriorment a l'apartat A.2.2.

$$FPL = 9 \cdot \frac{DT}{NP} \quad (E.7)$$

On DT és el diàmetre de la columna (ft) i NP és el nombre de passos.

A continuació es calcula l'àrea activa mínima (ft²):

$$AAM = \frac{V_{LOAD} \cdot GPM \cdot FPL / 13000}{CAF \cdot FF} \quad (E.8)$$

On FF és el factor d'inundació.

Es calcula l'àrea mínima de la baixant, ADM, (ft²):

$$ADM = \frac{GPM}{VD_{Dsg} \cdot FF} \quad (E.9)$$

Si l'àrea de la baixant calculada amb l'equació (E.9) és més petita que l'11% de l'àrea activa (AAM), s'utilitza el valor més petit dels calculats a les següents equacions:

$$ADM = 0,11 \cdot AAM \quad (E.10)$$

$$ADM = 2 \cdot \frac{GPM}{VD_{Dsg} \cdot FF} \quad (E.11)$$

Es calcula l'àrea transversal mínima de la columna, ATM, (ft²) a partir de les equacions (E.10) i (E.11). Es prendrà el valor més gran:

$$ATM = AAM + 2 \cdot ADM \quad (E.12)$$

$$ATM = \frac{V_{LOAD}}{0,78 \cdot CAF \cdot FF} \quad (E.13)$$

Finalment es calcula el diàmetre de la columna (ft) basat en l'àrea aproximada de la columna:

$$DT = \sqrt{\frac{ATM}{0,7854}} \quad (E.14)$$

A.2.4. Àrea de la baixant

S'ajusta el diàmetre de la columna calculat a l'equació (E.14) a un nombre enter. Amb aquest nou diàmetre s'ajusta la àrea de la columna AT (ft²):

$$AT = DT^2 \cdot 0,7854 \quad (E.15)$$

Amb els valors calculats anteriorment, es calcula l'àrea de la baixant:

$$AD = \frac{AT \cdot ADM}{ATM} \quad (E.16)$$

Si aquesta àrea és més petita que el 10% de l'àrea de la columna, el valor que s'utilitzarà serà el doble de l'àrea de la baixant mínima calculada.

S'ajusta l'amplada de la baixant. Es calcula els factors H₁ si els plats són d'un pas o la H₁ i H₃ si els plats són de dos passos.

$$H_1 = \frac{WF \cdot AD}{DT} \quad (E.17)$$

On H₁ és l'amplada de cada baixant (in) i WF és el factor d'amplada extret de la Taula 2 del manual utilitzat. Per tal de calcular l'altre valor H d'amplada, es segueixen els següents passos:

Primer es calcula l'àrea d'una baixant, dividint per dos el valor total calculat abans. Després és divideix per l'àrea de la columna (AD/AT). Aquest valor es busca a la Taula 4 del manual i s'extreuen els valors de H/D i L/D. Per tal de calcular el valor de H, s'utilitza la següent equació:

$$H = \frac{H}{D} \cdot DT \quad (E.18)$$

On DT és el diàmetre de la columna (in).

Aquests valors són utilitzats per a calcular el valor de FPL:

$$FPL = \frac{12 \cdot DT - (2 \cdot H_1 + H_3 + 2 \cdot H_3 + 2 \cdot H_7)}{NP} \quad (E.19)$$

Aquest FPL s'ha d'ajustar per a aconseguir un valor modular. S'ajustarà utilitzant 8,5 in com a base i multiplicant múltiples d'1,5 in. Amb aquest FPL ajustat es realitza el procés invers explicat anteriorment fins a aconseguir una nova àrea de baixant (AD).

A.2.5. Càlculs d'altres variables

L'àrea activa AA (ft²) és l'àrea disponible per a les vàlvules Ballast. Es calcula:

$$AA = AT - 2 \cdot AD \quad (E.20)$$

El percentatge d'inundació es calcula mitjançant la següent equació:

$$\% \text{ Flood} = \frac{V_{LOAD} + GPM \cdot FPL / 13000}{AA \cdot CAF} \quad (\text{E.21})$$

Per últim, a partir de la figura 12 del manual, es calcula l'eficiència dels plats a partir del percentatge d'inundació i de la densitat del vapor.

A.3 Disseny dels reboilers termosifons

En aquest apartat s'explica el procediment seguit per calcular un reboiler termosifó, la metodologia seguida ha estat la explicada en el llibre *Proces Heat Transfer* (ref. 9).

El càlcul es realitza per un termosifó vertical amb vaporització per la part de tubs.

A.3.1 Balanç d'energia en l'intercanviador

La vaporització es dona a una temperatura constant, l'energia que cal aportar és calculada a partir de la diferència d'entalpies del líquid i el vapor ja que només es considera la vaporització, (E.21). A continuació es realitza un balanç de matèria per al vapor de procés, per a aquest és considera només la calor alliberada per la condensació i aquesta calor es igual a la calor requerida pel procés. Del balanç de vapor s'obté el cabal de vapor requerit, (E.22).

$$\dot{m} \cdot (H_v - H_l) = Q_{intercanviada} \quad (\text{E.22})$$

On \dot{m} és el cabal màssic en (lb/h), la H_v i la H_l les entalpies del vapor i el líquid en (Btu/lb) respectivament a les condicions del procés.

Al ser un intercanvi de calor en el qual no varien les temperatures de sortida dels dos fluids, la temperatura logarítmica mitjana, MLDT (°F), esdevé la diferència entre les temperatures del fluid calent i el fluid fred.

A.3.2 Càlcul de l'àrea

El següent pas és determinar l'àrea requerida per a realitzar l'intercanvi de la calor calculada en l'anterior apartat. Per a poder obtenir un valor d'àrea és requerit suposar un coeficient de transferència de calor U (Btu/h·ft²·°F). La taula 8 del llibre de referència conté dades sobre el rang del coeficient de transferència de calor de diferents combinacions de fluid fred i fluid calent. Per al càlcul s'escull el valor màxim del rang del fluid fred amb el que es treballa.

Un cop es té un valor de U es pot calcular la calor transferida per unitat d'àrea Q/A (Btu/h·ft²), E.22. Finalment per determinar l'àrea requerida es divideix la calor total a intercanviar entre la Q/A per tal d'obtenir un valor d'àrea, E.23.

$$\frac{Q}{A} = MLDT \cdot U \quad (\text{E.23})$$

$$A = \frac{Q}{Q/A} \quad (\text{E.24})$$

Un cop es té el valor d'àrea calculat es procedeix a determinar el número de tubs i l'àrea real que tindria l'intercanviador.

Per determinar el nombre de tubs cal dirigir-se a la taula 10 de la bibliografia consultada, en aquesta taula es pot trobar el valor de superfície per unitat de longitud del tub per a diversos diàmetres nominals. Una vegada es té el valor de superfície per unitat de longitud es determina l'àrea dels tubs prèviament seleccionats per a l'intercanviador, E.24. A continuació es divideix

l'àrea total calculada anteriorment entre l'àrea d'un sol tub per obtenir el nombre mínim de tubs requerits, E.25.

$$A_{tub} = A_l \cdot L \quad (E.25)$$

$$N_{tub} = \frac{A}{A_{tub}} \quad (E.26)$$

On A_{tub} és l'àrea d'un sol tub en (ft^2), l' A_l és el factor d'àrea per unitat de longitud en (ft^2/ft), la L és la longitud dels tubs prèviament escollits en (ft) i N_{tub} és el nombre de tubs mínim.

Un cop es té un nombre de tubs calculat cal consulta la taula 9 del llibre, en aquesta taula estan les mides de carcassa i nombre de tubs segons la seva configuració geomètrica i el nombre de passos. La configuració geomètrica ve donada com a dada inicial, per tant es selecciona el nombre de tubs mes proper al mínim calculat. Com a resultat de la taula s'ha de obtenir un valor N , que és el nombre de tubs i un valor D que és el diàmetre de la carcassa.

A.3.3 Correcció de la U

En aquest punt del càlcul es té un valor de tubs real, cal corregir el valor del coeficient de transferència de calor per al nombre de tubs determinat. Primer cal determinar la nova àrea total de l'intercanviador A_t , (ft^2), E.26.

