



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Unitat de recuperació d'acetaldehid d'una planta d'acetat de vinil monòmer

TREBALL FI DE GRAU

Identificació: TFGEQ_2108

Membres: Adell Gombau, Manel

Haokai, Jin

López Garcia, Joel

Tutor: Dr. Josep Basco

Grau Enginyeria Química

Tarragona, 10 de juny de 2021

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'ACETALDEHID
D'UNA PLANTA D'ACETAT DE VINIL MONÒMER

SUBTÍTOL

AUTOR: MANEL ADELL / JIN HAOKAI / JOEL LOPEZ

CURS ACADÈMIC: 2020/2021

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na Dr. JOSEP BASCO

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:

8/6/2021

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

En/Na Dr. JOSEP BASCO, 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 LYONDELLBASELL

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

Signatura:



Data:

8/6/2021

ÍNDEX

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. Antecedents històrics	2
2.4. Estudi bibliogràfic / Alternatives de procés.....	2
2.5. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)	3
3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE.....	5
3.1. Descripció de les unitats de procés.....	5
3.1.1. Unitat columna de separació d'aigua.....	5
3.1.2. Unitat columna d'acetaldehid.....	5
3.1.3. Unitat columna d'acetat de vinil.....	5
3.2. Bases de disseny.....	5
3.2.1. Especificacions de l'alimentació	5
3.2.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei.....	7
3.2.3. Especificacions dels Productes.....	7
3.2.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el límit de bateria	7
3.3. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria'	8
3.3.1. Energies ("Utilities") disponibles	8
3.3.2. Preus de les Energies	9
3.3.3. Dades de l'Emplaçament ("Site").....	10
3.3.4. Normes i codis de disseny (oficials)	11
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA.....	12
4.1. Elaboració de Diagrames	12
4.1.1. Diagrama de Blocs: Disseny Conceptual.....	12
4.1.2. Diagrama de Simulació: Estudi de Simulació	14
4.1.3. Diagrama de Flux de Procés (PFD)	18
4.1.4. Diagrama d'implantació (Plot Plant)	22
4.1.5. Diagrama de Canonades i Instruments (P&ID)	24
4.2. Disseny bàsic	29
4.2.1. Disseny de canonades.....	29
4.2.2. Disseny d'instruments	40
4.3. Sistema de control.....	55
4.3.1. Sistema de control de la unitat de separació d'aigua	55
4.3.2. Sistema de control de la unitat de recuperació d'acetaldehid	56
4.3.3. Sistema de control de la unitat de recuperació d'acetat de vinil.....	57
4.4. Disseny d'equips	58
4.4.1. Columna C-101.....	58
4.4.2. Reboiler R-101	62
4.4.3. Bescanviador E-101.....	64
4.4.4. Bescanviador E-102.....	67
4.4.5. Bomba P-101 A/B	69
4.4.6. Columna C-201.....	72
4.4.7. Reboiler E-203.....	75
4.4.8. Condensador E-201	78
4.4.9. Bescanviador E-202.....	81

4.4.10. Acumulador A-201	84
4.4.11. Bomba P-201A/B	86
4.4.12. Columna de destil·lació C-301	89
4.4.13. Reboiler R-301	92
4.4.14. Bescanviador E-301	94
4.4.15. Bescanviador E-302	97
4.4.16. Acumulador A-301	99
4.4.17. Bomba P-301 A/B	101
4.4.18. Bomba P-302 A/B	101
4.5. Disseny cimentacions columnes	104
4.5.1. Disseny de la sabata de cimentació de la C-101	104
4.5.2. Disseny de la sabata de cimentació de la C-201	105
4.5.3. Disseny de la sabata de cimentació de la C-301	106
5. SEURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	108
5.1. Seguretat de Processos	108
5.1.1. HazOp + mini LOPA	108
5.1.2. Zones ATEX (ATmosfera EXplosiva)	132
5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions	135
5.1.4. Equips de protecció contra incendis	139
5.1.5. Pla d'autoprotecció	139
5.2. Seguretat Laboral	140
5.2.1. Avaluació de riscos laborals	140
5.2.2. Equips de protecció personal	140
5.2.3. Incidents i accidents	141
5.2.4. Formació en seguretat	141
6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	142
6.1. Identificació i avaluació de les emissions a l'aire i aigua	142
6.1.1. Emissions atmosfèriques	142
6.1.2. Emissions líquides	142
6.2. Residus sòlids	142
6.3. Generació de gasos d'efecte hivernacle	142
6.4. Contaminació lumínica	143
6.5. Contaminació acústica	144
6.6. Contaminació odorífera	144
6.7. Contaminació visual	144
7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS	145
7.1. Manteniment correctiu	145
7.2. Manteniment preventiu	145
7.3. Manteniment predictiu	146
7.4. RCM (Reliability Centered Maintenance)	146
7.4.1. Separació d'àrees o sistemes	146
7.4.2. Càlcul de criticitat d'àrees	147
7.4.3. Elecció del nivell crític d'anàlisi	148
7.4.4. Anàlisi de fallades funcionals	149
7.4.5. Anàlisi de formes i causes de fallades tècniques	151
7.4.6. Conclusió	153
8. MANUAL D'OPERACIÓ	154
8.1. Comprovacions prèvies	154

8.2. Posada en marxa dels serveis	154
8.3. Funcionament de la unitat C-101	154
8.3.1. Posada en marxa normal	154
8.3.2. Funcionament en estat estacionari	155
8.3.3. Aturada normal	155
8.4. Funcionament de la unitat C-201	155
8.4.1. Posada en marxa normal	155
8.4.2. Funcionament en estat estacionari	155
8.4.3. Aturada normal	156
8.5. Funcionament de la unitat C-301	156
8.5.1. Posada en marxa normal	156
8.5.2. Funcionament en estat estacionari	156
8.5.3. Aturada normal	157
8.6. Aturades d'emergència	157
8.6.1. Fallada de subministrament elèctric	157
8.6.2. Fallada d'aire d'instruments	157
8.6.3. Fallada vapor d'aigua	157
8.6.4. Fallada d'aigua de refrigeració	157
9. ESTUDI ECONÒMIC	158
9.1. Estimació dels costos d'instal·lació i construcció	158
9.2. Estimació de costos directes, indirectes i ingressos	161
9.2.1. Costos directes fixos	161
9.2.2. Costos directes variables	162
9.2.3. Costos indirectes fixos	163
9.2.4. Ingressos	164
9.3. Avaluació econòmica	165
9.4. Anàlisi de sensibilitat	165
10. CONCLUSIONS	168
11. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA	169
ANNEXOS	171
A.1. Disseny de columnes: FUEM	172
A.2. Disseny hidràulic de canonades	173
A.3. Disseny acumuladors de reflux	174
A.4. Disseny mecànic equips a pressió	175
A.5. Disseny bombes centrífugues	177
A.6. Disseny de sabates de columnes de destil·lació	178
A.7. Zones ATEX	179
A.8. Disseny de les vàlvules de seguretat	180
A.9. Càlcul gasos efecte hivernacle	181
A.10. Estudi econòmic	182
A.10.1. Càlcul del cost d'instal·lació i construcció	182
A.10.2. Càlcul del VAN, de la TIR i del Payback Period	184

1. INTRODUCCIÓ

Taula 1.1. Informació projecte.

Títol	Unitat de recuperació d'acetaldehid d'una planta d'acetat de vinil monòmer	
Identificador	TFGEQ_2108	
Tutor	Josep Basco Montia	
Data	10/06/2021	
Autors	Manel Adell Gombau	Color Verd
	Joel García López	Color Blau
	Haokai Jin	Color Vermell

El projecte consisteix en l'elaboració del disseny de 3 columnes que formen part del procés de producció de l'acetat de vinil monòmer amb els seus equips auxiliars. S'ha realitzat l'enginyeria bàsica del procés amb els respectius manuals (ambiental, manteniment, operació, seguretat industrial i econòmic). El treball conté la simulació i la representació detallada del procés mitjançant els diferents diagrames (PFD, P&ID, *Plot Plant*) de cadascuna de les columnes estudiades.

1.1. Agraïments

Voldríem agrair l'ajuda i la col·laboració proporcionada per part del tutor del projecte, el Dr. Josep Basco. Per la seva flexibilitat i disponibilitat durant tot el curs.

Tanmateix, també volem nombrar la gran ajuda per part de Miguel Angel Navarro de *InProcess* amb la part de la simulació del procés.

Per últim, també agrair a les famílies i amics que ens han estat donant suport quan el necessitàvem.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

Aquest projecte es centra en l'enginyeria bàsica de tres de les columnes de la planta producció d'acetat de vinil monòmer pel procés *Bayer*. En la figura 2.1 es pot observar l'esquema simplificat d'aquesta part del procés, la qual es basa en la recuperació d'acetaldehid, la separació de l'aigua i la purificació de l'acetat de vinil.

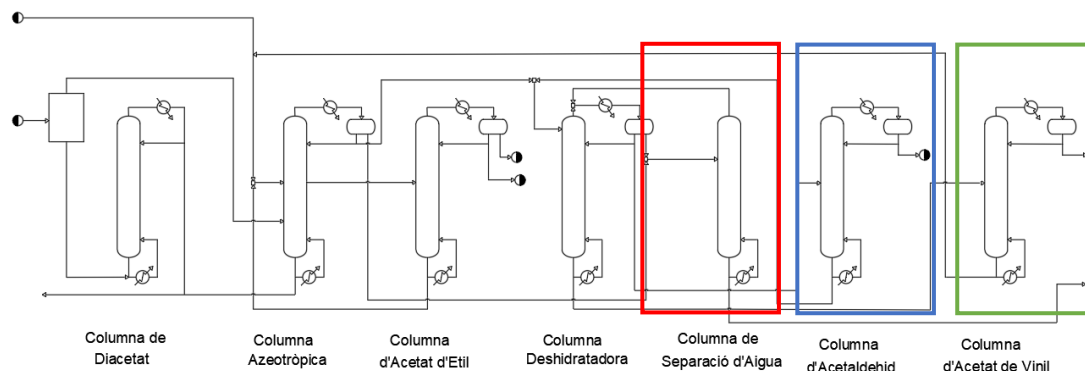


Figura 2.1. Diagrama de flux simplificat del procés. (ref.12)

2.2. Abast del projecte

L'abast d'aquest projecte consta de diversos punts:

- Realització de l'enginyeria bàsica parcialment de detall de les respectives columnes juntament amb els seus equips annexes.
- Disseny del sistema de control i la instrumentació.
- Disseny hidràulic i mecànic de les canonades.
- Creació dels manuals de seguretat, manteniment, medi ambient i operació.
- Estudi econòmic amb l'anàlisi de sensibilitat.

2.3. Antecedents històrics

Els primers èsters de vinil van ser el tricloroacetat de vinil i l'acetat de vinil, preparats per *Klatte* al 1912 mitjançant un tractament d'acetilè amb el seu àcid carboxílic corresponent, utilitzant sals de mercuri com a catalitzador.

Inicialment la reacció va ser utilitzada per la producció industrial del tricloroacetat de vinil. El polímer obtingut a partir d'aquest èster de vinil va ser utilitzat com a vernís per als avions durant la primera guerra mundial. L'acetat de vinil és un dels èsters de vinil més importants avui en dia en la indústria. (ref.27)

2.4. Estudi bibliogràfic / Alternatives de procés

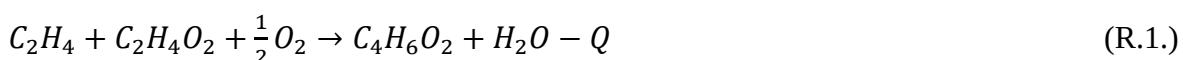
L'acetat de vinil monòmer és un producte químic que s'utilitza a gran escala principalment en la fabricació d'acetat de polivinil; component bàsic soluble en les pintures acríliques. Altres aplicacions del VAM són els recobriments per a la indústria tèxtil i del paper, laminats de vidre de seguretat, envasos i fibres acríliques entre d'altres.

Hi ha tres processos principals per tal d'obtenir l'acetat de vinil monòmer:

El primer es basa en la reacció d'àcid acètic i acetilè. Les condicions d'operació són en fase gasosa a 170 °C – 250 °C emprant $\text{Zn}(\text{OAc})_2$ com a catalitzador. L'alt cost de l'acetilè i els problemes de seguretat que presenta fan que aquest procés sigui el menys competitiu actualment.

El segon es basa en la reacció de l'acetaldehid i anhídrid acètic. Aquest procés té dues fases, en la primera l'acetaldehid i anhídrid acètic formen diacetat d'etilè en fase líquida a una temperatura de 120-140 °C amb un catalitzador FeCl_3 . En la segona fase, el producte intermediari es descompon a 120 °C amb un catalitzador àcid. Un aspecte positiu és que aquest procés pot utilitzar exclusivament de matèries primes renovables, però l'acetaldehid és més car que l'acetat de vinil.

El procés *Bayer* és el més estès i és el qual s'adoptarà en aquest projecte. Es basa en la reacció de l'àcid acètic, l'etilè i oxigen. A continuació, es mostra la reacció exotèrmica esmentada:



El reactor és de tipus tubular de llit fix emprant un catalitzador de Pd^{2+} i l'alimentació es troba en fase gas. El corrent gasós efluent del reactor es refredat per tal de condensar-lo parcialment i posteriorment el gas es separa del líquid en un separador de fases. Aquest gas restant, es renta amb àcid acètic reciclat del procés amb l'objectiu de facilitar la recuperació de l'acetat de vinil a l'absorbidor.

Seguidament del bloc de reacció, el procés té tres parts principals, les quals són la recuperació de l'etilè no reaccionat i l'eliminació del CO_2 , la recuperació de l'àcid acètic i per últim la purificació de l'acetat de vinil monòmer.

La primera part es basa en l'absorció i desabsorció del diòxid de carboni per tal de recuperar l'etilè.

En la segona part es tracta de recuperar l'àcid acètic mitjançant una columna de diacetat la qual s'encarrega de recuperar una part de l'àcid acètic. La següent unitat de procés és la columna azeotròpica la qual recupera una altra part d'aquest àcid acètic, el qual surt pel fons. La columna d'acetat d'etil té com a objectiu recuperar l'àcid acètic restant de les anteriors unitats, aquesta es alimentada a partir de la columna azeotròpica.