A continuació es calcula el coeficient de transferència de calor corregit, U_d ($Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$), (E.27)

$$A_t = N \cdot A_l \cdot L \quad (E.27)$$

$$U_d = \frac{Q}{A_t \cdot MLDT} \quad (E.28)$$

A.3.4 Determinació de la taxa de recirculació i el gradient motor

El següent pas és el càlcul de la taxa de recirculació, la resistència del fluid al calderí i el gradient motor per a que el fluid circuli a dins de l'evaporador.

En primer lloc cal definir la taxa de recirculació. Aquesta és la relació entre la massa de vapor i la massa de líquid que passarà pel reboiler.

Es comença calculant la pressió estàtica de la columna de líquid de la caldereta, E.29.

$$\frac{2,3 \cdot L}{144(v_o - v_i)} \cdot \log_{10} \frac{v_o}{v_i} = P_c \quad (E.29)$$

On la P_c és la pressió de la columna de líquid en l'intercanviador ($lb/inch^2$), la v_o és el volum específic del fluid al sortir del evaporador i la v_i és el volum específic del fluid en la entrada de l'intercanviador (ft^3/lb).

En segon lloc es calcula pèrdua de carrega ΔP ($lb/inch^2$) E.31. Per calcular la pèrdua de carrega cal determinar el cabal màssic per unitat d'àrea que passa pels tubs, G ($lb/ft^2 \cdot h$), el factor de fricció f que és pot extreure de la figura 26 del llibre consultat, la gravetat específica mitjana s del fluid i el diàmetre intern D_i dels tubs que s'usaran en l'intercanviador (ft).

Per poder extreure el valor del factor de fricció f cal calcular el valor del nombre de Reynolds que hi ha en els tubs, el nombre de Reynolds es calcula segons l'equació E.30.

$$Re = \frac{D_i \cdot G}{\mu} \quad (E.30)$$

On μ és la viscositat del fluid a les seves condicions de temperatura, ($lb/ft \cdot h$).

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_i \cdot s \cdot \varphi} \quad (\text{E.31})$$

On la φ és la relació de viscositats que és igual a 1.

L'últim pas per saber si la suma de les resistències P_c i ΔP són majors que la carrega hidrostàtica es calcular el gradient motor G_m i comparar-lo amb les resistències. El càlcul del gradient motor s'efectua amb l'equació E.32.

$$G_m = \frac{L \cdot \rho_l}{144} \quad (\text{E.32})$$

On la ρ_l és la densitat del líquid del calderí (lb/ft³) i el G_m (lb/inch²).

Per a que l'intercanviador funcioni cal que el gradient motor sigui més gran que les resistències. En cas contrari cal repetir el càlcul amb tubs de menor longitud fins que el gradient motor sigui superior a les resistències.

A.3.5 Càlcul de la U neta

Finalment cal calcular el coeficient de transferència de calor total net U_c (Btu/h·ft²·°F) i el factor de obstrucció R_d (h·ft²·°F/Btu). Per determinar el coeficient de transferència de calor total net es requereix saber el coeficient de transferència de calor dels fluids que passen per carcassa i per tubs. Segons la bibliografia se sap que el coeficient de transferència de calor del vapor condensant (h_w) es de 1500 Btu/h ft² °F.

Per al costat dels tubs cal calcular el coeficient de transferència de calor per al diàmetre exterior (h_{to}) del fluid que hi passa.

En primer lloc calculem el coeficient de transferència de calor per al costat de tubs amb el diàmetre intern, h_t (Btu/h·ft²·°F). E.33.

$$h_t = \frac{j_H \cdot k}{D_i} \cdot \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{E.33})$$

On j_H és un factor adimensional per a la transferència de calor, la c_p és la capacitat calorífica del fluid (Btu/lb·°F) i la k és la conductivitat tèrmica del fluid (Btu/h·ft·°F). El valor del factor j_H és extret de la figura 24 del llibre consultat.

A continuació és calcula el h_{to} amb l'equació E.34. en la qual el D_o és el diàmetre exterior dels tubs en ft.

$$h_{to} = h_t \cdot \frac{D_i}{D_o} \quad (\text{E.34})$$

Com a últim pas es calcula el U_c amb l'equació E.35. i a continuació el R_d amb l'equació E.36.

$$U_c = \frac{h_{to} \cdot h_t}{h_{to} + h_t} \quad (\text{E.35})$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \quad (\text{E.36})$$

A.4 Disseny de condensadors

En aquest annex s'explica el mètode seguit pel disseny d'un condensador de forma analítica (ref. 20).

Per a dissenyar un intercanviador són necessàries una sèrie de propietats del corrent de procés i les propietats de l'aigua de refrigeració. També s'ha de definir una geometria dels tubs de l'intercanviador.

Havent definit totes les variables anteriors es pot començar el disseny del condensador amb el mètode mostrat a continuació:

Primerament, es realitza el balanç d'energia del bescanviador per a trobar el cabal d'aigua de refrigeració necessari (\dot{m}_a) (kg/s) i la potència de l'intercanviador (\dot{Q}) (W):

$$\dot{Q} = \dot{m}_p \cdot (\Delta\hat{H}_l - \Delta\hat{H}_v) \quad (\text{E.37})$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}}{C_p \cdot (T_{c,o} - T_{c,i})} \quad (\text{E.38})$$

On \dot{m}_p és el cabal del fluid de procés (kg/s), $\Delta\hat{H}_l$ l'entalpia específica del líquid de procés (J/kg), $\Delta\hat{H}_v$ l'entalpia específica del vapor de procés (J/kg), C_p és la capacitat calorífica específica de l'aigua (J/(kg·°C)) i $T_{c,i}$ i $T_{c,o}$ són les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua (°C), respectivament.

Ara s'ha de suposar un valor del coeficient global de transferència de calor inicial (U_i). Aquest supòsit canvia en funció dels tipus de fluid que circulen per l'intercanviador. En el cas estudiat, el fluid condensat es podria considerar un vapor orgànic i el fluid refrigerat és aigua. D'aquí se n'extreu que U_i ha d'estar entre 700-1000 W/(m²·K).

A continuació, s'han de calcular R i S, dos paràmetres característics per a determinar F, que és un factor correctiu de la temperatura logarítmica mitjana (ΔT_{lm}) (°C).

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad (\text{E.39})$$

$$S = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (\text{E.40})$$

On $T_{h,i}$ i $T_{h,o}$ són les temperatures d'entrada i sortida del fluid de procés (°C), respectivament.

Mitjançant la figura 12.19 de la (ref. 20) es pot determinar el valor de F a partir dels valors de R i S per a bescanviadors de passos per tubs parells i d'un sol pas per carcassa.

Ara definim la temperatura logarítmica mitjana com:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}}\right)} \quad (\text{E.41})$$

Seguidament es defineix l'àrea inicial (A_i) (m²) com:

$$A_i = \frac{\dot{Q}}{U_i \cdot \Delta T_{lm}} \quad (\text{E.42})$$

També es pot definir l'àrea d'intercanvi d'un sol tub (A_t) (m^2) com:

$$A_t = \pi \cdot D_o \cdot L \quad (E.43)$$

On D és el diàmetre extern d'un tub (m) i L és la longitud dels tubs (m).

Sabent el valor de l'àrea total d'intercanvi la d'un sol tub, es pot calcular el nombre de tubs (N_t) com:

$$N_t = \frac{A_i}{A_t} \quad (E.44)$$

Com que no es poden construir tubs decimals s'ha d'agafar el nombre enter següent. Ara havent definit un nou nombre de tubs s'ha de recalculer l'àrea total d'intercanvi (A) (m^2) com:

$$A = N_t \cdot A_t \quad (E.45)$$

I després el coeficient de transferència de calor global (U) ($W/(m^2 \cdot K)$):

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T_{lm}} \quad (E.46)$$

Ara s'ha de definir el patró que segueixen els tubs en l'intercanviador, en aquest cas és 30 triangular. Aquest fet provoca que el *pitch* (P_t) (m) es pugui definir com:

$$P_t = 1,25 \cdot (D_o) \quad (E.47)$$

Llavors, s'han de determinar K_1 i n_1 de la taula 12.4 de la (ref. 20).

Seguidament es pot definir el diàmetre del feix tubular (D_b) (m) com:

$$D_b = D_o \cdot \left(\frac{N_t}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (E.48)$$

Després es pot definir el nombre de tubs en la fila central (N_r) com:

$$N_r = \frac{D_b}{P_t} \quad (E.49)$$

Ara es procedirà a estimar un coeficient de transferència de calor individual per la banda on es condensa (h_o) ($W/(m^2 \cdot K)$). Per a fer-ho s'ha de suposar un valor inicial d'aquest coeficient. Dit això, en primer lloc es defineixen les temperatures de pel·lícula de cada corrent (T_{film}) ($^{\circ}C$). Aquest procés és iteratiu donat que al final del procés es recalcula h_o i s'ha de valorar si s'assembla suficientment al suposat.

$$T_{film,o} = \frac{(T_{h,o} + T_{h,i})}{2} \quad (E.50)$$

$$T_{film,i} = \frac{(T_{c,o} + T_{c,i})}{2} \quad (E.51)$$

Per tant, ara es pot definir la temperatura a la paret (T_w) (°C) com:

$$T_w = T_{film,o} - \frac{U}{h_o} \cdot (T_{film,o} - T_{film,i}) \quad (E.52)$$

A continuació, la temperatura mitjana del condensat (T_c) (°C) és:

$$T_c = \frac{(T_{film,o} + T_w)}{2} \quad (E.53)$$

Llavors s'han de determinar les propietats del líquid a aquesta temperatura.

Ara es defineix la densitat del vapor (ρ_v) (kg/m³) com:

$$\rho_v = \frac{M_w}{K} \cdot \frac{T_o}{T_{film,o}} \cdot \frac{P_{intercanviador}}{P_o} \quad (E.54)$$

On K és el volum molar dels gasos en condicions estàndard (22,4 L/mol), T_o és la temperatura considerada estàndard per l'autor (25°C) i P_o és la pressió en condicions estàndard (1 bar).

Llavors es calcula la velocitat de pas del fluid pel costat de carcassa (Γ_h) (kg/(s·m)) com:

$$\Gamma_h = \frac{\dot{m}_p}{L \cdot N_t} \quad (E.55)$$

I el nombre de tubs efectiu en la fila central ($N_{r,e}$):

$$N_{r,e} = \frac{2}{3} \cdot N_r \quad (E.56)$$

Llavors es calcula h_o com:

$$h_o = 0,95 \cdot k_l \cdot \left(\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_v) \cdot g}{\mu_l \cdot \Gamma_h} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot N_{r,e}^{-\frac{1}{6}} \quad (E.57)$$

On k_l és la conductivitat tèrmica del líquid del procés (W/(m·K)), ρ_l és la densitat del líquid de procés (kg/m³) i μ_l és la viscositat del líquid de procés (Pa·s).

Arribats en aquest punt si h_o calculat és suficientment semblant al suposat se segueix amb el mètode, si no repeteix el procés suposant un coeficient de transferència de calor individual diferent. A ser possible comença de nou amb el valor de calculat en la iteració anterior.

En pic s'ha determinat el coeficient de transferència de calor del costat carcassa queda fer-ho pel costat dels tubs. S'ha de començar per definir l'àrea de pas dels tubs (A_p) (m²):

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \cdot \frac{N_t}{N_p} \quad (E.58)$$

On N_p és el nombre passos per tubs i D_i és el diàmetre intern dels tubs (m).

Llavors es defineix la velocitat de pas de l'aigua pels tubs (v_a) (m/s) com:

$$v_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a \cdot A_p} \quad (\text{E.59})$$

Seguidament, es determina el coeficient de transferència individual pel costat dels tubs (h_i) ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$):

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{film,i}) \cdot \frac{v_a^{0,8}}{D_i^{0,2}} \quad (\text{E.60})$$

En aquesta correlació el diàmetre intern dels tubs té unitat de mm i no de m.

Finalment, només queda determinar el coeficient global de transferència de calor (U) ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). S'ha de comentar que és necessari saber la conductivitat tèrmica del material (k_w) que pels acers inoxidable és 50 ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) segons la taula 12.6 de la (ref. 20).

Determinada aquesta propietat, el coeficient es pot determinar a partir de la següent expressió:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + h_{od} + \frac{D_o \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{D_o}{D_i} \cdot h_{id} + \frac{D_o}{D_i} \cdot h_i} \quad (\text{E.61})$$

Finalment, s'ha de comprovar que la U calculada s'assembla suficientment a la suposada, si no és així s'ha de repetir el procediment sencer.

Un cop arribat en aquest punt, ara s'ha de procedir a calcular la pèrdua de càrrega, tant en el costat de carcassa (ΔP_c) (Pa) com en el costat de tubs (ΔP_t) (Pa). Primer es procedirà al càlcul de la pèrdua en el costat de carcassa.

En primer lloc, s'ha de definir el diàmetre intern de la carcassa. Per això es defineix el tipus de capçal de l'intercanviador i el percentatge de tall dels *baffles*. En el cas estudiat, els capçals són del tipus *floating ring* i el percentatge de tall dels *baffles* és 45. També se selecciona que el diàmetre intern sigui igual al espai entre els *baffles* (l_b) (m). Llavors, ara s'ha de determinar el gruix de la placa tubular a través de la figura 12.10 de la (ref. 20).

A continuació, es pot definir el diàmetre intern de la carcassa ($D_{i,c}$) (m) com:

$$D_{i,c} = D_b + \text{gruix placa tubular} \quad (\text{E.62})$$

Seguidament, es determina l'àrea de pas a la carcassa (A_c) (m^2):

$$A_c = \frac{(P_t - D_o)}{P_t} \cdot l_b \cdot D_{i,c} \quad (\text{E.63})$$

Ara, la velocitat massica de pas basada en les condicions d'entrada (G_s) ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$):

$$G_s = \frac{\dot{m}_p}{A_c} \quad (\text{E.64})$$

Després, el diàmetre equivalent (d_e) (m):

$$d_e = \frac{1,27}{D_o} \cdot (P_t^2 - 0,785 \cdot D_o^2) \quad (\text{E.65})$$

A continuació, el Reynolds del costat carcassa (Re_c):

$$Re_c = \frac{G_s \cdot d_e}{\mu_v} \quad (\text{E.66})$$

Llavors, de la figura 12.30 de la (ref. 20) s'obté el factor de fricció pel costat ($j_{f,c}$) carcassa.

Ara es determina la velocitat lineal del costat carcassa (v_c) (m/s):

$$v_c = \frac{G_s}{\rho_v} \quad (\text{E.67})$$

Finalment, es determina la pèrdua de càrrega en el costat carcassa, l'autor recomana que aquesta pèrdua sigui la meitat de la que es donaria en condicions d'entrada.

$$\Delta P_c = \frac{1}{2} \cdot \left(8 \cdot j_{f,c} \cdot \left(\frac{D_{i,c}}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_b} \right) \cdot \left(\frac{\rho_v \cdot v_c^2}{2} \right) \right) \quad (\text{E.68})$$

Ara es procedeix a calcular la pèrdua de càrrega dels tubs. Per començar, s'ha de calcular el Reynolds del costat dels tubs (Re_t). Posteriorment, ja s'ha calculat la velocitat lineal dels tubs. Llavors, el Reynolds es defineix com:

$$Re_t = \frac{v_a \cdot \rho_a \cdot D_i}{\mu_a} \quad (\text{E.69})$$

Llavors, de la figura 12.24 de la (ref. 20) s'obté el factor de fricció pel costat ($j_{f,t}$) carcassa.

Finalment, la pèrdua de càrrega en el costat dels tubs és:

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left(8 \cdot j_{f,t} \cdot \left(\frac{L}{D_i} \right) + 2,5 \right) \cdot \frac{\rho_a \cdot v_a^2}{2} \quad (\text{E.70})$$

Si la pèrdua de càrrega supera 0,5 bar en el costat tubs i 0,25 bar en el costat carcassa, s'ha de repetir tot el procediment suposant una U més petita perquè llavors en aquest bescanviador predominen les limitacions per pèrdua de càrrega.

A.5 Disseny d'intercanviadors sense canvi de fase

El mètode emprat pel disseny d'aquests equips és basat en la (ref. 20).

Per a dissenyar un intercanviador són necessàries una sèrie de propietats físiques del corrent de procés de l'aigua de refrigeració. També s'ha definir una geometria dels tubs de l'intercanviador.