L'última part tracta de purificar l'acetat de vinil monòmer procedent de l'anterior part del procés. La primera unitat que fonamenta aquesta part és la columna deshidratadora, seguida de la columna de *water stripping* encarregada d'eliminar la major quantitat d'aigua possible del corrent del producte. Per últim la columna d'acetaldehid té la funció de recuperar aquest component i la columna d'acetat de vinil monòmer té com a objectiu purificar aquest producte final del procés i recuperar la quantitat restant de l'àcid acètic. Aquest projecte es centra en aquesta última part. (ref.8) (ref.27)

2.5. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)

En aquest apartat, es mostra el diagrama de Gantt realitzat a partir de les tasques proporcionades pel tutor. El diagrama és una representació de la duració de les diferents tasques a realitzar. S'ha utilitzat el programari de *GanttProject*.

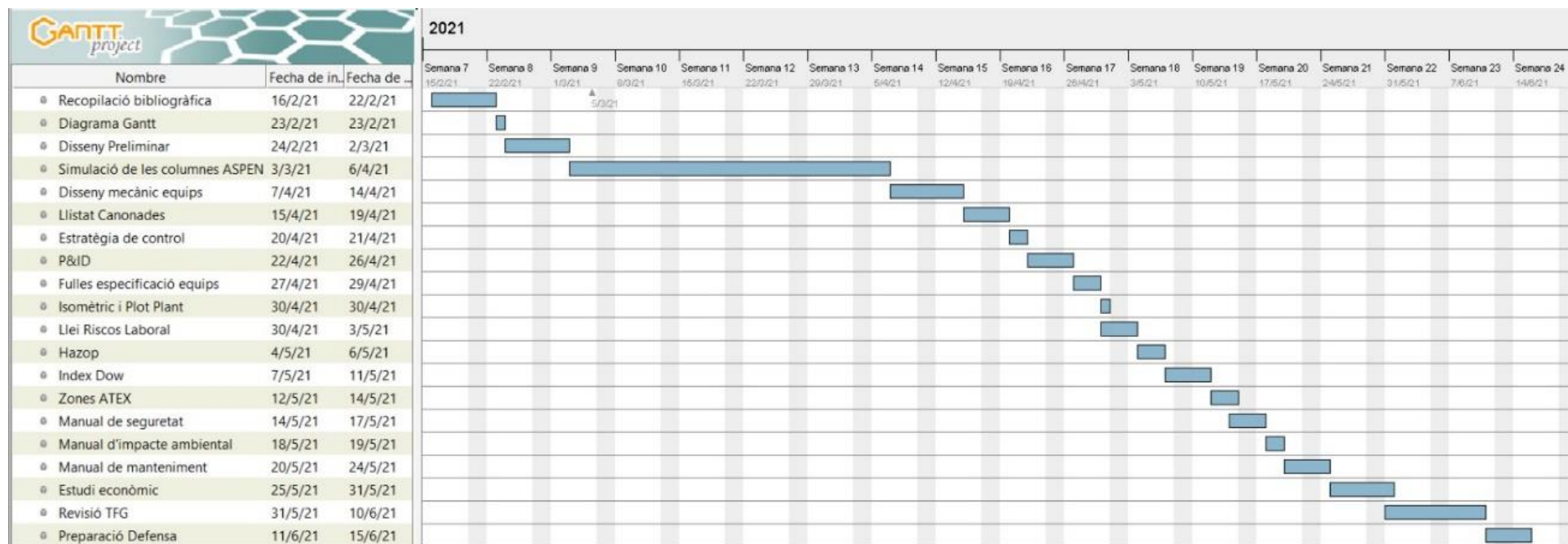


Figura 2.2. Diagrama de Gantt del projecte.

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

3.1. Descripció de les unitats de procés

En aquest apartat s'introdueix l'equipament de les unitats de procés realitzades en aquest projecte, així com la seva funció.

3.1.1. Unitat columna de separació d'aigua

Està constituïda per una columna de rebliment, un *reboiler* termosifó vertical pel fons de columna i dos bescanviadors de calor. L'alimentació d'aquesta columna està formada majoritàriament per aigua i amb menor quantitat d'acetaldehid i acetat de vinil. Aquesta unitat té dues sortides, pel destil·lat que conté l'acetaldehid, l'acetat i una petita part de l'aigua i pel fons s'obté la major part de l'aigua. La funció principal d'aquesta unitat és separar la major quantitat d'aigua possible.

3.1.2. Unitat columna d'acetaldehid

La unitat de separació d'acetaldehid està desenvolupada per una columna de destil·lació amb rebliment i amb els seus equips auxiliars; condensador, *reboiler*, bombes, bescanviador de calor i un acumulador. En aquesta columna només hi ha una entrada d'alimentació amb acetaldehid, acetat de vinil, aigua, acetat de metil i acroleïna. Té dues sortides; pel destil·lat conté l'acetaldehid i una petita part d'acetat de vinil, d'acroleïna i acetat de metil i pel fons de la columna surt tota l'aigua d'alimentació i la gran part de acetat de vinil, acetat de metil i acroleïna. L'objectiu principal d'aquesta unitat és separar l'acetaldehid pel cap de la columna.

3.1.3. Unitat columna d'acetat de vinil

La unitat de recuperació d'acetat de vinil esta formada per una columna de recuperació d'acetat de vinil i els seus equips auxiliars com bescanviadors de calor i bombes. Aquesta columna és de plats i té una alimentació d'acetat de vinil, àcid acètic, aigua, acetat d'etil, acetat de metil i acetaldehid. La columna separa principalment l'àcid acètic del fluid final de procés, per a poder obtenir un acetat de vinil gairebé pur i sense acidesa. La major part de l'acetat de vinil surt per cap de columna i tot l'àcid acètic surt per fons.

3.2. Bases de disseny

Seguidament, es mostren els paràmetres fixats per endavant pel client, que reflecteixen numèricament els objectius que es desitgen aconseguir i que per tant no són objecte de càlcul o estudi. Aquestes bases de disseny comporten els elements següents:

3.2.1. Especificacions de l'alimentació

L'acetat de vinil es produirà mitjançant el procés *Bayer*, el qual requereix una alimentació d'etilè del 99,8% en volum, d'oxigen 99,7% en volum i d'àcid acètic de 99% en pes. En la següent taula, es mostren les condicions dels diferents compostos que formen l'alimentació en el límit de bateria.

Taula 3.1. Condicions de pressió i temperatura en el límit de bateria.

Paràmetres	Etilè	Oxigen	Àcid acètic
Pressió (barg)	15	15	Mín. 25
Temperatura (°C)	25	10-25	Mín. 12

Seguidament, es mostren les alimentacions de les diferents unitats de procés. Cal esmentar que totes aquestes dades venen donades pel tutor. (ref.12)

3.2.1.1 Columna de separació d'aigua

Aquesta unitat de procés només té un corrent d'alimentació. En la següent taula es mostren els valors del cabal d'entrada.

Taula 3.2. Especificació de l'alimentació de la columna de separació d'aigua.

Compost	Cabal (kmol/h)
Acetat de vinil	1,24
Aigua	141
Acetaldehid	1,13
Hidroquinona	0,01

3.2.1.2 Columna d'acetaldehid

Aquesta columna disposa d'una entrada d'alimentació a l'etapa 7 de la columna. En la taula 3.3 es poden observar els valors del cabal d'entrada, els quals tenen en compte la quantitat total de cada component.

Taula 3.3. Especificació de l'alimentació de la columna d'acetaldehid.

Compost	Cabal (kmol/h)
Acetat de vinil	6,23
Aigua	0,67
Acetaldehid	1,33
Acetat de metil	0,05
Acroleïna	0,02
Hidroquinona	0,01

3.2.1.3 Columna d'acetat de vinil

Aquesta columna disposa d'una entrada d'alimentació, tot i que, també es té en compte l'entrada d'inhibidor i acetat de vinil que s'afegeix a la recirculació. En la taula 3.4 es poden observar els valors del cabal d'entrada.

Taula 3.4. Especificació de l'alimentació de la columna d'acetat de vinil.

Compost	Cabal (kmol/h)
Acetat de vinil	115,1
Aigua	0,08
Acetaldehid	0,01
Acetat d'etil	0,02
Acetat de metil	0,03
Àcid Acètic	0,07
Hidroquinona	0,02

3.2.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei

El disseny de la planta requereix una productivitat de 75000 tones d'acetat de vinil durant un període d'operació de 8000 hores per any. La producció horari serà 9375 kg/h d'acetat de vinil. La resta del temps que la planta no es troba en funcionament es degut a les parades per manteniment. Per tant, el factor de servei es considera que és del 0,91.

3.2.3. Especificacions dels Productes.

Les condicions de qualitat que ha de complir de l'acetat de vinil produït és que presenti un 99,9% en pes mínim. A continuació, es mostra més en detall les especificacions d'aquest acetat de vinil.

Taula 3.5. Especificació del producte al final del procés.

Producte	Especificació
Acetat de vinil	min. 99,9 %
Aigua	màx. 400 ppm
Acetaldehid	màx. 100 ppm
Acetat d'etil	màx. 150 ppm
Acetat de metil	màx. 200 ppm
Àcid Acètic (Acidesa)	màx. 60 ppm
Polímers	No detectable
Peròxids	No detectable
Color	Incolor

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

En aquest apartat s'especificaran els valors de les condicions d'entrada i de sortida de les diferents unitats de procés estudiades.

En la següent taula 3.6 es mostren els valors de les condicions d'entrada i de sortida de C-101.

Taula 3.6. Condicions d'entrada i de sortida de C-101.

Corrent	Pressió (barg)	Temperatura(°C)
Corrent 1	1,9	82,0
Corrent 2	0,2	95,7
Corrent 3	0,3	107,1

La taula 3.7 mostra les condicions d'entrada i de sortida de la unitat de procés C-201.

Taula 3.7. Condicions d'entrada i de sortida de C-201.

Corrent	Pressió (barg)	Temperatura(°C)
Corrent 1	1,6	40
Corrent 6	4,5	35
Corrent 10	3,1	109

A continuació, en la taula 3.8 es mostren els valors de les condicions d'entrada i de sortida de la columna de recuperació d'acetat de vinil.

Taula 3.8. Condicions d'entrada i sortida de la columna C-301.

Corrent	Pressió (barg)	Temperatura(°C)
Corrent 1	0,2	76,3
Corrent 2	0,2	77,8
Corrent 3	4,4	40
Corrent 4	4,4	40

3.3. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

Aquest apartat compren tota la informació que facilita el client a la companyia de l'enginyeria, perquè pugui ser utilitzada al llarg del desenvolupament del projecte.

3.3.1. Energies (“Utilities”) disponibles

Les condicions d'aquest apartat son donades pel tutor. (ref.12)

3.3.1.1 Vapor d'aigua. Nivells i quantitats

Es disposa de vapor d'alta pressió a 40 barg i 350 °C. També es disposa de vapor de pressió mitjana a 18 barg i 213 °C. Per últim, el vapor que més s'emptra en les unitats de procés estudiades és el vapor de baixa pressió a 6 barg i 158-164 °C.

3.3.1.2 E. Elèctrica: Nivells de Tensió i Aplicacions

Es disposa d'un corrent de baixa de tensió trifàsic de 890 V i 50 Hz i un altre de 380 V, trifàsic i 50 Hz. El corrent de mitja tensió trifàsic de 6 kV i 50 Hz.

3.3.1.3 Aigües: Tipus, Usos i Qualitats

Es disposa d'aigua de refrigeració i desmineralitzada. L'aigua de refrigeració s'utilitza principalment per disminuir la temperatura en els bescanviadors de calor del procés. Aquesta es troba a 5 barg i a una temperatura de 28 °C amb un contingut en clorurs de 150 mg/l.

Per l'altra banda, l'aigua desmineralitzada s'utilitza en situacions en les quals es necessita una baixa conductivitat elèctrica. Aquesta aigua es troba a 3 barg i a una temperatura de 40 °C - 60 °C, a un pH de 6,5-7 i presenta una conductivitat màxima de 1uS/cm.

3.3.1.4 Aire: Especificacions i Aplicacions

Es disposa d'aire comprimit a 6 barg i 35 °C, el qual no hi conté restes d'oli i amb un punt de rosada de -20 °C. S'utilitza principalment en el sistema de control del procés per tal d'accionar els diferents mecanismes de control.

3.3.1.5 Nitrogen: Especificacions i Aplicacions

Es disposa de nitrogen exempt de pols per tal de netejar i pressuritzar alguns equips del procés. Seguidament, es mostren les condicions a les quals es troba el nitrogen:

Taula 3.9. Especificació del nitrogen utilitzat en el procés.

Paràmetres	Valor
O ₂ (ppm vol.)	< 10
CO ₂ (ppm vol.)	< 5
CO (ppm vol.)	< 2
H ₂ (ppm vol.)	< 1
HC (ppm vol.)	< 1
Punt de rosada (°C)	-40
Pressió (barg)	9
Temperatura (°C)	10 - 25

3.3.2. Preus de les Energies

Aquests són el preus dels “utilities” utilitzats en el procés de producció d'acetat de vinil monòmer.

Taula 3.10. Preus de les energies utilitzades en el procés. (ref.12)

“Utilities”	Preu (€)
Aigua desmineralitzada (m ³)	1,12
Aigua de refrigeració (m ³)	0,56
Vapor (tona)	24,2
Electricitat (kWh)	0,04
Aire d'instrumentació (Nm ³)	5·10 ⁻³
Nitrogen (Nm ³)	0,03

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

La planta de producció d'acetat de vinil es troba situada al Polígon Sud de Tarragona, a la carretera N-340 km 1155, prop del municipi de Vila-Seca. En la següent figura, es mostra la localització de la planta.



Figura 3.1. Localització de la planta d'acetat de vinil monòmer. (ref.37)

3.3.3.1 Climàtics, Pluviomètrics, Sísmics

El clima de Tarragona és un clima temperat i suau, amb una temperatura mitjana de 16 °C i una precipitació anual de 551 mm. Per l'altra banda, aquesta zona no presenta risc sísmic.