Havent definit totes les variables anteriors es pot començar el disseny del condensador amb el mètode mostrat a continuació:

Primerament, es realitza el balanç d'energia del bescanviador per a trobar el cabal d'aigua de refrigeració necessari (\dot{m}_a) (kg/s) i la potència de l'intercanviador (\dot{Q}) (W):

$$\dot{Q} = \dot{m}_p \cdot C_{p,p} \cdot (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (\text{E.71})$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}}{C_{p,a} \cdot (T_{c,o} - T_{c,i})} \quad (\text{E.72})$$

On \dot{m}_p és el cabal del fluid de procés (kg/s), $C_{p,p}$ és la capacitat calorífica específica del fluid de procés (J/(kg·°C)), $T_{h,i}$ i $T_{h,o}$ són les temperatures d'entrada i sortida del fluid de procés (°C), respectivament, $C_{p,a}$ és la capacitat calorífica específica de l'aigua (J/(kg·°C)) i $T_{c,i}$ i $T_{c,o}$ són les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua (°C), respectivament.

Ara s'ha de suposar un valor del coeficient global de transferència de calor inicial (U_i). Aquest supòsit canvia en funció dels tipus de fluid que circulen per l'intercanviador. En el cas estudiat, el fluid calent es podria considerar un solvent orgànic i el fluid refrigerant és aigua. D'aquí se n'extreu que U_i ha d'estar entre 250-750 (W/(m²·K)).

A continuació, s'han de calcular R i S, dos paràmetres característics per a determinar F, que és un factor correctiu de la temperatura logarítmica mitjana (ΔT_{lm}) (°C).

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad (\text{E.73})$$

$$S = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (\text{E.74})$$

Mitjançant la figura 12.19 de la (ref. 20) es pot determinar el valor de F a partir dels valors de R i S per a bescanviadors de passos per tubs parells i d'un sol pas per carcassa.

Ara definim la temperatura logarítmica mitjana com:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}}\right)} \quad (\text{E.75})$$

Seguidament es defineix l'àrea inicial (A_i) (m²) com:

$$A_i = \frac{\dot{Q}}{U_i \cdot \Delta T_{lm}} \quad (\text{E.76})$$

També es pot definir l'àrea d'intercanvi d'un sol tub (A_t) (m²) com:

$$A_t = \pi \cdot D \cdot L \quad (\text{E.77})$$

On D és el diàmetre extern d'un tub (m) i L és la longitud dels tubs (m).

Sabent el valor de l'àrea total d'intercanvi la d'un sol tub, es pot calcular el nombre de tubs (N_t) com:

$$N_t = \frac{A_i}{A_t} \quad (\text{E.78})$$

Com que no es poden construir tubs decimals s'ha d'agafar el nombre enter següent. Ara havent definit un nou nombre de tubs s'ha de recalculer l'àrea total d'intercanvi (A) (m²) com:

$$A = N_t \cdot A_t \quad (\text{E.79})$$

I després el coeficient de transferència de calor global (U) (W/(m²·K)):

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T_{lm}} \quad (\text{E.80})$$

Ara s'ha de definir el patró que segueixen els tubs en l'intercanviador, en aquest cas és 30 triangular. Aquest fet provoca que el *pitch* (P_t) (m) es pugui definir com:

$$P_t = 1,25 \cdot (D_o) \quad (\text{E.81})$$

Llavors, s'han de determinar K₁ i n₁ de la taula 12.4 de la (ref. 20).

Posteriorment, es calcula el diàmetre de la placa tubular (D_b) (m) a través de l'equació (E.48).

Després, s'ha de definir el diàmetre intern de la carcassa. Per això es defineix el tipus de capçal de l'intercanviador i el percentatge de tall dels *baffles*. En el cas estudiat, els capçals són del tipus *floating ring* i el percentatge de tall dels *baffles* és 45. També se selecciona que el diàmetre intern sigui igual al espai entre els *baffles* (l_b)(m). Llavors, ara s'ha de determinar el gruix de la placa tubular a través de la figura 12.10 de la (ref. 20).

A continuació, es pot definir el diàmetre intern de la carcassa (D_{i,c}) (m) com:

$$D_{i,c} = D_b + \text{gruix placa tubular} \quad (\text{E.82})$$

Ara s'han de definir les temperatures de pel·lícula de cadascun dels costats de l'intercanviador (T_{film,o}) i (T_{film,i}) (°C) per determinar les propietats dels fluids i així poder calcular els coeficients de transferència de calor individuals per a cada costat. En el procediment, primer es calcularà el dels tubs i després el de la carcassa.

$$T_{film,o} = \frac{(T_{h,o} + T_{h,i})}{2} \quad (\text{E.83})$$

$$T_{film,i} = \frac{(T_{c,o} + T_{c,i})}{2} \quad (\text{E.84})$$

Ara es defineix l'àrea de pas dels tubs (A_p) (m²):

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \quad (\text{E.85})$$

On D_i és el diàmetre intern dels tubs (m).

A continuació es defineixen el nombre de tubs per cada pas (N_{t,p}) que hi ha:

$$N_{t,p} = \frac{N}{N_p} \quad (\text{E.86})$$

On N_p és el nombre de passos per tubs.

Seguidament, es defineix l'àrea de pas total pel flux (A_f) (m^2) que és:

$$A_f = N_{t,p} \cdot A_p \quad (E.87)$$

Llavors es defineix la velocitat de pas de l'aigua pels tubs (v_a) (m/s) com:

$$v_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a \cdot A_f} \quad (E.88)$$

On ρ_a és la densitat de l'aigua (kg/m^3).

Seguidament, es determina el coeficient de transferència individual pel costat dels tubs (h_i) ($W/(m^2 \cdot K)$):

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{film,i}) \cdot \frac{v_a^{0,8}}{D_i^{0,2}} \quad (E.89)$$

En aquesta correlació D_i ha d'anar en mm i no en m.

Un cop determinat el coeficient de transferència individual pel costat dels tubs es procedeix a determinar el del costat carcassa. Per començar s'ha de determinar l'espai entre *baffles* (l_b) (m).

$$l_b = \frac{D_{i,c}}{N_b} \quad (E.90)$$

On N_b és el nombre de *baffles* de l'intercanviador.

Ara es defineix l'àrea de pas en la carcassa (A_c) (m^2):

$$A_c = \frac{(P_t - D_o)}{P_t} \cdot l_b \cdot D_{i,c} \quad (E.91)$$

Ara, la velocitat màssica de pas per la carcassa (G_s) ($kg/(m^2 \cdot s)$):

$$G_s = \frac{\dot{m}_p}{A_c} \quad (E.92)$$

Després, el diàmetre equivalent (d_e) (m):

$$d_e = \frac{1,27}{D_o} \cdot (P_t^2 - 0,785 \cdot D_o^2) \quad (E.93)$$

A continuació, el Reynolds del costat carcassa (Re_c):

$$Re_c = \frac{G_s \cdot d_e}{\mu_l} \quad (E.94)$$

On μ_l és la viscositat del fluid de procés (Pa·s).

I també el Prandtl (P_r):

$$Pr = \frac{c_{p,p} \cdot \mu_l}{k_l} \quad (\text{E.95})$$

On k_l és la conductivitat tèrmica del fluid de procés ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

Ara de la figura 12.29 de la (ref. 20) s'extreu el valor del factor d'intercanvi de calor (j_h).

Finalment, es determina el coeficient de transferència individual del costat de la carcassa (h_o) ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$):

$$h_o = \frac{k_l}{d_e} \cdot j_h \cdot Re_c \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (\text{E.96})$$

Finalment, només queda determinar el coeficient global de transferència de calor (U). S'ha de comentar que és necessari saber la conductivitat tèrmica del material (k_w) que pels acers inoxidable és $50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ segons la taula 12.6 de la (ref. 20).

Determinada aquesta propietat, el coeficient es pot determinar a partir de la següent expressió:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + h_{od} + \frac{D_o \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{D_o}{D_i} \cdot h_{id} + \frac{D_o}{D_i} \cdot h_i} \quad (\text{E.97})$$

Finalment, s'ha de comprovar que la U calculada s'assembla suficientment a la suposada, si no és així s'ha de repetir el procediment sencer.

Un cop arribat en aquest punt, ara s'ha de procedir a calcular la pèrdua de càrrega, tant en el costat de carcassa (ΔP_c) (Pa) com en el costat de tubs (ΔP_t) (Pa). Primer es procedirà al càlcul de la pèrdua en el costat de carcassa.

Llavors, de la figura 12.30 de la (ref. 20), s'obté el factor de fricció pel costat ($j_{f,c}$) carcassa.

Ara es determina la velocitat lineal del costat carcassa (v_c) (m/s):

$$v_c = \frac{G_s}{\rho_l} \quad (\text{E.98})$$

On ρ_l és la densitat del líquid de procés (kg/m^3).

Finalment, es determina la pèrdua de càrrega en el costat carcassa.

$$\Delta P_c = 8 \cdot j_{f,c} \cdot \left(\frac{D_{i,c}}{d_e}\right) \cdot \left(\frac{L}{l_b}\right) \cdot \left(\frac{\rho_l \cdot v_c^2}{2}\right) \quad (\text{E.99})$$

Ara es procedeix a calcular la pèrdua de càrrega dels tubs.

Llavors, de la figura 12.24 de la (ref. 20), s'obté el factor de fricció pel costat ($j_{f,t}$) carcassa.

Finalment, la pèrdua de càrrega en el costat dels tubs és:

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left(8 \cdot j_{f,t} \cdot \left(\frac{L}{D_i} \right) + 2,5 \right) \cdot \frac{\rho_a \cdot v_a^2}{2} \quad (\text{E.100})$$

Si la pèrdua de càrrega supera 0,5 bar en el costat tubs i 0,25 bar en el costat carcassa, s'ha de repetir tot el procediment suposant una U més petita perquè llavors en aquest bescanviador predominen les limitacions per pèrdua de càrrega.

A.6 Disseny de decantadors

En aquest annex es mostrarà el procediment seguit per al disseny d'un decantador per a la separació de dues fases líquides (ref. 21) . Aquest mètode està basat en el temps de residència de les dues fases dintre del decantador.

El primer que s'ha de fer és determinar quin és el volum més gran dintre de l'acumulador, si el de la fase orgànica durant cinc minuts o el de la fase aquosa durant quinze minuts. És a dir:

Si $\dot{Q}_o \cdot 5 < \dot{Q}_a \cdot 15$ se selecciona el volum de la fase aquosa, en cas contrari, s'escull el volum de la fase orgànica.

En pic s'ha definit el volum més gran s'ha de determinar el volum del decantador (V_d). Aquest volum es pot definir com:

$$V_d = \frac{\dot{Q}_o \cdot 5}{1 - f_p} \cdot f_p \quad (\text{E.101})$$

Un cop se sap el volum del de decantador i havent fixat una relació diàmetre longitud, es poden determinar les dues distàncies:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad (\text{E.102})$$

Llavors, també podem escriure:

$$V_d = \frac{3,5 \cdot \pi \cdot D^3}{4} \quad (\text{E.103})$$

Llavors el diàmetre és:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_d}{3,5 \cdot \pi}} \quad (\text{E.104})$$

Seguidament, la longitud:

$$L = 3,5 \cdot D \quad (\text{E.105})$$

I, finalment, la distància H que és necessària per establir el nivell normal d'omplert del decantador:

$$H = \frac{D}{2} - 0,25 - 0,225 - 0,067 \cdot D \quad (\text{E.106})$$

A.7 Disseny mecànic dels equips

A partir de les dades inicials recollides a les taules 4.38, 4.55, 4.70, es realitzen els càlculs següents per a fer el disseny mecànic dels equips (ref. 16). En primer lloc, es calcula l'altura de l'equip H (m). En el cas de la columna es calcula l'altura de la columna HC (m) mitjançant l'equació E.106. En el cas dels altres equips, l'altura ja ve donada per la seva geometria:

$$HC = TS \cdot (N - 1) + G_P \cdot N \quad (\text{E.107})$$

On TS és l'espai entre plats (m), N és el nombre total de plats i G_P és el gruix dels plats (m).

A continuació es calcula la pressió degut a la columna de líquid P_{LIQ} (Pa):

$$P_{LIQ} = H \cdot \rho_{LIQ} \cdot g \quad (\text{E.108})$$

On ρ_{LIQ} és la densitat més gran de líquid de l'equip (kg/m^3) i g és l'acceleració de la gravetat amb un valor de $9,81 \text{ m/s}^2$.

Es pren el valor més gran entre 1 bar o el 10% de la pressió al fons de l'equip (P_E). Això s'utilitza per a calcular la pressió de disseny de l'equip P_d (Pa):

$$P_d = P_{LIQ} + P_{FONS\ COLUMNA} + P_E \quad (\text{E.109})$$

Es calcula la temperatura de disseny de l'equip T_d ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_d = T_{OP} + 20 \quad (\text{E.110})$$

On T_{OP} és la temperatura d'operació de l'equip.

Es busca a la taula A3 del ASME la S (Pa) del material utilitzat per a construir l'equip a la temperatura de disseny prèviament calculada.

A partir dels valors calculats amb anterioritat, tot seguint les equacions del Pressure vessel Handbook es calculen els gruixos (m) del cilindre, dels caps semiesfèrics i dels caps helicoidals, pels equips amb aquesta geometria:

$$t_{CILINDRE} = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} \quad (\text{E.111})$$

$$t_{SEMI\ ESFERA} = \frac{P_d \cdot R}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} \quad (\text{E.112})$$

$$t_{HELICOIDAL} = \frac{P_d \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} \quad (\text{E.113})$$

On R és el radi de l'equip (m), E és l'eficiència de soldadura que es considera 1 i D és el diàmetre de l'equip (m).

A partir dels resultats obtinguts i considerant un gruix per a la corrosió s'escull una placa de gruix definit en un catàleg d'un fabricant i es consulta la densitat del material seleccionat.

A continuació es calcularà el volum que ocupen les planxes d'acer de l'equip (m^3), tant al cilindre com als caps semiesfèrics, que han estat els escollits pel disseny mecànic dels equips. Si els caps seleccionats haguessin estat els helicoidals, es necessari buscar les equacions que descriuen la seva geometria.

$$V_{ACER,CILINDRE} = \pi \cdot (R_C + G_P)^2 \cdot (HC - DC) - (R_C)^2 \cdot (HC - DC) \quad (E.114)$$

$$V_{ACER,SEMI\ ESFERES} = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{(R_C + G_P)^2 - (R_C)^2}{3} \quad (E.115)$$

S'obté el pes de l'equip buit P_{BUIT} (kg) a partir de la següent equació:

$$P_{BUIT} = \rho_{acer} \cdot (V_{ACER,CILINDRE} + V_{ACER,SEMI\ ESFERES}) \quad (E.116)$$

Ara es calcula el volum del cilindre i dels caps semiesfèrics (m^3):

$$V_{CILINDRE} = \pi \cdot (R_C)^2 \cdot (HC - DC) \quad (E.117)$$

$$V_{SEMI\ ESFERES} = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{(R_C)^2}{3} \quad (E.118)$$

Per a calcular el pes de l'equip quan està ple de líquid $P_{LÍQ}$ (kg), s'utilitza la següent equació:

$$P_{LÍQ} = P_{BUIT} + \rho_{LÍQ} \cdot (V_{CILINDRE} + V_{SEMI\ ESFERES}) \quad (E.119)$$

Per últim es calcula el gruix disponible d'acer G_d (m), és a dir, el gruix de la planxa seleccionada menys el gruix destinat a la corrosió. Aquest valor s'utilitza per a calcular la MAWP (Pa):

$$MAWP = \frac{G_d \cdot S \cdot E}{RC + 0,6 \cdot G_d} \quad (E.120)$$

Aquesta MAWP es multiplica per 1,43 per a trobar el valor de la pressió de prova hidràulica $P_{P.H.}$ (Pa):

$$P_{P.H.} = 1,43 \cdot MAWP \quad (E.121)$$

A.8 Disseny de bombes

A partir de les dades recollides a les taules 4.51, 4.64 i 4.83, es segueix el següent procediment (ref. 13) i (ref. 20) per tal de dissenyar les bombes.

En primer lloc es calcula l'àrea transversal de la canonada A_{CS} (m^2):

$$A_{CS} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i)^2 \quad (E.122.)$$

On D_i és el diàmetre intern de la canonada en m.

A continuació es troba la velocitat del fluid u (m/s):

$$u = \frac{\dot{m}}{A_{CS} \cdot \rho} \quad (E.123.)$$

On \dot{m} és el cabal màssic a impulsar per la bomba (kg/s) i ρ és la densitat del fluid (kg/m³).

Després es calcula el nombre de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D_i}{\mu} \quad (\text{E.124})$$

On μ és la viscositat del fluid (cP).

A partir del material de la canonada, s'escull de la Taula 5.2. del *Coulson and Richardson* volum 6, la rugositat absoluta de la canonada (R_A). Tot seguit es calcula la rugositat relativa (R_R):

$$R_R = \frac{R_A}{D_i} \quad (\text{E.125})$$

S'utilitzen les dades prèviament calculades per a extreure el factor de fricció (f) de la Taula 5.7 del *Coulson and Richardson volum 6* (ref. 20).