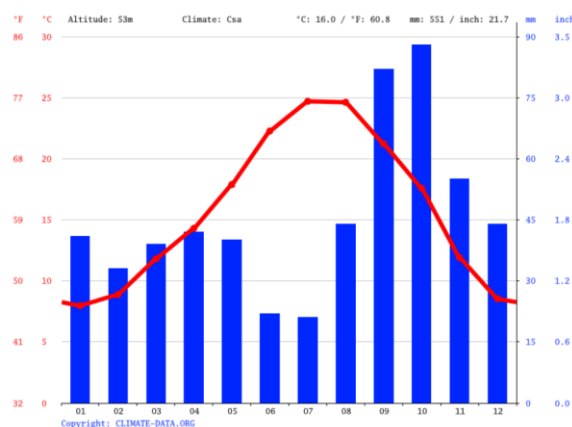


Figura 3.2. Climatograma de Tarragona durant el 2020. (ref.36)

3.3.3.2 Elevació i Estructura del Terreny

La zona es troba lleugerament per sobre del nivell del mar, la capacitat de càrrega del sòl a l'àrea de la planta és de 2 kg/cm^2 i la línia de congelació es troba a 0,8 m sota terra. (ref.12)

3.3.4. Normes i codis de disseny (oficials)

3.3.4.1 Recipients i canonades

Pel disseny mecànic dels equips s'ha fet servir el codi ASME secció VIII divisió I.

3.3.4.2 Bescanviadors de calor

Pel disseny dels bescanviadors, condensador i *reboiler* s'ha utilitzat el codi TEMA.

3.3.4.3 Bombes centrífugues

Pel disseny de les bombes s'utilitza la norma ANSI.

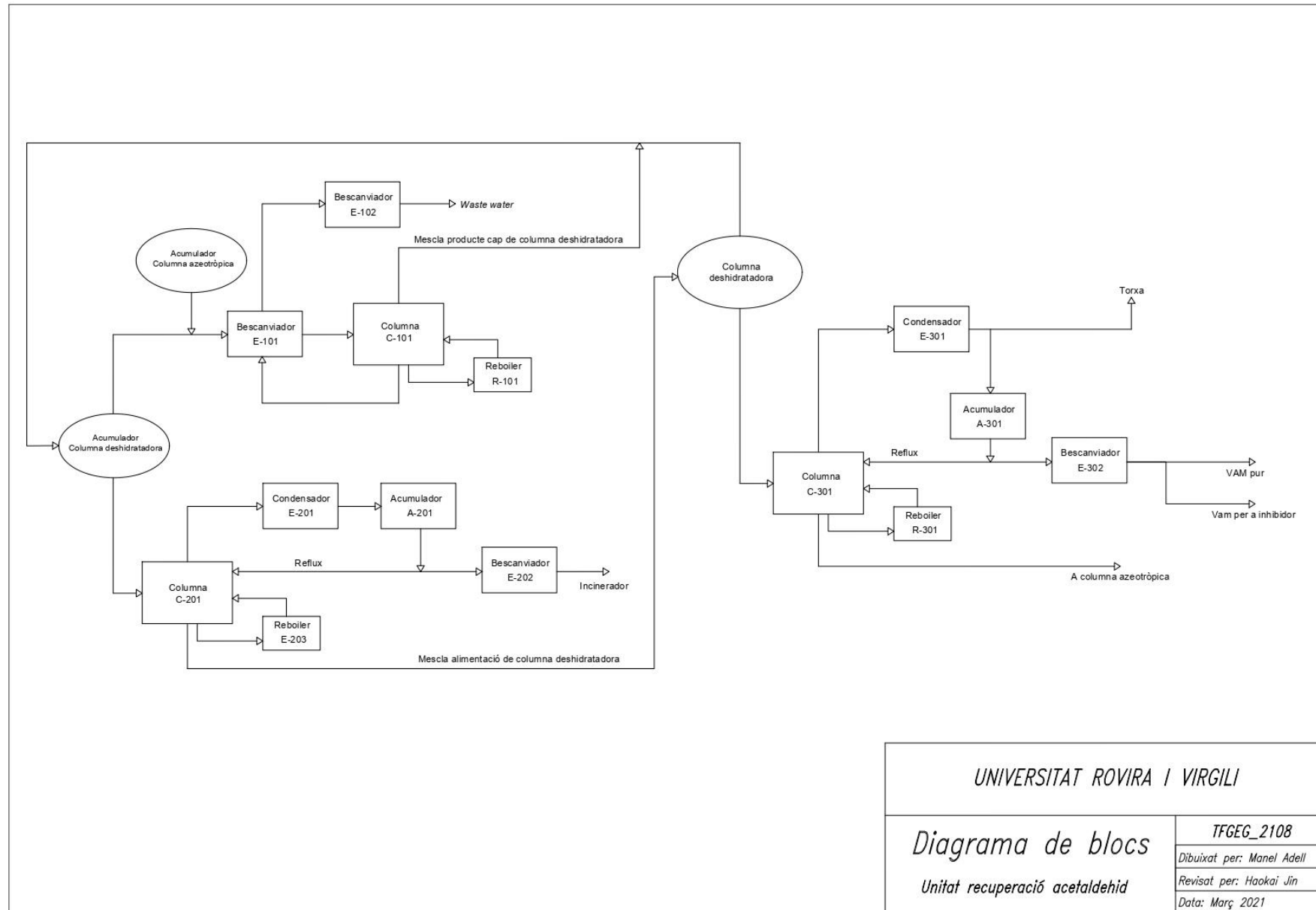
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de Diagrames

En aquest apartat es mostren detalladament els diferents diagrames de procés i de control de la planta.

4.1.1. Diagrama de Blocs: Disseny Conceptual

En el següent diagrama es pot veure la representació dels diferents tipus de passos i operacions que succeeixen durant les unitats del procés de producció d'acetat de vinil.



4.1.2. Diagrama de Simulació: Estudi de Simulació

Es realitza un balanç de matèria i energies de les unitats de procés mitjançant el simulador *Aspen Hysys*TM v10, on s'obtenen els resultats hidrodinàmics i dimensionament de la columna així com els valors dels cabals de sortida d'aquesta. A continuació, es mostren les dades utilitzades i les suposicions que s'han realitzat per a que el programa pugui mostrar els resultats finals.

4.1.2.1 Simulació columna separadora d'aigua C-101

Aquesta unitat de procés s'ha simulat emprant el *Aspen Hysys*TM v10. La C-101 presenta un corrent d'alimentació i dos corrents de sortida; un pel cap de columna i l'altre pel fons. A més, disposa d'un *reboiler* termosifó vertical pel fons de columna.

S'introdueix l'alimentació amb el seu cabal i composició corresponent a la columna per la primera etapa; és a dir, pel cap de columna. Cal destacar, que no s'ha tingut en compte la hidroquinona; que actua com a inhibidor, per problemes de convergència. Un altre aspecte a tenir en compte, és el possible azeòtrop que es pot formar al cap de columna. Aquest azeòtrop es produeix a una composició molar 25% aigua i 75% acetat de vinil i a una temperatura de 65 °C. Per tant, les condicions de formació de l'azeòtrop es troben allunyades de les obtingudes pel cap de columna.

La simulació d'aquesta unitat s'ha realitzat mitjançant el paquet termodinàmic UNIQUAC-HOC, una columna sense condensador i el model rigorós *RadFrac*. El nombre d'etapes ideals s'ha calculat mitjançant la metodologia *FUEM* mostrada a l'annex 1. (ref.24)

Els paràmetres introduïts per tal de poder efectuar la simulació de la columna C-101 son:

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

Paràmetres	Valor
Nombre plats ideals	18
Pressió cap (barg)	0,14
Pressió fons (barg)	0,28
Etape d'alimentació	1
Cabal sortida pel cap (kmol/h)	9,5
Cabal sortida pel fons (kmol/h)	133,7

A continuació, en la figura 4.1 es mostra un esquema de la simulació de la columna amb el *Aspen Hysys*TM v10.

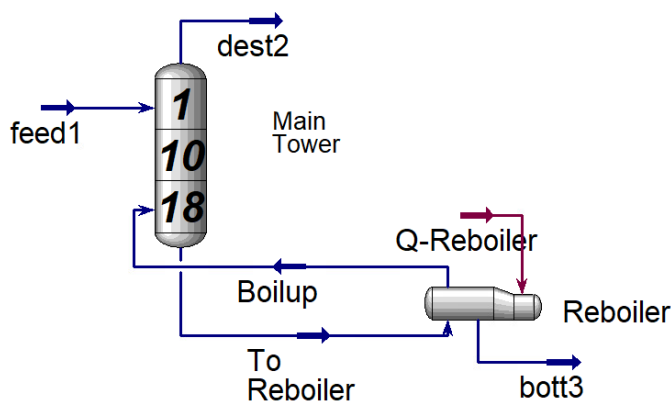


Figura 4.1. Esquema de la simulació de la C-101.

Finalment, introduint aquestes dades s'aconsegueix que la columna convergeixi i s'obtenen aquests resultats.

Taula 4.2. Resultats obtinguts amb la simulació de la C-101.

Components	Cabal molar cap (kmol/h)	Cabal molar fons (kmol/h)
Aigua	7,13	133,75
Acetaldehid	1,13	0
Acetat de vinil	1,24	0

4.1.2.2 Simulació columna acetaldehid C-201

La simulació de la columna C-20, la qual té la funció de recuperar l'acetaldehid, s'ha dut terme amb l'aplicació *Aspen Hysys*™ v10. Abans de treballar amb el simulador, s'ha fet un càlcul del mètode *FUEM* (*Fenske Underwood Erbar-Maddox*) per trobar el nombre d'etapes amb el qual treballa la columna. El càlcul es mostra a l'annex A.1. Aquesta columna presenta un corrent d'alimentació i dues sortides, destil·lat i rebuig. Pel cap de columna es disposa un condensador amb una condensació total i per fons de columna treballa un *reboiler* termosifó vertical. En la figura següent es pot observar l'esquema de la simulació.

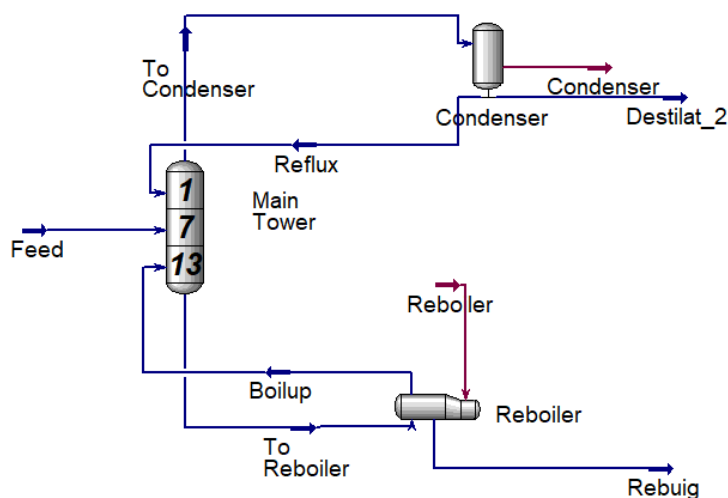


Figura 4.2. Esquema de la simulació de la C-201.

Primerament, es va calcular nombre d'etapes ideals i el reflux amb el mètode *FUEM* tenint en compte els components claus que són acetaldehid i acroleïna. Aquests valors calculats es van introduir al simulador i s'aconsegueix una recuperació del 89%, un 7% més de la calculada. Per poder millorar la recuperació de l'acetaldehid s'ha decidit augmentar el reflux i això fa que la recuperació pel cap de la columna passa de 89% a 100%.

En la simulació d'aquesta columna s'ha utilitzat el paquet termodinàmic Wilson, ja que proporciona una millor recuperació de l'acetaldehid. Aquesta simulació s'ha realitzat amb el model rigorós *RadFrac*.

A continuació es mostra una taula de paràmetres introduïdes al *Aspen Hysys* TM v10 per efectuar la simulació.

Taula 4.3. Paràmetres introduïts al *Aspen Hysys* TM v10

Paràmetres	Valor
Nombre plats ideals	13
Pressió cap (barg)	1,48
Pressió fons (barg)	1,69
Etapa d'alimentació	7
Reflux rate (kg/h)	1330
Destil·lat rate (kmol/h)	1,48

Finalment, amb aquests valors introduïts i un cop ha convergit la simulació s'obtenen els resultats de les taules següents.

Taula 4.4. Resultats obtinguts de la simulació.

Components	Cabal molar cap (kmol/h)	Cabal molar fons (kmol/h)
Acetat de vinil	0,109	6,121
Acetaldehid	1,33	0

Taula 4.5. Temperatures de cap i fons de la columna.

	Destil·lat	Producte fons
Temperatura (°C)	49,0	93,1

4.1.2.3 Simulació columna d'acetat de vinil C-301

La columna C-301 és una columna de plats, dissenyada amb l'ajuda del programari *Aspen Hysys* TM v10. Aquesta columna de recuperació d'acetat de vinil té una sola entrada i dues sortides (cap i fons). Disposa d'un *reboiler* termosifó vertical i d'un condensador total. En la següent figura es pot observar l'esquema dissenyat amb el simulador.

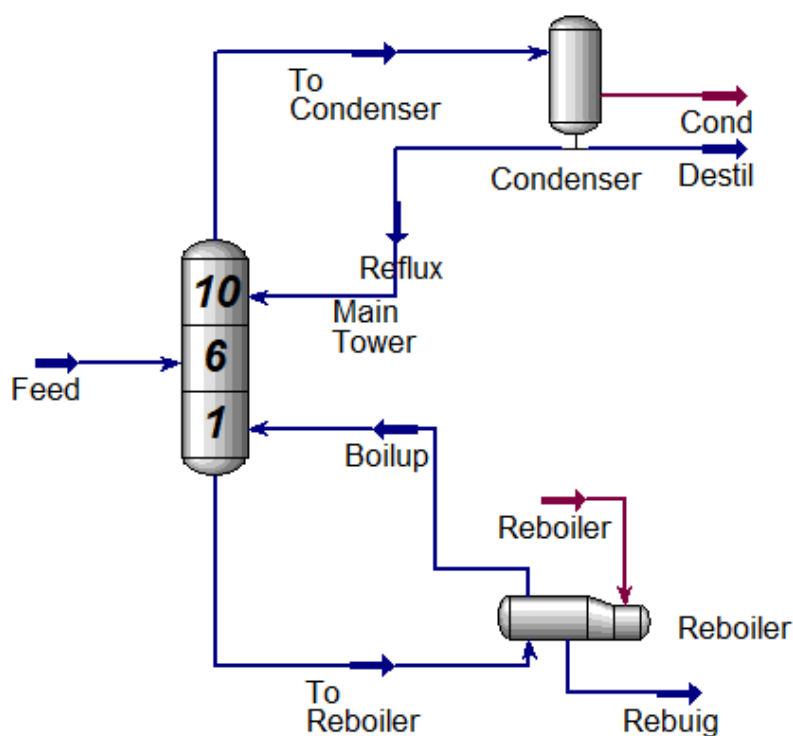


Figura 4.3. Esquema de la simulació de la C-301 realitzat amb Aspen Hysys TM v10.

Per al nombre de etapes ideals es va utilitzar el mètode *FUEM* (Annex A.1) on es van tenir en compte les diferents pressions i volatilitats parcials dels compostos presents en la columna i la recuperació desitjada d'acetat de vinil. (ref.24)

Un cop s'han calculat les etapes ideals que ha de tenir la columna es realitza l'aproximació amb el simulador.

Inicialment, es va utilitzar el model termodinàmic NRTL ja que era el que més s'adequava a les necessitats de la columna. El problema va sorgir quan es va veure que aquest model no tenia en compte la dimerització de l'àcid acètic i va ser llavors, quan es va decidir canviar al model de NRTL-HOC que si que té en compte aquesta dimerització.

A continuació es mostren els paràmetres que s'han introduït al simulador per a poder convergir el programa.

Taula 4.6. Paràmetres introduïts per a la simulació de la C-301.

Paràmetres	Valor
Nombre plats ideals	10
Pressió cap (barg)	0,1
Pressió fons (barg)	0,16
Etapa d'alimentació	4
Cabal sortida pel cap (kmol/h)	111,6
Cabal sortida pel fons (kmol/h)	3,88
Cabal recirculació (kg/h)	1945

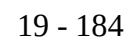
Finalment, amb l'aproximació inicial de la columna i els resultats desitjats del balanç de matèria, es realitza un estudi de la hidrodinàmica. S'ha decidit utilitzar plats perforats en lloc de rebliment per diversos factors que s'expliquen en el disseny d'equips. El tipus de plats i el seu dimensionament s'ha estudiat amb ajuda del *Kister* (ref.15). A partir de la selecció s'han introduït els valors a la simulació on finalment s'ha decidit el diàmetre adequat per a que no hi hagi ni arrossegament ni degoteig en la columna.

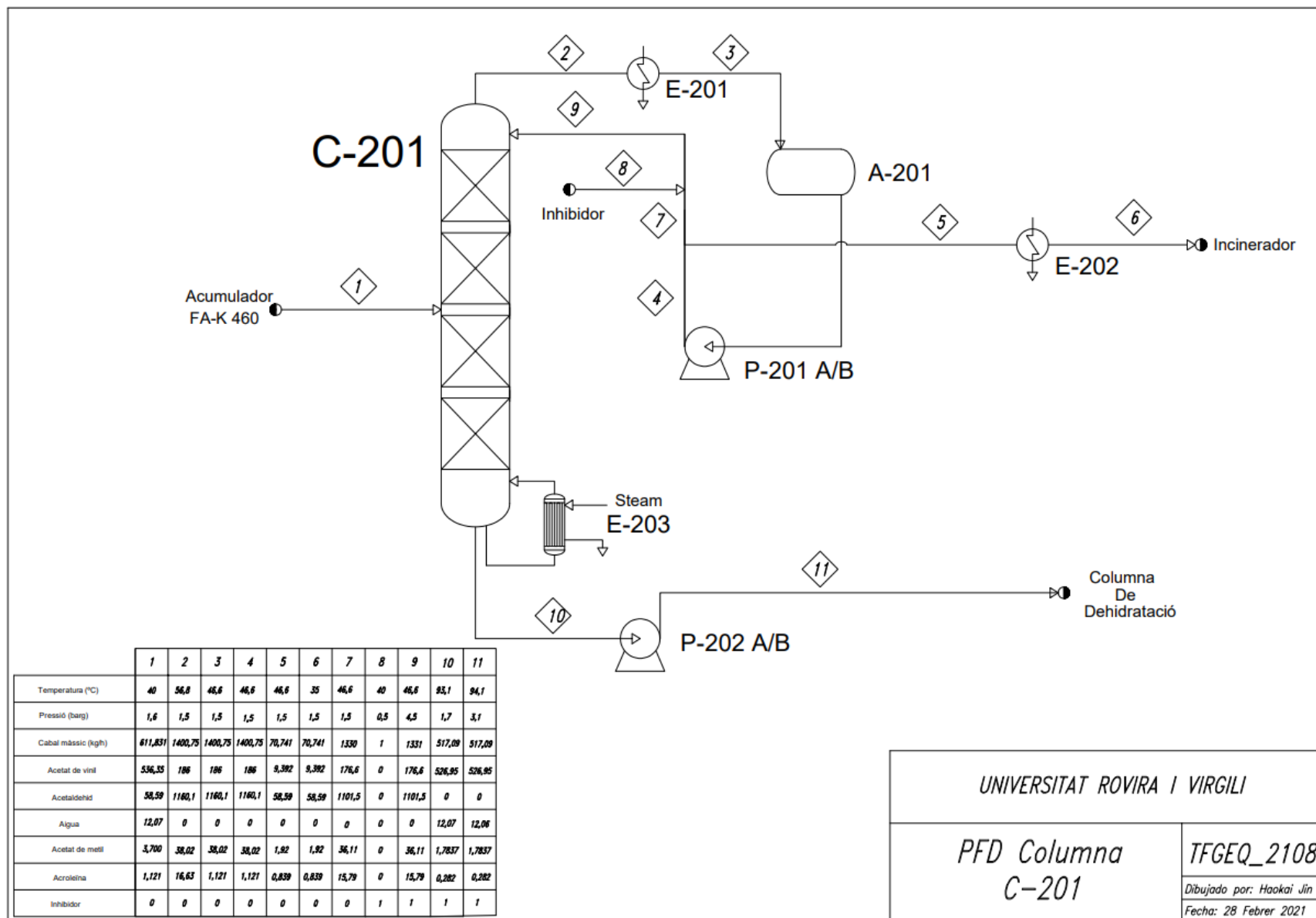
Taula 4.7. Resultats principals obtinguts amb la simulació de la C-301.

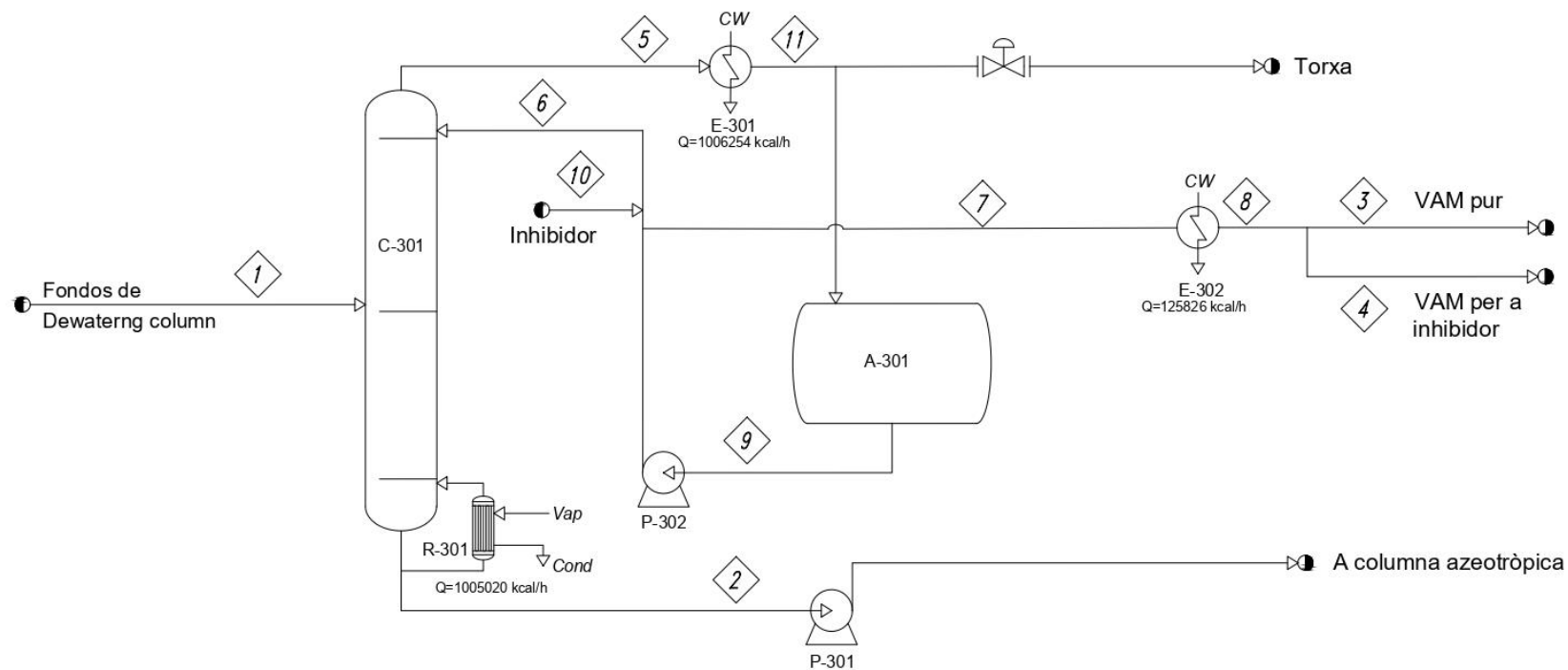
Components	Cabal molar cap (kmol/h)	Cabal molar fons (kmol/h)
Acetat de vinil	111,5	3,8
Àcid acètic	0,0007	0,0693

4.1.3. Diagrama de Flux de Procés (PFD)

En aquest apartat es mostren els diagrames de flux (PFD) de cadascuna de les tres unitats de procés.







	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura (°C)	76,3	77,8	40	40	75,5	75,7	70	40	74,1	40	74,1
Pressió (barg)	0,15	0,18	4,4	4,4	0,12	4,6	4,6	4,4	0,07	0,5	0,07
Caçal màssic (kg/h)	9901,8	333,6	9386,2	216,1	11522,1	1946,1	9602,3	9602,3	11522,1	26,3	11522,1
Acetat de vinil (kg/h)	9891,7	327,1	9380,4	216,1	11516,3	1943,9	9596,45	9596,45	11516,3	24,1	11516,3
Àcid acètic (kg/h)	4,2	4,16	0,042	0	0,042	0	0,042	0,042	0,042	0	0,042
Aigua (kg/h)	1,44	0	1,44	0	1,44	0	1,44	1,44	1,44	0	1,44
Acetat d'etil (kg/h)	1,76	0,088	1,67	0	1,67	0	1,67	1,67	1,67	0	1,67
Acetat de metil (kg/h)	2,22	0	2,22	0	2,22	0	2,22	2,22	2,22	0	2,22
Acetaldehid (kg/h)	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,44	0,44	0,44	0	0,44
Hidroquinona (kg/h)	0	2,2	0	0	0	2,2	0	0	0	2,2	0