A continuació es calculen les pèrdues menors que es troben a l'aspiració i a la impulsió de la bomba. Aquestes es troben recollides a les taules 4.52., 4.65. i 4.84. S'ha escollit el mètode de diàmetres de canonada equivalents per a calcular la ΔP total de la canonada.

A partir de la taula 5.3. del *Coulson and Richardson volum 6* (ref. 20), es coneix l'equivalència en m de la pèrdua de càrrega de cada element present en l'aspiració i la impulsió de la bomba.

Es calcula la longitud extra (E_L) que ha de tenir la canonada per culpa de les pèrdues menors i després la longitud total (L) de la canonada que s'utilitzarà en els càlculs de la ΔP :

$$E_L = \sum \frac{L}{D} \text{ pèrdues menors} \cdot D_i \quad (\text{E.126})$$

$$L = E_L + L_C \quad (\text{E.127.})$$

On L_C és la longitud de la canonada proporcionada bibliogràficament.

Es calcula la ΔP_f per a la impulsió i l'aspiració a partir de l'equació E.127 i finalment s'obté la ΔP_f total (N/m²) sumant les dues:

$$\Delta P_{F_{I,A}} = 8 \cdot f \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \rho \cdot \frac{u^2}{2} \quad (\text{E.128})$$

$$\Delta P_F = \Delta P_{F_I} + \Delta P_{F_A} \quad (\text{E.129})$$

A continuació es calcula la Δz (m) i la ΔP (N/m²) entre l'aspiració i la impulsió:

$$\Delta z = \Delta z \text{ aspiració} + \Delta z \text{ impulsió} \quad (\text{E.130})$$

$$\Delta P = \Delta P \text{ aspiració} + \Delta P \text{ impulsió} \quad (\text{E.131})$$

Finalment es calcula el treball W (m) que ha de realitzar la bomba:

$$W = \frac{\Delta PF}{\rho \cdot g} \cdot \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \cdot \Delta Z \quad (\text{E.132})$$

On g és l'acceleració de la gravetat amb un valor de 9.81 m/s².

Aquest W es transforma a kilowatts per tal d'adequar les unitats a les que utilitzen els fabricants als seus catàlegs per a designar la potència requerida de la bomba:

$$W(\text{kW}) = W(\text{m}) \cdot \frac{g \cdot \dot{m}}{1000} \quad (\text{E.133})$$

La potència real requerida per la bomba és igual a la potència en kW dividida per l'eficiència d'aquesta (η):

$$W = \frac{W(\text{kW})}{\eta} \quad (\text{E.134})$$

Finalment es calcula l'NPSH disponible (m). Aquest ha de ser major que el requerit per la bomba:

$$NPSH_d = \frac{P_i}{\rho \cdot g} + H_a - \frac{\Delta PF_a}{\rho \cdot g} - \frac{P_{v,a}}{\rho \cdot g} \quad (\text{E.135})$$

On P_i és la pressió a la impulsió (N/m²), H_a és l'altura de líquid a l'aspiració(m), ΔPF_a són les pèrdues de càrrega a l'aspiració (N/m²) i la $P_{v,a}$ és la pressió de vapor a l'aspiració (N/m²).

A.9 Disseny de plaques d'orifici

En aquest apartat es mostra el procediment (ref. 4) fet servir per a dissenyar el diàmetre d'una placa d'orifici.

Per determinar aquest diàmetre primer s'ha de definir uns paràmetres: α , coeficient de cabal, que l'autor recomana 0,6 per plaques d'orifici, β i ε . Aquests dos últims es poden definir com:

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (\text{E.136})$$

On d és el diàmetre de la placa d'orifici (m) i D és el diàmetre de la canonada (m).

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad (\text{E.137})$$

Llavors l'equació per al dimensionament és:

$$\alpha \cdot \beta^2 = \frac{4 \cdot Q}{\varepsilon \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}}} \quad (\text{E.138})$$

On ΔP és la pèrdua de càrrega permesa a la placa d'orifici (Pa), Q és el cabal volumètric (m³/s), ρ és la densitat del fluid (kg/m³).

El procediment de càlcul ha sigut el següent: primer suposar d, després calcular β i ε , seguidament, calcular els dos termes a cada banda de l'igual i restar-los i, finalment, amb la

funció *Solver* de l'Excel donar-li la instrucció de que la resta fos igual a 0 canviant únicament el diàmetre de la placa d'orifici. Així, per un mètode iteratiu, s'obté el diàmetre.

A.10 Disseny de vàlvules de control

En aquest apartat es mostrarà el procediment seguit per a la selecció de vàlvules de control (ref. 6).

Primerament, s'ha de suposar una vàlvula de control, es recomana una unitat per sota de la mida de la canonada. Tota la informació sobre vàlvules de control de globus es mostra en l'apartat 5.10.11 de la (ref. 6).

Un cop seleccionada la vàlvula, s'han de determinar dues constants N_1 i N_2 , que són constants numèriques depenent de les unitats de certes propietats. Els valors de N_1 i N_2 es veuen en l'apartat 5.7 (ref. 6).

Ara s'han de determinar els coeficients de Bernoulli, K_{B1} , que és el d'entrada i, K_{B2} , que és el de sortida. També s'han de determinar els coeficients de resistència pels accessoris abans i després de la vàlvula de control, K_1 , que és el d'entrada i, K_2 , que és el de sortida. Els accessoris s'han simplificat a una reducció i a un augment de canonada des del diàmetre de la canonada al de la vàlvula de control. Per tant, els coeficients es poden definir com:

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4 \quad (\text{E.139})$$

$$K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D_2}\right)^4 \quad (\text{E.140})$$

$$K_1 = 0,5 \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^2\right)^2 \quad (\text{E.141})$$

$$K_2 = 1 \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D_2}\right)^2\right)^2 \quad (\text{E.142})$$

On d és el diàmetre de la vàlvula, D_1 és el diàmetre de la canonada d'entrada i D_2 és el diàmetre de la canonada de sortida.

Ara s'ha de calcular el sumatori d'aquests coeficients, es defineix com:

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} \quad (\text{E.143})$$

A continuació es calcula el factor de la geometria de la canonada, F_p :

$$F_p = \left(1 + \frac{\sum K}{N_2} \cdot \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{E.144})$$

Després, el factor de recuperació de la pressió del líquid ajustat als complements de la vàlvula, $F_{l,p}$:

$$F_{l,p} = \left(\frac{K_1 + K_{B1}}{N_2} \cdot \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2 + \frac{1}{F_l^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{E.145})$$

Per seguir, el factor de pressió crítica, F_f :

$$F_f = 0.96 - 0.28 \cdot \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \quad (\text{E.146})$$

On P_v és la pressió de vapor a la temperatura d'operació i P_c és la pressió crítica del fluid.

Ara s'ha de calcular el ΔP_{sizing} , que és la pèrdua de càrrega emprada pel disseny, hi ha dues opcions, una pèrdua de càrrega que és la que hi ha entre l'entrada i sortida de la vàlvula, ΔP , o la pèrdua de càrrega si ha evaporació a la sortida de la vàlvula, ΔP_{choked} . S'ha d'escollir el valor més petit dels dos. S'ha seleccionat com a valor de pèrdua de càrrega habitual un rang de valors entre 0,1 i 0,4 bar. ΔP_{choked} es defineix com:

$$\Delta P_{\text{choked}} = \left(\frac{F_{Lp}}{F_p}\right)^2 \cdot (P_1 - F_f \cdot P_v) \quad (\text{E.147})$$

On P_1 és la pressió d'entrada a la vàlvula de control.

Finalment, es calcula el coeficient de flux de la vàlvula necessari, $C_{v,\text{required}}$, com:

$$C_{v,\text{required}} = \frac{q}{N_1 \cdot F_p \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{sizing}}}{SG}}} \quad (\text{E.148})$$

On q és el cabal volumètric i SG és la gravetat específica del fluid.

Si $C_{v,\text{required}}$ és més gran que $C_{v,\text{disponible}}$, que és el que es troba en l'apartat 5.10.1 (ref. 6), s'ha de refer el procediment amb una vàlvula més gran.