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PFD
Columna C-301

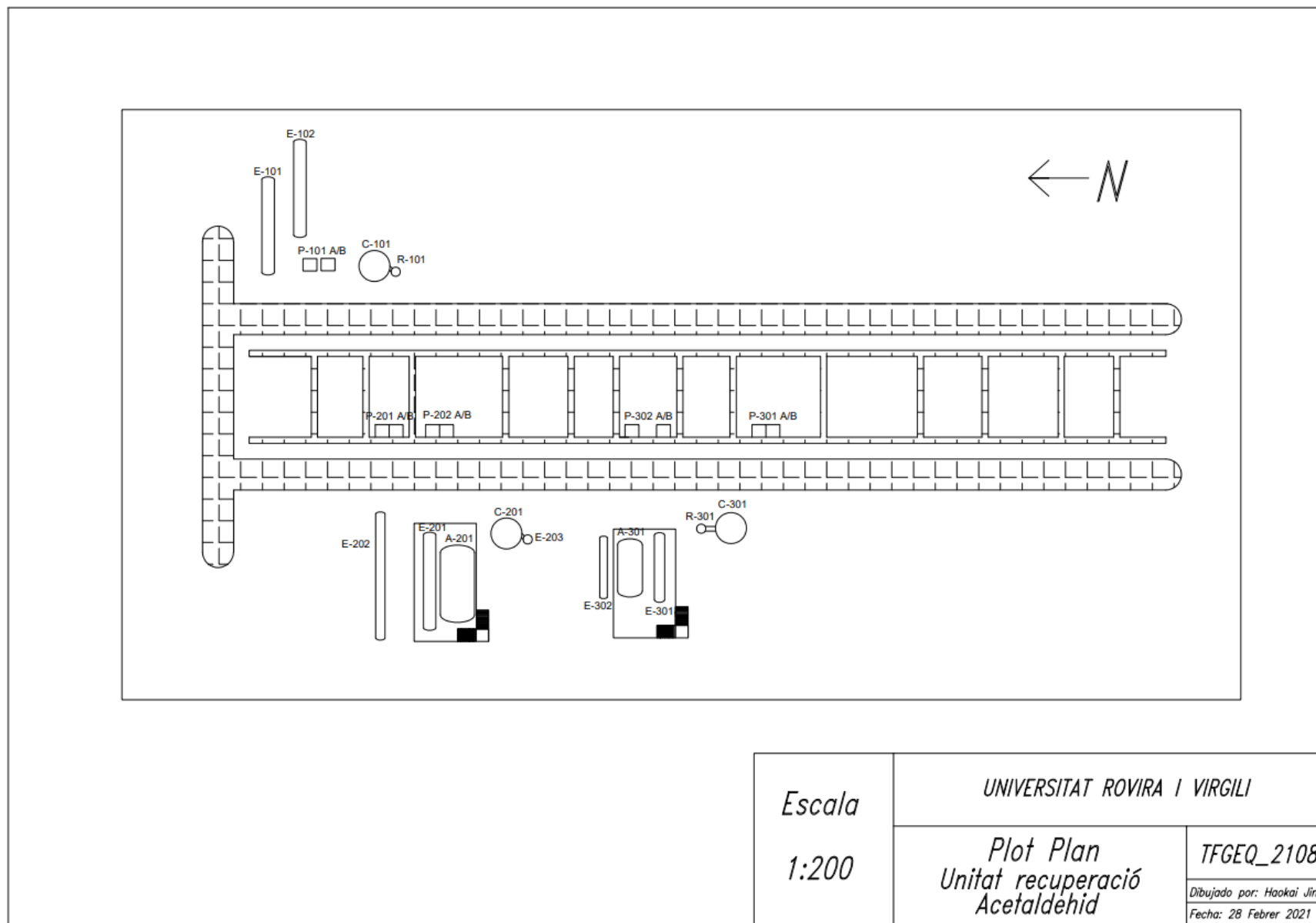
TFGEG_2108

Dibuixat per: Manel Adell

Data: Març 2021

4.1.4. Diagrama d'implantació (Plot Plant)

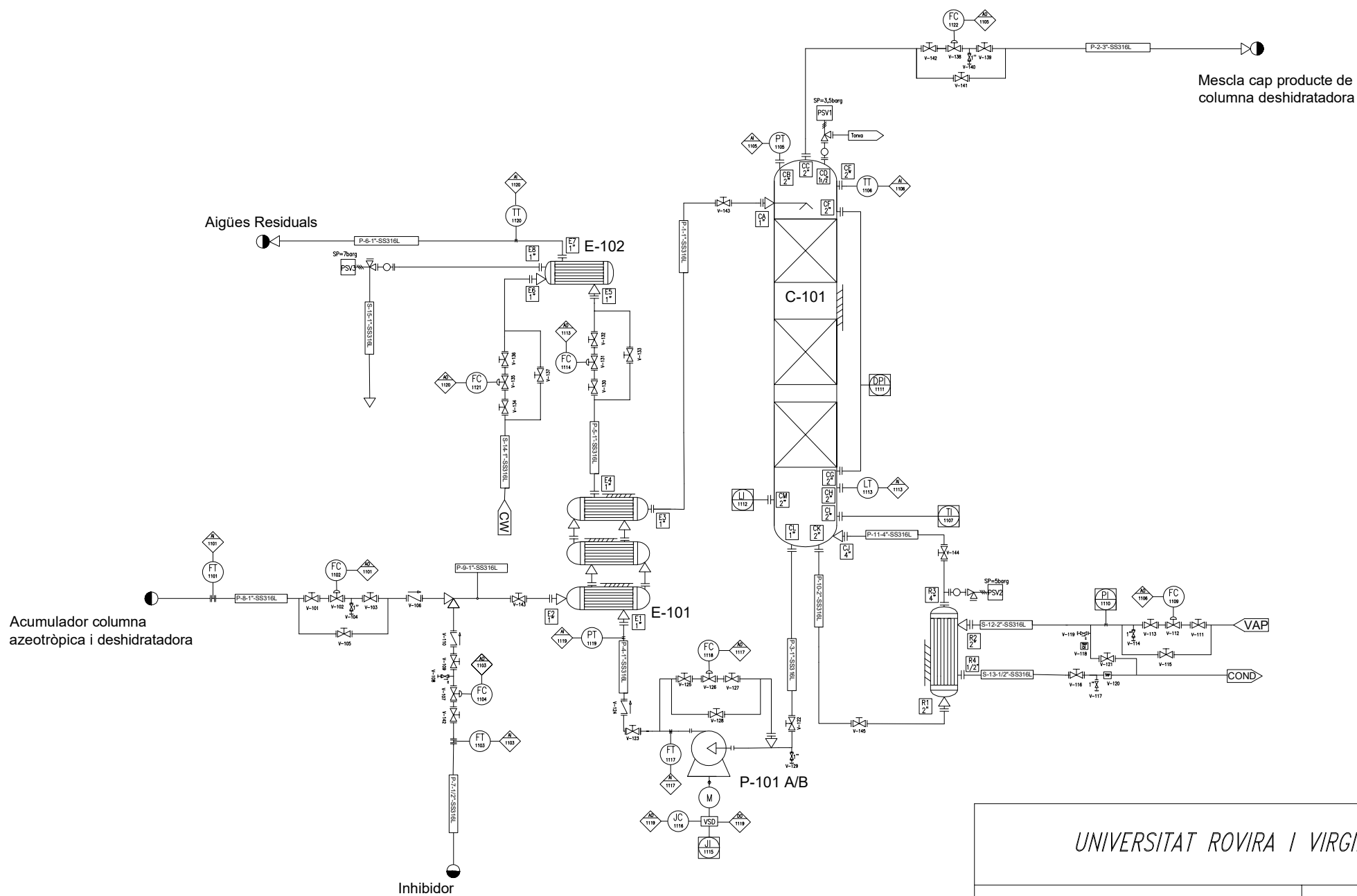
En aquest apartat es mostra el plànol d'implantació, que representa aproximadament la distribució real dels diferents equips que conformen les tres unitats estudiades.



4.1.5. Diagrama de Canonades i Instruments (P&ID)

En aquest apartat es mostren els diagrames P&ID de cadascuna de les unitats de procés i la llegenda per tal de comprendre la seva simbologia.

SÍMBOL	DENOMINACIÓ	DESCRIPCIÓ	EXEMPLES
P-01-4"-SS316L   VSD TRP TRP CV       	X-XX-X"-AA M-XXX P-XXX VSD TRP TRP CV XXXX VC VP VR VM	CANONADA MOTOR BOMBA VARIADOR VELOCITAT DE LA BOMBA TRAMPA DE VAPOR TRAMPA DE VAPOR DE CONDENSATS BRIDA DE CANONADA PLACA D'ORIFICI ENTRADA O SORTIDA COMPOSTOS VALVULA ANTI RETORN VALVULA DE PURGA VALVULA AUTOMATICA REGULADORA VÀLVULA MANUAL	P-01-8"-SS316L P(PROCÉS) / S(SERVEI)- - NUMERACIÓ-DIÀMETRE(IN)- - MATERIAL CANONADA TIPUS DE TRANSMISOR FUNCIÓ NUMERACIÓ CONNEXIÓ CONNEXIÓ CONTROL VÀLVULA DE CONTROL SP=Xbar SET POINT PSV1 Torxa SAFE PLACE UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI SIMBOLOGIA P&ID TFGEG_2108 Dibuixat per: Manel Adell Data: Març 2021



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID
Columna C-101

TFGEQ_2108

Dibuixat per: Joel López

Data: Març 2021

C-201

E-201

A-201

E-203

E-202

P-201 A/B

P-202 A/B

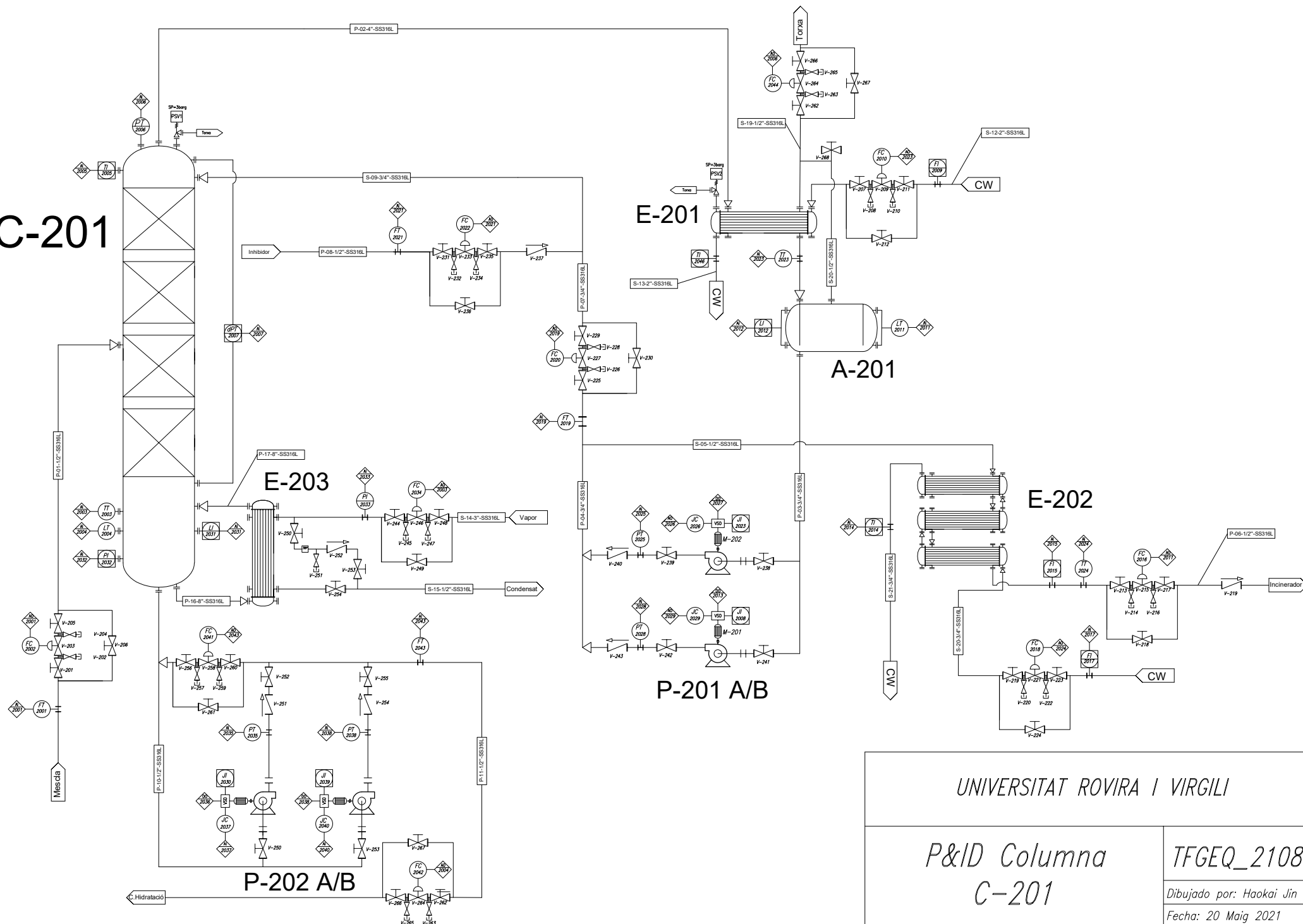
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID Columna
C-201

TFGEQ_2108

Dibujado por: Haokai Jin

Fecha: 20 Maig 2021





TFGEG_2108

Dibuixat per: Manel Adell

Data: Abril 2021

4.2. Disseny bàsic

4.2.1. Disseny de canonades

Un cop obtinguts els valors dels balanços de matèria juntament amb les condicions d'operació de temperatura i pressió de cada corrent, es realitza el disseny de les canonades del procés.

Els paràmetres que s'han tingut en compte són els següents:

Taula 4.8. Paràmetres inicials per al disseny de línies.

Paràmetre	Valor
Velocitat de líquids (m/s)	0,8 - 1,5
Velocitat de gasos (m/s)	10 - 20
Material	SS316L
Màxim estrès permès, S (MPa)	115
Factor de soldadura, E	1

S'han sobredimensionat les canonades per a un cabal un 20% superior al d'operació, per tal de mantenir un bon funcionament de les mateixes. Per dissenyar les línies s'ha utilitzat el Schedule 40 (ref.34). En el cas del dimensionament de les canonades d'entrada i de sortida del *reboiler*, s'ha sobredimensionat més d'un 20% ja que el cabal de sortida és bifàsic.

En quan a les velocitats dels fluids i el gruix de l'aïllament, s'han seguit les taules proporcionades pel tutor. (ref.12)

Cal destacar que tan sols s'ha aplicat aïllament a les canonades que operen a més de 60 °C per protecció de personal i a les de procés pel tema d'estalvi energètic.

Seguint el procediment de l'annex A.2 s'efectuen els següents llistats:

Taula 4.9. Llistat de canonades P&ID C-101.

Nom línia	P&ID	Fluid	Fase	Material	Schedule	DN (in)	De	A
1	101	VAM-Aigua-Acetaldehid-Hidroquinona	L	SS316L	40S	1	E-101	C-101
2	101	VAM-Aigua-Acetaldehid-Hidroquinona	G	SS316L	40S	3	Cap C-101	Mescla cap columna deshidratadora
3	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	Fons C-101	P-101 A/B
4	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	P-101 A/B	E-101
5	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	E-101	E-102
6	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	E-102	Aigües Residuals
7	101	VAM-Hidroquinona	L	SS316L	40S	1/2	Tanc inhibidor	Mescla fluid procés
8	101	VAM-Aigua-Acetaldehid	L	SS316L	40S	1	Acumulador de la columna deshidratadora	Mescla fluid procés
9	101	VAM-Aigua-Acetaldehid-Hidroquinona	L	SS316L	40S	1	Mescla fluid procés	E-101
10	101	Aigua	L	SS316L	40S	2	Fons C-101	R-101
11	101	Aigua	L/G	SS316L	40S	4	R-101	C-101
12	101	Aigua	G	SS316L	40S	2	Servei vapor	R-101
13	101	Aigua	L	SS316L	40S	1/2	R-101	Servei condensat
14	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	Servei CW	Servei CW
15	101	Aigua	L	SS316L	40S	1	Servei CW	Servei CW

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

Nom línia	Cabal (kg/h)	Espessor línia (mm)	T operació (°C)	T disseny (°C)	P operació (barg)	P disseny (barg)	P Test hidràulic (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
1	2693	3,4	82,0	105	1,9	4	5,7	Llana de roca	50
2	285,5	5,5	95,7	125	0,2	2	2,9	Llana de roca	50
3	2408,4	3,4	107	125	0,3	2	2,9	Llana de roca	50
4	2408,4	3,4	107	125	1,9	4	5,7	Llana de roca	50
5	2408,4	3,4	53,8	75	1,9	4	5,7	Llana de roca	-
6	2408,4	3,4	40	65	1,9	4	5,7	Llana de roca	-
7	12,65	2,8	40	65	0,5	2	2,9	Llana de roca	-
8	2680,3	3,4	40	65	1,9	4	5,7	Llana de roca	-
9	2693	3,4	40	65	1,9	4	5,7	Llana de roca	-
10	8626	3,9	107	125	0,3	2	2,9	Llana de roca	50
11	8626	6,0	107	125	1,2	2	2,9	Llana de roca	50
12	268	3,9	159	175	5,0	6	8,6	Llana de roca	60
13	268	2,8	157	175	4,9	6	8,6	Llana de roca	50
14	3323	3,4	28	65	6,0	7	10	Llana de roca	-
15	3323	3,4	38	65	5,9	7	10	Llana de roca	-

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

Nom línia	P&ID	Fluid	Fase	Material	Schedule	DN (in)	De	A
1	201	Acetat de vinil-Aigua-Acetaldehid-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	1/2	Acumulador de la C. Deshidratació	C-201
2	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	G	SS316L	40S	4	Cap de la columna C-201	E-201
3	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	3/4	E-201	P-201A/B
4	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	3/4	P-201A/B	C-201/E-202
5	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	1/2	P-201A/B	E-202
6	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	1/2	E-202	Incinerador
7	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	3/4	P-201A/B	C-201
8	201	Inhibidor	L	SS316L	40S	1/2	Tanc d'inhibidor	C-201
9	201	Acetaldehid-Acetats de vinil-Acroleïna-Acetats de metil-Inhibidor	L	SS316L	40S	3/4	Línia 7 + 8	C-201

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

Nom línia	Cabal (kg/h)	Espessor línia (mm)	T operació (°C)	T disseny (°C)	P operació (barg)	P disseny (barg)	P Test hidràulic (barg)	Material aïllament	Gruix d'aïllament (mm)
1	611,8	2,77	40	65	1,6	4	5,7	-	-
2	1400,8	6,02	56,8	85	1,5	4	5,7	-	-
3	1400,8	2,87	46,55	75	1,5	4	5,7	-	-
4	1400,8	2,87	46,55	75	1,5	4	5,7	-	-
5	70,7	2,77	46,55	75	1,5	4	5,7	-	-
6	70,7	2,77	35	60	2,5	5	10	-	-
7	1330	2,87	46,55	75	2,5	5	10	-	-
8	1	2,77	40	65	0,5	2	2,9	-	-
9	1331	2,87	46,55	75	2,5	5	7,2	-	-

Taula 4.13. Llistat de canonades (II) P&ID C-201.