A.11 Mètode de disseny d'una sabata per a una columna

En aquest annex es mostrarà el procediment emprat per al disseny de la sabata d'una columna (ref. 17). El primer que s'ha de realitzar és definir tots els paràmetres definits en l'apartat 4.5 del cos de l'informe. Un cop fet això, el següent que s'ha de fer és calcular l'àrea de l'octògon (A_o) (m^2) de la sabata com:

$$A_o = 0,828 \cdot d_o^2 \quad (\text{E.149})$$

On d_o és el diàmetre menor de l'octògon en metres.

Llavors el volum del pedestal (V_o) (m^3) és:

$$V_o = A_o \cdot L_c \quad (\text{E.150})$$

On L_c és la línia de congelació del sòl en qüestió en metres.

Posteriorment, es calcula l'àrea de la base de la sabata (A_b) (m^2) com:

$$A_b = 0,828 \cdot d_b^2 \quad (\text{E.151})$$

On d_b és el diàmetre menor de la base en metres.

Després, es determina el volum de la base (V_b) (m^3) com:

$$V_b = A_b \cdot (h_t - L_c) \quad (E.152)$$

On h_t és l'alçada total de la cimentació en metres.

A continuació, es calcula la massa de formigó necessària per construir la sabata (m_f) (kg) com:

$$m_f = (V_b + V_o) \cdot \rho_f \quad (E.153)$$

On ρ_f és la densitat del formigó en kg/m^3 .

Seguidament, es determina la massa de terra que hi ha per sobre de la base de la cimentació (m_t) (kg) com:

$$m_t = \rho_t \cdot (L_c - h_{st}) \cdot (A_b - A_o) \quad (E.154)$$

On ρ_t és la densitat del sòl en qüestió en kg/m^3 i h_{st} és l'alçada de cimentació que hi ha per sobre de la rasant del terra en metres.

Ara es calcula la massa total del sistema (m_s) (kg) com:

$$m_s = m_t + m_f + m_c + m_a \quad (E.155)$$

On m_c és la massa de la columna plena en kg i m_a és la massa dels accessoris de la columna en kg.

Finalment, es calcula la pressió que exerceix la columna contra el terra (s_1) (kg/cm^2) com:

$$s_1 = \frac{m_s}{A_b} \quad (E.156)$$

Un cop s'ha calculat la pressió que exerceix la columna pel seu propi pes contra el terra, s'ha de determinar la pressió que realitza pel fet d'estar sotmesa al vent. El primer que s'ha de fer és calcular la pressió que exerceix el vent contra la columna (P_v) (kg/m^2) com:

$$P_v = 0,0047 \cdot V_v^2 \quad (E.157)$$

On V_v és la velocitat màxima del vent en la zona en qüestió en km/h .

Després s'ha de determinar el diàmetre efectiu de la columna (d_e) (m), que té en compte el gruix de les parets i el de l'aïllament, com:

$$d_e = d_c + 2 \cdot t_p + 2 \cdot t_a \quad (E.158)$$

On d_c és el diàmetre de la columna en metres, t_p és el gruix de la paret en metres i t_a és el gruix de l'aïllament en metres.

Llavors, es calcula l'alçada total de la columna (h_t) (m), que està aixecada per un faldó, com:

$$h_t = h_c + h_f \quad (\text{E.159})$$

On h_c és l'alçada de la columna en metres i h_f és l'alçada del faldó en metres.

Posteriorment, s'ha de determinar la força massa que exerceix el vent contra la columna (F_v) (kg) com:

$$F_v = P_v \cdot d_e \cdot h_t \quad (\text{E.160})$$

Ara s'ha de calcular l'alçada del centre de masses (L) (m) com:

$$L = L_c + \frac{ht}{2} \quad (\text{E.161})$$

A continuació, es determina el mòdul de la secció per a la cimentació (Z) (m^3) com:

$$Z = 0,1016 \cdot d_b^3 \quad (\text{E.162})$$

Després, es calcula el moment massa que exerceix el vent (M_v) (kg·m) com:

$$M_v = F_v \cdot L \quad (\text{E.163})$$

Finalment, la càrrega que ha de suportar la cimentació a causa de l'acció del vent (s_2) (kg/cm^2) es pot determinar com:

$$s_2 = \frac{M_v}{Z} \quad (\text{E.164})$$

Un cop determinades les dues càrregues, s'ha d'obtenir la càrrega total (s) (kg/cm^2) que ha de suportar la cimentació, Aquesta càrrega es pot definir com:

$$s = s_1 + s_2 \quad (\text{E.165})$$

El disseny d'una sabata és acceptable quan el valor de s és menor que el de la càrrega que pot aguantar el sòl en qüestió.

A.12 Disseny de vàlvules de seguretat

En aquest apartat es mostrarà el procediment seguit per al disseny de les vàlvules de seguretat de la instal·lació (ref. 23).

El que es vol definir és l'àrea mínima necessària (A) (cm^2) de pas que ha de tenir la vàlvula. Aquesta àrea es calcula com:

$$A = \frac{W}{387,2 \cdot C \cdot P \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2} \cdot \sqrt{\frac{Z \cdot T}{M}} \quad (\text{E.166})$$

On W és el cabal màssic (kg/h), C és una constant adimensional en funció del ratio C_p/C_v , P és la pressió de descàrrega (kg/cm^2 (a)), K és una constant adimensional que per gasos és

0,946, K_1 és una constant adimensional en funció de la ratio P_b/P , P_b és la contrapressió (kg/cm^2 (a)), K_2 és una constant adimensional en funció de la ratio P_2/P_1 , P_2 és la contrapressió (kg/cm^2 (g)) i P_1 és el punt de consigna de la vàlvula (kg/cm^2 (g)).

La pressió de descàrrega, P , es defineix com:

$$P = P_1 + S \cdot P_1 + P_a \quad (\text{E.167})$$

On S és la sobrepressió permesa i P_a és la pressió atmosfèrica (kg/cm^2 (a)).

En la (ref. 23) es mostren els gràfics i taules necessaris per al càlcul de l'àrea necessària i les geometries disponibles de les diferents vàlvules.

Un cop determinada l'àrea mínima, s'ha de seleccionar l'orifici immediatament més gran per a la selecció de la vàlvula de seguretat i mirant que per a la P_1 que hi ha existeix aquesta geometria necessària. Si es produís el cas que l'àrea mínima és més gran que la geometria més gran disponible, s'hauria de seleccionar més d'una vàlvula i posar-les en paral·lel.

A.13 Càlcul gasos d'efecte hivernacle

A partir de les reaccions presentades a l'apartat 7.4. dins del manual de medi ambient, s'ha seguit el procediment descrit a continuació per a calcular el cabal dels gasos d'efecte hivernacle.

En primer lloc a partir del cabal màssic de cada component i l'estequiometria de la seva reacció de combustió s'obté el cabal de diòxid de carboni generat:

$$\dot{m}_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{component} \cdot \text{Coeficient estequiometric}_{CO_2} \cdot M_{W,CO_2}}{M_{W,component}} \quad (\text{E.168})$$

Un cop s'han calculat tots els cabals de CO_2 que genera cada component, es sumen per a obtenir el valor total que s'emet:

$$\dot{m}_{GASOS EFECTE HIVERNACLE} = \sum \dot{m}_{CO_2} \text{ de cada component} \quad (\text{E.169})$$

A.14 Mètode de l'estudi econòmic

En aquest annex es mostrarà el procediment seguit per a realitzar l'estudi econòmic (ref. 1) i (ref. 2). Es dividirà en dues parts: la referent al càlcul del cost de la instal·lació i la referent al càlcul del VAN, de la TIR i del *payback period*.

A.14.1 Mètode emprat pel càlcul del cost de la construcció i la instal·lació

Primerament, s'ha de calcular el cost total dels equips principals (C_T) (€) com:

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i \quad (\text{E.170})$$

On C_i és el preu individual de cada equip principal en euros.

Posteriorment, es calcula el cost dels equips no llistats (C_{NL}) (€). Aquest cost es calcula en funció del nivell del PFD. Si el PFD és preliminar, aquest cost és entre un 10 i un 20% de C_T . Si el PFD és molt elaborat és entre un 2 i 10% de C_T . En els tres casos estudiats s'ha considerat un PFD molt elaborat i s'ha seleccionat un 5% de C_T com a cost dels equips no llistats.

Per tant, el cost de l'equip base (C_B) (€) es pot definir com:

$$C_B = C_T + C_{NL} \quad (\text{E.171})$$

Després s'ha de determinar el preu mitjà dels equips principals (C_M) (€) com:

$$C_M = \frac{C_T}{N} \quad (\text{E.172})$$

On N és el nombre d'equips principals.