Nom línia	P&ID	Fluid	Fase	Material	Schedule	DN (in)	De	A
10	201	Acetaldehid-Inhibidor-Aigua-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	1/2	Fons de la columna C-201	P-202 A/B
11	201	Acetaldehid-Inhibidor-Aigua-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	1/2	P-202A/B	C. Deshidratació
12	201	Cooling Water	L	SS316L	40S	2	Servei CW	E-201
13	201	Cooling Water	L	SS316L	40S	2	E-201	Servei CW
14	201	Steam	G	SS316L	40S	3	Servei Vapor	E-203
15	201	Aigua condensat	L	SS316L	40S	1/2	E-203	Servei Vapor
16	201	Acetaldehid-Inhibidor-Aigua-Acroleïna-Acetats de metil	L	SS316L	40S	8	Fons de la columna C-201	E-203
17	201	Acetaldehid-Inhibidor-Aigua-Acroleïna-Acetats de metil	G	SS316L	40S	8	E-203	Fons de la columna C-201
18	201	Incondensables	G	SS316L	40S	1/2	A-201	Torxa
19	201	Incondensables	G	SS316L	40S	1/2	E-201	Torxa
20	201	Cooling Water	L	SS316L	40S	3/4	Servei CW	E-202
21	201	Cooling Water	L	SS316L	40S	3/4	E-202	Servei CW

Taula 4.14. Llistat de canonades (II) P&ID C-201 (Continuació).

Nom línia	Cabal (kg/h)	Espessor línia (mm)	T operació (°C)	T disseny (°C)	P operació (barg)	P disseny (barg)	P Test hidràulic (barg)	Material aïllament	Gruix d'aïllament (mm)
10	517,1	2,77	93,08	120	1,7	4	5,7	Llana de roca	40
11	517,1	2,77	94,05	120	3,1	6	8,6	Llana de roca	40
12	17537	3,91	28	65	4	6	8,6	-	-
13	17537	3,91	38	65	4,0	6	8,6	-	-
14	482	5,49	158	180	4	6	8,6	Llana de roca	80
15	482	2,77	152	180	3,9	6	8,6	Llana de roca	50
16	37000	2,77	93	120	1,7	4	5,7	Llana de roca	70
17	37000	8,18	102	130	1,5	4	5,7	Llana de roca	70
18	-	2,77	-	75	-	4	5,7	-	-
19	-	2,77	-	75	-	4	5,7	-	-
20	80	2,87	28	65	6	8	11,4	-	-
21	80	2,87	33	65	5,8	8	11,4	-	-

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

Nom línia	P&ID	Fluid	Fase	Material	Schedule	DN (in)	De	A
1	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	2	Fons columna deshidratadora	C-301
2	301	VAM- Àcid acètic-Hidroquinona-Acetat d'etil	L	SS316L	40S	2	Fons columna C-301	P-301 A/B
3	301	VAM- Àcid acètic-Hidroquinona-Acetat d'etil	L	SS316L	40S	1	P-301 A/B	Columna azeotròpica
4	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	G	SS316L	40S	14	Cap columna C-301	E-301
5	301	Variable	L	SS316L	40S	1 ½	E-301	Torxa
6	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	4	E-301	A-301
7	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	4	A-301	P-302 A/B
8	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	2	P-302 A/B	E-302
9	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetat de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	1 ½	P-302 A/B	Reflux C-301
10	301	VAM-Hidroquinona	L	SS316L	40S	½	Inhibidor	Reflux C-301

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

Nom línia	Cabal (kg/h)	Espessor línia (mm)	T operació (°C)	T disseny (°C)	P operació (barg)	P disseny (barg)	P Test hidràulic (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
1	9901,8	3,9	76,3	96,3	0,2	2	2,9	Llana de roca	50
2	333,6	3,9	77,8	97,8	0,2	2	2,9	Llana de roca	50
3	333,6	3,4	77,0	97,0	2	4	5,7	Llana de roca	40
4	11522	9,8	75,5	95,5	0,1	2	2,9	Llana de roca	60
5	Cabal variable	3,7	74,1	94,1	0,1	2	2,9	Llana de roca	50
6	11522	6,0	74,1	94,1	0,1	2	2,9	Llana de roca	50
7	11522	6,0	74,1	94,1	0,1	2	2,9	Llana de roca	50
8	9602,3	3,9	70	90	4,6	7	10	Llana de roca	50
9	1919,8	3,7	70	90	4,6	7	10	Llana de roca	50
10	26,3	2,8	40	60	0,5	2	2,9	Llana de roca	-

Taula 4.17. Llistat de canonades (II) P&ID C-301.

Nom línia	P&ID	Fluid	Fase	Material	Schedule	DN (in)	De	A
11	301	VAM-Aigua-Acetat d'etil-Acetats de metil-Acetaldehid-Àcid acètic	L	SS316L	40S	2	E-302	Final de producció
12	301	VAM- Àcid acètic-Hidroquinona-Acetats d'etil	L	SS316L	40S	12	Fons columna C-301	R-301
13	301	VAM- Àcid acètic-Hidroquinona-Acetats d'etil	L/G	SS316L	40S	14	R-301	C-301
14	301	Vapor	V	SS316L	40S	6	Servei vapor	R-301
15	301	Vapor condensat	L	SS316L	40S	1	R-301	Servei condensat
16	301	Aigua	L	SS316L	40S	6	Servei aigua refrigeració	E-301
17	301	Aigua	L	SS316L	40S	6	E-301	Servei aigua refrigeració
18	301	Aigua	L	SS316L	40S	1 ½	Servei aigua refrigeració	E-302
19	301	Aigua	L	SS316L	40S	1 ½	E-302	Servei aigua refrigeració

Taula 4.18. Llistat de canonades (II) P&ID C-301 (Continuació).

Nom línia	Cabal (kg/h)	Espessor línia (mm)	T operació (°C)	T disseny (°C)	P operació (barg)	P disseny (barg)	P Test hidràulic (barg)	Material aïllament	Gruix aïllament (mm)
11	9602,3	3,9	40	60	4,4	7	10	Llana de roca	-
12	132977	9,5	77,19	97,19	0,2	2	2,9	Llana de roca	60
13	132977	9,8	77,76	97,76	0,1	2	2,9	Llana de roca	60
14	1942	7,1	159,92	179,92	4,9	7	10	Llana de roca	70
15	1942	3,4	158,89	178,89	4,7	7	10	Llana de roca	60
16	93221	7,1	28	48	6,1	9	12,9	Llana de roca	-
17	93221	7,1	38	58	5,8	9	12,9	Llana de roca	-
18	11657	3,7	28	48	6,1	9	12,9	Llana de roca	-
19	11657	3,7	38	58	5,8	9	12,9	Llana de roca	-

4.2.2. Disseny d'instruments

En aquest apartat es mostren el llistats d'instruments de cada unitat de procés, juntament amb les seves característiques, la seva pertinent identificació i tipologia. En cadascun dels instruments s'indica el tipus de senyal que rep, AI essent un senyal analògic *input* i AO un senyal analògic *output*. (ref.9)

Taula 4.19. Llistat d'instruments (I) P&ID C-101.

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
FT-1101	101	Transmissor de cabal	AI	P-8-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-1102	101	Controlador de cabal	AO	P-8-1"-SS316L	Bridada 150#
FT-1103	101	Transmissor de cabal	AI	P-7-1/2"-SS316L	Bridada 150#
FC-1104	101	Controlador de cabal	AO	P-7-1/2"-SS316L	Bridada 150#
PT-1105	101	Transmissor de pressió	AI	C-101	Bridada 150#
TT-1106	101	Transmissor de temperatura	AI	C-101	Bridada 150#
TI-1107	101	Indicador de temperatura	AI	C-101	Bridada 150#
FC-1109	101	Controlador de cabal	AO	S-12-2"-SS316L	Bridada 150#
PI-1110	101	Indicador de pressió	AI	S-12-2"-SS316L	Bridada 150#
DPI-1111	101	Indicador pressió diferencial	AI	C-101	Bridada 150#

Taula 4.20. Llistat d'instruments (I) P&ID C-101 (Continuació).

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
FT-1101	Coriolis	Micromotion Sèrie Elit	Emerson	40,0	1,9	L
FC-1102	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40,0	1,9	L
FT-1103	Coriolis	Micromotion Sèrie Elit	Emerson	40,0	0,5	L
FC-1104	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40,0	0,5	L
PT-1105	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	95,7	0,2	G
TT-1106	RTD	Rosemount 185H	Emerson	95,7	0,2	G
TI-1107	RTD	Rosemount 185H	Emerson	107,0	0,3	L
FC-1109	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	159	5,0	G
PI-1110	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	159	5,0	G
DPI-1111	Piezoelèctric	DPG40	WIKA	95,7-107	0,2-0,3	L/G

Taula 4.21. Llistat d'instruments (II) P&ID C-101.

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
LI-1112	101	Indicador de nivell	AI	C-101	Bridada 150#
LT-1113	101	Transmissor de nivell	AI	C-101	Bridada 150#
FT-1114	101	Transmissor de cabal	AI	P-5-1"-SS316L	Bridada 150#
JI-1115	101	Indicador potència motor	AI	P-101	Bridada 150#
JC-1116	101	Controlador potència motor	AO/DO	P-101	Bridada 150#
FT-1117	101	Transmissor de cabal	AI	P-4-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-1118	101	Controlador de cabal	AO	P-4-1"-SS316L	Bridada 150#
PT-1119	101	Transmissor de pressió	AI	P-4-1"-SS316L	Bridada 150#
TT-1120	101	Transmissor de temperatura	AI	P-6-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-1121	101	Controlador de cabal	AO	S-14-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-1122	101	Controlador de cabal	AO	P-2-3"-SS316L	Bridada 150#

Taula 4.22. Llistat d'instruments (II) P&ID C-101 (Continuació).

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
LI-1112	Radar	Rosemount 3051L	Emerson	107	0,3	L
LT-1113	Radar	Rosemount 3051L	Emerson	107	0,3	L
FT-1114	Coriolis	Micromotion Sèrie Elit	Emerson	53,8	1,9	L
JI-1115	Wattímetre	ACS880	ABB	-	-	-
JC-1116	Variador de potència	C200	Emerson	-	-	-
FT-1117	Coriolis	Micromotion Sèrie Elit	Emerson	107	1,9	L
FC-1118	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	107	1,9	L
PT-1119	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	107	1,9	L
TT-1120	RTD	Rosemount 185H	Emerson	40,0	1,9	L
FC-1121	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	28	6,0	L
FC-1122	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	95,7	0,2	G

Taula 4.23. Llistat d'instruments (I) P&ID C-201.