Després s'escull el valor dels factors d'instal·lació segons el preu mitjà dels equips principals. Un cop escollits aquests valors s'han de sumar tots per obtenir un valor final dels factors d'instal·lació (F_T). Aquest valor es pot definir com:

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{E.173})$$

On F_i és el valor de cada factor d'instal·lació.

Llavors es calcula el cost dels factors respecte el cost de l'equip base (C_F) (€) com:

$$C_F = \frac{F_T \cdot C_B}{100} \quad (\text{E.174})$$

Llavors els costos directes d'instal·lació (C_D) (€) són:

$$C_D = C_F + C_B \quad (\text{E.175})$$

Després els costos indirectes de la instal·lació (C_I) (€) com:

$$C_I = 0,29 \cdot C_D \quad (\text{E.176})$$

A continuació, els imprevistos (I) (€) com:

$$I = 0,14 \cdot C_D \quad (\text{E.177})$$

Finalment, el cost de construcció i instal·lació (C_{CI}) (€) com:

$$C_{CI} = C_D + C_I + I \quad (\text{E.178})$$

A.14.2 Mètode emprat pel càlcul del VAN, de la TIR i del *payback period*

Un cop determinat el cost de construcció i instal·lació, que és la inversió inicial, es procedeix a calcular els paràmetres econòmics següents: el VAN, la TIR i el *payback period*. Per fer-ho primer s'ha de calcular els costos fixos (C_{FI}) (€/any) i els variables (C_V) (€/any). Aquests es poden definir com:

$$C_{FI} = \sum_{i=1}^n C_{FI,i} \quad (\text{E.179})$$

On $C_{FI,i}$ és el cost dels diversos paràmetres a tenir en compte que siguin fixos en euros/any.

$$C_V = \sum_{i=1}^n C_{V,i} \quad (\text{E.180})$$

On $C_{v,i}$ és el cost dels diversos paràmetres a tenir en compte que siguin variables en euros/any.

També s'han de calcular els ingressos que es reben (IN) (€/any) com:

$$IN = \sum_{i=1}^n IN, i \quad (E.181)$$

On IN_i són els ingressos que es reben de cada font d'aquests.

Ara es pot definir el valor residual (V_r) (€) de la planta. S'ha decidit que valgui el 15% del preu de construcció i instal·lació.

$$V_r = 0,15 \cdot C_{CI} \quad (E.182)$$

Llavors l'amortització (A) (€/any), suposant que la vida útil de les untats és de 15 anys:

$$A = \frac{(C_{CI} - V_r)}{15} \quad (E.183)$$

Posteriorment, el benefici abans d'impostos (BAI) (€/any):

$$BAI = IN - C_V - C_{FI} - A \quad (E.184)$$

Per tant, els impostos a pagar (IM) (€/any), suposant una taxa d'impostos del 35%:

$$IM = BAI \cdot 0,35 \quad (E.185)$$

Després els beneficis després d'impostos (BDI) (€/any):

$$BDI = BAI - IM + A \quad (E.186)$$

Aquests beneficis després d'impostos també s'anomenen flux de caixa o *cash flow*.

Finalment, només queda determinar el VAN, la TIR i el *payback period*.

El VAN, sabent que el cost d'oportunitat (k) és del 10%, es pot definir com:

$$VAN = -C_{CI} + \sum_{i=1}^n \frac{BDI}{(1+k)^n} \quad (E.187)$$

On n és el nombre d'anys que hauran succeït des del moment en què es realitza el càlcul.

Ara la TIR, és el valor del cost d'oportunitat (k) que fa que el VAN sigui 0. Per tant, l'equació per a trobar la TIR és:

$$0 = -C_{CI} + \sum_{i=1}^n \frac{BDI}{(1+TIR)^n} \quad (E.188)$$

Finalment, el *payback period* és el temps que transcorre fins a recuperar la inversió. Aquest mètode no té en compte la devaluació dels diners en el temps. Per tant, el *payback period* (PP) es pot definir com:

$$PP = \frac{C_{CI}}{BDI} \quad (E.189)$$

A.15 Zones ATEX

La determinació de les zones ATEX s'ha realitzat a partir de les normes (ref. 26) i (ref. 27).

En primer lloc es defineix el punt d'escapament que s'estudia. Cal definir quin grau de fuga és i la seva durada, la mida del orifici per on fuga el producte a l'exterior (els documents referenciats donen àrees pels diferents escenaris de fuga possibles) i el coeficient de descarrega pel orifici de fuga (el criteri per determinar aquest també és donat en els documents de referència).

El primer càlcul consisteix en determinar el cabal de fluid de procés que s'escapa pel orifici de fuga.

$$W = Cd \times S \times \sqrt{2 \times \rho \times \Delta P} \quad (E.190)$$

On W és el cabal de fluid que s'escapa (kg/s), el Cd és el coeficient de descarrega, la S és l'àrea del orifici (m^2), la ρ és la densitat del fluid de procés (kg/m^3) i la ΔP és la diferència de pressió entre el fluid de procés i la pressió atmosfèrica (Pa).

Una atmosfera explosiva és generada per un vapor en l'aire. En cas de que el fluid que fuga no és un vapor cal determinar la quantitat de vapor que és generat pel canvi de pressió. En aquest estudi s'ha emprat el simulador (ref. 24) per tal de determinar quina fracció massica del fluid pateix una evaporació quan surt a l'exterior. El cabal de vapor que s'escapa és la tasa d'escapament de gas (W_g) en Kg/s, que es la W si el fluid és vapor o el valor de W multiplicat per la fracció massica que s'evapora.

Per determinar i quantificar fins a on arriba la zona ATEX cal usar la figura C.1 i D.1 de la (ref. 27). Per poder usar els gràfics cal determinar el valor de la característica d'escapament C_e (m^3/s).

$$C_e = \frac{W_g}{\rho \cdot g} \cdot k \cdot LII \quad (E.191)$$

On g és la gravetat en m/s^2 , la k és el factor de seguretat associat a la substància en qüestió i el LII és el límit inferior d'inflamabilitat del fluid en volum. El LII és extret de la taula A.1 de la (ref. 26).

En la figura C.1 es determina la dilució del vapor que fuga a l'exterior. S'usa el valor de C_e calculat i la velocitat del vent. Aquesta última s'extreu de la taula C.1 de la (ref. 27).

Amb la lectura de la dilució, el grau de fuga i la qualitat de la ventilació es pot determinar el tipus de zona ATEX segons la taula D.1 de la (ref. 27). Per definir el grup i la classe de temperatura de la zona ATEX cal consultar la última columna de la taula A.1. Per determinar l'extensió de la zona ATEX s'usa la figura D.1.

A.16 Cas de foc extern en una vàlvula de seguretat

Per a definir el cabal d'alleujament de la vàlvula de seguretat (W) (kg/h) en el cas de foc extern, s'ha seguit el procediment proposat segons (ref. 8). S'ha suposat que l'alçada efectiva

del foc era igual a l'alçada de la columna. El primer pas és definir l'àrea mullada de la columna (A_m) (m^2) on està situada la PSV com:

$$A_m = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{2} + N \cdot D \cdot I \right) \quad (\text{E.192})$$

On D és el diàmetre de la columna en metres, N és el nombre de plats de la columna i I és la retenció de líquid o *liquid holdup* en metres. L'autor recomana que un cop calculada A_m s'augmenti un 10% el seu valor per incloure-hi els accessoris de la columna.

A continuació es defineixen la temperatura (T_1) (K) i la pressió de sortida (P_1) (bara) de la PSV com:

$$P_1 = P_n \cdot (1 + S) \quad (\text{E.193})$$

On P_n és la pressió de tarat de la PSV en bara i S és la sobrepressió que aguanta la vàlvula de seguretat.

$$T_1 = \frac{P_1}{P_n} \cdot T_n \quad (\text{E.194})$$

On T_n és la temperatura d'operació de l'equip en K.

Finalment, el cabal d'alleujament de la PSV es defineix com:

$$W = 2.77 \cdot \sqrt{M \cdot P_1} \frac{A_m \cdot (T_w - T_1)^{1.25}}{T_1^{1.1506}} \quad (\text{E.195})$$

On T_w és la temperatura màxima a la paret que aguanta el material de construcció i M és la massa molecular del fluid que surt a través de la vàlvula de seguretat.