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
FT-2001	201	Transmissor de cabal	AI	P-01-1/2"-SS316L	Bridada 150#
FC-2002	201	Controlador de cabal	AO	P-01-1/2"-SS316L	Bridada 150#
TT-2003	201	Transmissor de temperatura	AI	C-201	Bridada 150#
LT-2004	201	Transmissor de nivell	AI	C-201	Bridada 150#
TI-2005	201	Indicador de temperatura	AI	C-201	Bridada 150#
PT-2006	201	Transmissor de pressió	AI	C-201	Bridada 150#
DPT-2007	201	Indicador pressió diferencial	AI	C-201	Bridada 150#
JI-2008	201	Indicador de potència motor	AI	P-201A	Bridada 150#
FI-2009	201	Indicador de cabal	AI	S-12-2"-SS316L	Bridada 150#
FC-2010	201	Controlador de cabal	AO	S-12-2"-SS316L	Bridada 150#
LT-2011	201	Transmissor de nivell	AI	A-201	Bridada 150#
FI-2012	201	Indicador de nivell	AI	A-201	Bridada 150#
VSD-2013	201	Arrencada de la bomba	AO	P-201A	Bridada 150#
TI-2014	201	Indicador de temperatura	AI	S-21-3/4"-SS316L	Bridada 150#
FI-2015	201	Indicador de cabal	AI	P-06-1/2"-SS316L	Bridada 150#
FC-2016	201	Controlador de cabal	AO	P-06-1/2"-SS316L	Bridada 150#

Taula 4.24. Llistat d'instruments (I) P&ID C-201 (Continuació)

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
FT-2001	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	40	1,6	L
FC-2002	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40	1,6	L
TT-2003	Termopar	Rosemount 185H	Emerson	93,1	1,7	L
LT-2004	Radar	Rosemount 5301	Emerson	93,1	1,7	L
TI-2005	Termopar	Rosemount 751	Emerson	49,0	1,5	G
PT-2006	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	49,0	1,5	G
DPT-2007	Termopar	Rosemount 185 H	Emerson	45,0/93,1	1,4/1,7	G/L
JI-2008	Wattímetre	ACS880	Emerson	46,6	1,5	L
FI-2009	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	28,0	4,0	L
FC-2010	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	28,0	4,0	L
LT-2011	Radar	Rosemount 5301	Emerson	46,6	1,5	L
FI-2012	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	46,6	1,5	L
VSD-2013	-	-	-	46,6	1,5	L
TI-2014	Termopar	Rosemount 185H	Emerson	33,0	5,8	L
FI-2015	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	35,0	2,5	L
FC-2016	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	46,6	1,5	L

Taula 4.25. Llistat d'instruments (II) P&ID C-201

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
FI-2017	201	Indicador de cabal	AI	S-20-3/4"-SS316L	Bridada 150#
FC-2018	201	Controlador de cabal	AO	S-20-3/4"-SS316L	Bridada 150#
FT-2019	201	Transmissor de cabal	AI	P-07-3/4"-SS316L	Bridada 150#
FC-2020	201	Controlador de cabal	AO	P-07-3/4"-SS316L	Bridada 150#
FT-2021	201	Transmissor de cabal	AI	P-08-1/2"-SS316L	Bridada 150#
FC-2022	201	Controlador de cabal	AO	P-08-1/2"-SS316L	Bridada 150#
JI-2023	201	Indicador de potència motor	AI	P-201B	Bridada 150#
TT-2024	201	Transmissor de temperatura	AI	P-06-1/2"-SS316L	Bridada 150#
PT-2025	201	Transmissor de pressió	AI	Sortida P-201B	Bridada 150#
JC-2026	201	Controlador potencia motor	AO	P-201B	Bridada 150#
VSD-2027	201	Arrencada de la bomba	AO	P-201B	Bridada 150#
PT-2028	201	Transmissor de pressió	AI	P-201A	Bridada 150#
JC-2029	201	Controlador potencia motor	AO	P-201A	Bridada 150#
JI-2030	201	Indicador de potencia motor	AI	P-202A	Bridada 150#
LI-3031	201	Indicador de nivell	AI	C-201	Bridada 150#

Taula 4.26. Llistat d'instruments (II) P&ID C-201 (Continuació)

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
FI-2017	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	28,0	6	L
FC-2018	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	28,0	6	L
FT-2019	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	46,6	1,5	L
FC-2020	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	46,6	1,5	L
FT-2021	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	40,0	0,5	L
FC-2022	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40,0	0,5	L
JI-2023	Wattímetre	ACS880	Emerson	46,6	1,5	L
TT-2024	Termopar	Rosemount 185 H	Emerson	46,6	1,5	L
PT-2025	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	46,6	2,5	L
JC-2026	Variador de potència	C200	Emerson	46,6	1,5	L
VSD-2027	-	-	-	46,6	1,5	L
PT-2028	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	46,6	2,5	L
JC-2029	Variador de potència	C200	Emerson	46,6	1,5	L
JI-2030	Wattímetre	ACS880	Emerson	46,6	1,5	L
LI-3031	Radar	Rosemount 5301	Emerson	93,1	1,7	L

Taula 4.27. Llistat d'instruments (III) P&ID C-201

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
PI-2032	201	Indicador de pressió	AI	C-201	Bridada 150#
PI-2033	201	Indicador de pressió	AI	S-14-3''-SS316L	Bridada 150#
FC-2034	201	Controlador de cabal	AO	S-14-3''-SS316L	Bridada 150#
PT-2035	201	Transmissor de pressió	AI	Sortida P-202A	Bridada 150#
VSD-2036	201	Arrencada de la bomba	AO	P-202A	Bridada 150#
JC-2037	201	Controlador potencia motor	AO	P-202A	Bridada 150#
PT-2038	201	Transmissor de pressió	AI	Sortida P-202B	Bridada 150#
JI-2039	201	Indicador potencia motor	AI	P-202B	Bridada 150#
JC-2040	201	Controlador potencia motor	AO	P-202B	Bridada 150#
FC-2041	201	Controlador de cabal	AO	Recirculació bomba P-202	Bridada 150#
FC-2042	201	Controlador de cabal	AO	P-11-1/2''-SS316L	Bridada 150#
FT-2043	201	Transmissor de cabal	AI	P-11-1/2''-SS316L	Bridada 150#
FC-2044	201	Controlador de cabal	AO	S-19-1/2''-SS316L	Bridada 150#

Taula 4.28. Llistat d'instruments (III) P&ID C-201 (Continuació)

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
PI-2032	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	93,1	1,7	L
PI-2033	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	158,0	4	G
FC-2034	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	158,0	4	G
PT-2035	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	94,1	4	L
VSD-2036	-	-	-	94,1	1,7	L
JC-2037	Variador de potència	C200	Emerson	94,1	1,7	L
PT-2038	-	-	-	94,1	4	L
JI-2039	Wattímetre	ACS880	Emerson	94,1	1,7	L
JC-2040	Variador de potència	C200	Emerson	94,1	1,7	L
FC-2041	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	94,1	4	L
FC-2042	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	94,1	4	L
FT-2043	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	94,1	4	L
FC-2044	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	56,8	1,5	G

Taula 4.29. Llistat d'instruments (I) P&ID C-301

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
FT-3001	301	Transmissor de cabal	AI	P-01-2"-SS316L	Bridada 150#
FC-3002	301	Controlador de cabal	AO	P-01-2"-SS316L	Bridada 150#
TI-3003	301	Indicador de temperatura	AI	C-301	Bridada 150#
PT-3004	301	Transmissor de pressió	AI	C-301	Bridada 150#
DPI-3005	301	Indicador pressió diferencial	AI	C-301	Bridada 150#
LT-3006	301	Transmissor de nivell	AI	C-301	Bridada 150#
TT-3007	301	Transmissor de temperatura	AI	C-301	Bridada 150#
LI-3008	301	Indicador de nivell	AI	C-301	Bridada 150#
FC-3009	301	Controlador de cabal	AO	S-14-16"-SS316L	Bridada 150#
JC-3010	301	Controlador potència motor	AO/DO	P-301	Bridada 150#
JI-3011	301	Indicador potència motor	AI	P-301	Bridada 150#
FT-3012	301	Transmissor de cabal	AI	P-03-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-3013	301	Controlador de cabal	AO	Reflux P-301	Bridada 150#
PT-3014	301	Transmissor de pressió	AI	P-03-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-3015	301	Controlador de cabal	AO	P-03-1"-SS316L	Bridada 150#
FC-3016	301	Controlador de cabal	AO	S-16-6"-SS316L	Bridada 150#

Taula 4.30. Llistat d'instruments (I) P&ID C-301 (Continuació)

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
FT-3001	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	76,3	0,2	L
FC-3002	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	76,3	0,2	L
TI-3003	Termopar	Rosemount 751	Emerson	75,5	0,2	G
PT-3004	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	75,5	0,2	G
DPI-3005	Piezoelèctric	DPG40	WIKA	77,8	0,1-0,2	L/G
LT-3006	Radar	Rosemount 5301	Emerson	77,8	0,2	L
TT-3007	Termopar	Rosemount 185 H	Emerson	77,8	0,2	L
LI-3008	Radar	Rosemount 3051L	Emerson	77,8	0,2	L
FC-3009	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	159,9	4,9	G
JC-3010	Variador de potència	C200	Emerson	-	-	-
JI-3011	Wattímetre	ACS880	ABB	-	-	-
FT-3012	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	77,0	2	L
FC-3013	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	77,0	2	L
PT-3014	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	77,0	2	L
FC-3015	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	77,0	2	L
FC-3016	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	28,0	6,1	L

Taula 4.31. Llistat d'instruments (II) P&ID C-301

Etiqueta	P&ID	Descripció	Senyal	Línia o equip	Connexió
TT-3017	301	Transmissor de temperatura	AI	P-06-4"-SS316L	Bridada 150#
LT-3018	301	Transmissor de nivell	AI	A-301	Bridada 150#
JC-3019	301	Controlador potència motor	AO/DO	P-302	Bridada 150#
JI-3020	301	Indicador potència motor	AI	P-302	Bridada 150#
FT-3021	301	Transmissor de cabal	AI	Sortida P-302	Bridada 150#
PT-3022	301	Transmissor de pressió	AI	Sortida P-302	Bridada 150#
FC-3023	301	Controlador de cabal	AO	Reflux P-302	Bridada 150#
TT-3024	301	Transmissor de temperatura	AI	P-11-2"-SS316L	Bridada 150#
FC-3025	301	Controlador de cabal	AO	S-18-1 ½"-316L	Bridada 150#
FC-3026	301	Controlador de cabal	AO	P-11-2"-SS316L	Bridada 150#
FC-3027	301	Controlador de cabal	AO	P-05-1 ½"-SS316L	Bridada 150#
FT-3028	301	Transmissor de cabal	AI	P-09-1 ½"-SS316L	Bridada 150#
FC-3029	301	Controlador de cabal	AO	P-09-1 ½"-SS316L	Bridada 150#
FC-3030	301	Controlador de cabal	AO	P-10-½"-SS316L	Bridada 150#
FT-3031	301	Transmissor de cabal	AI	P-10-½"-SS316L	Bridada 150#

Taula 4.32. Llistat d'instruments (II) P&ID C-301 (Continuació)

Etiqueta	Tipus	Model	Fabricant	Temperatura d'operació (°C)	Pressió d'operació (barg)	Fase
TT-3017	Termopar	Rosemount 185 H	Emerson	74,1	0,1	L
LT-3018	Radar	Rosemount 5301	Emerson	74,1	0,1	L
JC-3019	Variador de potència	C200	Emerson	-	-	-
JI-3020	Wattímetre	ACS880	ABB	-	-	-
FT-3021	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	70,0	4,6	L
PT-3022	Piezoelèctric	Rosemount 2088	Emerson	70,0	4,6	L
FC-3023	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	70,0	4,6	L
TT-3024	Termopar	Rosemount 185 H	Emerson	40,0	4,4	L
FC-3025	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	28,0	6,1	L
FC-3026	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40,0	4,4	L
FC-3027	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	74,1	0,1	G
FT-3028	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	70,0	4,6	L
FC-3029	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	70,0	4,6	L
FC-3030	Vàlvula reguladora	EZ Series	Fisher	40,0	0,5	L
FT-3031	Coriolis	Micromotion Sèrie F	Emerson	40,0	0,5	L

4.3. Sistema de control

La proposta del sistema de control de les tres unitats de procés s'ha efectuat seguint les indicacions del llibre d'Acedo, J. (ref.14)

4.3.1. Sistema de control de la unitat de separació d'aigua

4.3.1.1 Sistema de control d'alimentació a la columna C-101

Per tal de controlar l'alimentació a la columna C-101, s'utilitza el transmissor FT-1101 que mitjançant el FC-1102 i la V-102 permet manipular el cabal d'entrada a la C-101 amb l'objectiu d'obtenir la separació desitjada.

Per l'altra banda, l'entrada de l'inhibidor que també forma part d'aquesta alimentació, es controla mitjançant el transmissor FT-1103. Aquest està connectat al controlador de la vàlvula V-107, la qual permet modificar el cabal del corrent.

4.3.1.2 Sistema de control de cap de columna C-101

En quan al cap de columna, es controla la pressió mitjançant el cabal de sortida pel cap de columna mitjançant el PT-1105 connectat a la vàlvula V-138 que permet manipular el corrent en funció dels requeriments de la pressió.

Pel cap de columna també es controla la temperatura de la columna mitjançant el TT-1106, aquest transmissor està connectat al FC-1109 de la vàlvula V-112 que manipula el cabal d'entrada de vapor al *reboiler*, perquè deixant passar més cabal de vapor fa que augmenti l'intercanvi de calor i per tant augmenta la temperatura de la columna. El control de temperatura està situat al cap de la columna ja que és més important mantenir la temperatura del cap al valor desitjat que mantenir la temperatura del fons. Si pel cap es superen els 100 °C, es podria veure afectada la separació de l'aigua i per aquest motiu, més quantitat s'evaporaria i sortiria pel corrent del cap de columna.

Cal destacar que hi ha un indicador de pressió diferencial DPI-1111 connectat en dos punts diferents; cap i fons, que s'utilitza per indicar si s'inunda la columna.

4.3.1.3 Sistema de control de fons de columna C-101

Principalment, en el fons de columna C-101 es controla el nivell mitjançant el LT-1113, el qual està connectat al controlador que acciona la V-131 situada després del E-101. Aquesta obrirà el pas si es requereix disminuir el nivell de la columna, o bé al contrari, tancarà el pas i per tant augmentarà el nivell. També es disposa d'un indicador de nivell LI-1112 i un indicador de temperatura TI-1107, que permeten tenir una referència del nivell i de la temperatura que hi ha a la C-101 *in situ* a la planta.

4.3.1.4 Sistema de control del bescanviador E-102

L'objectiu es controlar la temperatura de sortida de la *waste water*. Per aquest motiu, s'instal·la un transmissor de temperatura TT-1120, el qual està vinculat a la vàlvula V-135 que manipula el cabal d'entrada de l'aigua de refrigeració al bescanviador E-102.

4.3.1.5 Sistema de control de la bomba P-101 A/B

Per al bon funcionament de la bomba, es controla la pressió i el cabal de sortida.

Per tal de mantenir la pressió desitjada, s'ha instal·lat un transmissor de pressió PT-1119 connectat al controlador de potència del motor de la bomba JC-1116 que aplicarà més energia de rotació segons els requeriments desitjats.

Amb l'objectiu de mantenir el cabal que passa per la bomba, es disposa d'un llaç de control que recircula una part del cabal de sortida fins l'entrada. El transmissor de cabal instal·lat FT-1117 està connectat al controlador de la vàlvula V-126 que obrirà o tancarà en funció del valor desitjat. És molt important no sobrepassar el cabal mínim d'operació de la bomba ja que podria ocasionar problemes mecànics.

4.3.2. Sistema de control de la unitat de recuperació d'acetaldehid

4.3.2.1 Sistema de control d'alimentació a la columna C-201

A l'alimentació de la columna C-201, es troba el llaç de control 2001 (un transmissor i un controlador) per tal de regular el cabal d'alimentació segons el disseny d'aquesta columna per a arribar a una separació eficaç.

4.3.2.2 Sistema de control de cap de columna C-201

En una columna de destil·lació és important controlar la pressió i temperatura de la columna, ja que influeix en la capacitat de separació de la mateixa. En el cas de la columna C-201, la pressió es mesurada pel transmissor PT-2006 i controlada pel controlador FC-2044 situat en la purga del condensador. La temperatura al cap de la columna es indicada pel TI-2006. També hi ha un indicador de diferència de pressió entre cap i fons de la columna per evitar que s'iguali la pressió entre cap i fons de la columna, ja que això significa que la columna està inundada.

4.3.2.3 Sistema de control de fons de columna C-201

Pel fons de la columna, la temperatura es mesurada pel transmissor TT-2003 i controlada amb el controlador FC-2034 que regula el cabal del vapor que entra al *reboiler*. També hi ha un transmissor LT-2004 que regula el nivell de líquid que hi ha a la columna amb el controlador FC-2042 situat a la sortida del fons de la columna. A més també hi ha un indicador de nivell i un indicador de pressió, LI-2031 i PI-2032 respectivament.

4.3.2.4 Sistema de control d'acumulador de la columna C-201

En un acumulador, el paràmetre més important és el nivell de líquid, ja que sempre s'ha d'evitar la inundació de la columna. A l'acumulador A-201, el nivell es mesurat amb l'indicador LI-1012; un indicador de camp. Per altra banda, el transmissor LT-1011 envia la mesura al quadre de control. Per l'altra banda, el nivell és controlat pel FC-1016 situat a la sortida del destil·lat.

4.3.2.5 Sistema de control al reflux del C-201

Al reflux de la columna C-201, hi ha un control que regula el cabal amb la finalitat de controlar la temperatura del cap de la columna i obtenir una separació desitjada a la columna. El cabal d'aquest corrent es mesurat amb el transmissor FT-2019 i controlat pel FC-2020.

4.3.2.6 Sistema de control condensador E-201

El paràmetre més important que s'ha de controlar en un condensador és la temperatura de sortida del producte. Per això, el transmissor TT-2023 mesura la temperatura del corrent de la sortida del condensador de producte i es controla el cabal pel corrent d'entrada d'aigua de refrigeració.

4.3.2.7 Sistema de control bescanviador E-202

Igual que en el condensador, al bescanviador E-202 és important controlar la temperatura de sortida, aquesta es controlada pel cabal del corrent d'aigua de refrigeració. El transmissor TT-2024 mesura la temperatura de sortida i el FC-2018 controla el cabal.

4.3.2.8 Sistema de control bomba P-201A/B i P-202A/B

Al control de la bomba es té en compte dos factors importants: cabal i pressió. Per tenir la pressió desitjada a la impulsió de la bomba, s'ha instal·lat un transmissor de pressió PT-2025. Aquest està controlat pel controlador de potència JC-2026, segons la pressió d'impulsió efectuarà més o menys pressió.

4.3.3. Sistema de control de la unitat de recuperació d'acetat de vinil

4.3.3.1 Sistema de control de l'alimentació a la columna C-301

Per al control de l'alimentació de la columna s'utilitza un transmissor de cabal (FT-3001) que està connectat al controlador de la vàlvula V-302. D'aquesta manera es pot manipular el cabal d'entrada per a obtenir la separació desitjada de la columna.

4.3.3.2 Sistema de control de fons de columna C-301

En el fons de columna es controla tant la temperatura com el nivell d'aquesta. La temperatura es controla mitjançant un transmissor (TT-3007) connectat a l'entrada de vapor d'aigua del *reboiler* (FC-3009). En el cas de necessitar més temperatura, s'obrirà la vàlvula V-366, deixant passar més vapor, augmentant l'intercanvi de calor en el *reboiler*. El nivell es controla amb la sortida de fons de la columna. Quan es detecta més nivell del desitjat, la vàlvula V-318; connectada al controlador FC-3015, obrirà deixant el pas per a la sortida de pesats i així disminuir el nivell de la columna. També hi ha instal·lat un indicador de nivell per a tenir una referència en la pròpia planta del nivell de la columna.

4.3.3.3 Sistema de control de cap de columna C-301

Al cap de la columna C-301 es controla principalment la pressió de cap. Aquesta es controla manipulant el cabal del corrent de torxa, obrint o tancant la vàlvula V-351 s'augmentarà o es disminuirà la pressió de la columna. Hi ha un indicador TI-3003 on es mesura la temperatura de cap de columna. També hi ha un indicador de pressió diferencial (DPI-3005) instal·lat en la columna, connectat en dos punts diferents (cap i fons) que serveix per tenir un mesurador de la diferència de pressions i evitar que s'inundi.

4.3.3.4 Sistema de control del reflux de la columna C-301

El reflux de la columna es controlarà amb la vàlvula V-356 connectada al FC-3029, aquesta variarà el cabal de reflux segons el valor que li transmet el FT-3028.

Aquest control permet ajustar el valor de reflux per a mantenir la separació amb la composició dels productes desitjada.

4.3.3.5 Sistema de control de l'entrada d'inhibidor

L'entrada d'inhibidor al procés també es controla segons el cabal que mostra el propi corrent. És a dir, si FT-3031 mostra una necessitat de variació al corrent, el FC-3030 obrirà o tancarà la vàlvula per a corregir a l'especificació requerida.

4.3.3.6 Sistema de control del acumulador de reflux A-301

En l'acumulador el paràmetre important a controlar és el nivell, ja que s'ha de mantenir un cert nivell per a tenir el reflux necessari i també per a que no s'inundi la columna. Aquest nivell es controla amb el corrent de sortida al destil·lat. Segons el nivell que sigui necessari, la V-338 connectada al FC-3026 obrirà o tancarà.

4.3.3.7 Sistema de control de les bombes P-301 i P-302

Per a les bombes es tenen en compte dos factors importants; la pressió i el cabal a la sortida. Aquests dos factors seran els que asseguraran el correcte funcionament de la bomba.

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un mesurador (PT-3022) que segons el valor que hi hagi, el controlador de potencia de la bomba (JC-3019) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

Per a mantenir el cabal que passa per la bomba (no pot ser inferior al mínim, ja que si no la bomba podria tenir problemes mecànics), s'instal·la un llaç de control que recircula una part del cabal de la sortida fins l'entrada. El mesurador de cabal FT-3021 envia la senyal al FC-3023 que obrirà o tancarà la vàlvula segons la necessitat.

4.3.3.8 Sistema de control dels condensadors E-301 i E-302

Els dos condensadors es controlen de la mateixa forma. La variable a controlar és la temperatura a la sortida del fluid de procés. Aquesta temperatura es controlada amb el FC-3016 i FC-3025; que obrirà la vàlvula que dona pas a l'aigua de refrigeració en cas de necessitar refredar més el fluid de procés i tancarà la vàlvula en cas contrari.

4.4. Disseny d'equips

4.4.1. Columna C-101

La columna C-101 és el principal equip d'aquesta unitat de procés. Aquest disseny es realitza simultàniament amb el de l'apartat 4.1.2.1. emprant el *Aspen Hysys* TM v10. El rebliment d'aquesta columna és Instalox® ceràmic i aleatori. El disseny de la columna amb rebliment es deu a la seva viabilitat econòmica i la seva eficàcia en diàmetres petits. A més, es maximitza l'àrea de contacte entre líquid i vapor augmentant la eficiència de la separació. El rebliment d'aquesta columna és Instalox® ceràmic i aleatori.

S'ha escollit aquest tipus de rebliment ja que el tipus Instalox[®] la seva forma està modificada de tal forma que els elements adjacents no obturen cap porció significativa del líquid humectant, evitant així tolls de líquids estancats, estancament de bombolles de gas i canvis violents en la direcció del gas. Això dona com a resultat una major capacitat, major eficiència i menor caiguda de pressió. Per l'altra banda, el material serà ceràmic per la seva resistència a la temperatura i per ser químicament molt inert. (ref.15)

En la següent taula es mostren els valors inicials per dissenyar la C-101:

Taula 4.33. Paràmetres inicials per al disseny de C-101.

Paràmetre	Valor
Tipus de rebliment	Instalox [®]
Mida rebliment (mm)	25
HETP del rebliment (m)	0,46
Capacitat màxima (%)	70

El valor de la HETP del rebliment s'ha determinat a partir de la ref.24. El percentatge de la capacitat màxima es troba dintre del rang de valors acceptables. Un altre aspecte a destacar és que aquesta columna consta de tres llits de mateixa alçada de rebliment per tal de garantir una bona distribució al interior de la columna i una millor neteja i eficiència. Les tres seccions tenen el mateix diàmetre.

A continuació, es mostren els paràmetres obtinguts per al disseny mecànic de la C-101:

Taula 4.34. Paràmetres inicials per al disseny mecànic de C-101.

Paràmetre	Valor
Diàmetre (m)	0,36
Alçada (m)	10,73
Pèrdua de càrrega (mbar)	27,3
Densitat líquid (kg/m ³)	937,2
Material	SS316L
Estrès màxim permès, S (MPa)	115
Densitat material (kg/m ³)	7930

La pèrdua de càrrega i el diàmetre obtingut són acceptables i corresponen a les característiques d'una columna de rebliment. Per aquest motiu, la C-101 es dissenya com a una columna de rebliment ja que aquestes permeten operar amb diàmetres petits i pèrdues de càrrega baixes. (ref.24)

Un cop obtinguts tots aquests valors, es realitza el disseny mecànic per a la columna C-101. Aquest disseny s'ha realitzat seguint la metodologia mostra en l'annex A.4 (ref.16). Per al càlcul del gruix s'ha tingut en compte un vent de 130 km/h.

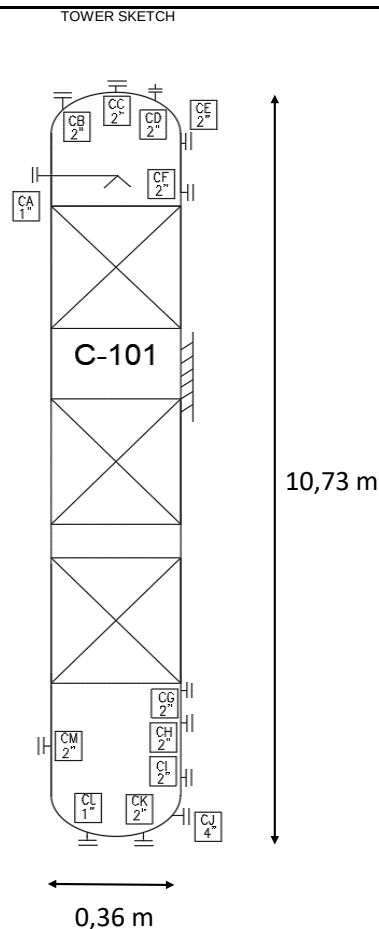
Taula 4.35. Paràmetres obtinguts del disseny mecànic de la C-101.

Paràmetre	Valor
Pressió prova hidràulica (barg)	5,4
Pressió de disseny (barg)	3,5
Gruix carcassa (mm)	6
Gruix capçals (mm)	6
Pes columna buida (kg)	315
Pes total (kg)	1339
Temperatura de disseny (°C)	127

Seguidament, es mostra la fulla d'especificació de la columna C-101:

Unitat de recuperació d'acetaldehid d'una planta d'acetat de vinil monòmer

1	GENERAL	Manufacturer:			
2		Item:	C-101		
3		Service:	Water stripping		
4		Type:	Rebliment		
5	OPER. CONDIT.	Product	Aigua, VAM, Acetaldehid		
6		Temper.	107	°C	
7		Pressure	0,3	barg	
8		Liquid Density	937,2	kg/m ³	
9		Liquid Viscosity	0,34	cP	
10		Tray Number (Bottom Tray=No.1) (Stages)	18		
11		Tower Inside Diameter	360	mm.	
12		Packing height	8230	mm.	
13		Max. ΔP per Tray	9,3	mbar	
14		Minimum Area/Downcomer		m ²	
15	DESIGN DATA	Valves, Bubble Caps / Tray			
16		Perforations / Tray			
17		HETP	0,4572	m	
18		Des.Pr.(eff.)	3,5	barg	
19		Des.Temp.	127	°C	
20		Liquid Density	937,2	kg/m ³	
21		Design Range		%	
22		Hydr. Test	5,4	barg	
23		Code:	ASME Secció VIII Div 1		
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads	2,5 / 2,5 mm.		
25	TOWER DATA	Joint Efficiency:	100	%	
26		Stress.Rel.:	X	Yes	No
27		Radiograph:	X	Yes	No
28		Sandblast:		Yes	No
29		Paint:	X	Yes	No
30		Insulation:	X	Yes	No
31		Fireproofing:	X	Yes	No
32		Wind Load:	130	km/h	
33		Seismic:		Yes	No
34		Wt.Empty:	315	kg	
35		Wt.Full Water:	1339	kg	
36	INTERNAL DATA	Tray No. 3	Diam.	Spacing	Material
37		Thru 1 to 6	0,36m	2,74m	SS316L
38		Thru 6 to 12	0,36m	2,74m	SS316L
39		Thru 12 to 18	0,36m	2,74m	SS316L
40		Thru			
41		Contact Device:			
42				Bubble Caps	
43				Valves	
44				Perfor.	
45		Packing:	Instalox ® 1 in		
46	SPECIFIC DATA	Demister:			
47			Thick. (mm.)	Mat'l Class	
48		Shell	6	SS316L	
49		Head-Top	6	SS316L	
50		Head-Bottom	6	SS316L	
51					
52					
53					
54					
55		Cone Section			
56					
57	NOZZLES	Service	Mark	No.	Size
58		Entrada alimentació	CA	1	1"
59		Transmissor de pressió PT-1105	CB	1	2"
60		Sortida per cap	CC	1	2"
61		PSV	CD	1	2"
62		Transmissor de temp. TT-1106	CE	1	2"
63		Indicador DPT-1111	CF	1	2"
64		Indicador DPT-1111	CG	1	2"
65		Transmissor de nivell LT-1113	CH	1	2"
66		Indicador de temp. TI-1107	CI	1	2"
67	TOWER SKETCH	Entrada del R-101	CJ	1	4"
68		Sortida del R-101	CK	1	2"
69		Sortida per fons	CL	1	1"
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77	NOTES:				
78					
79					
80					
81					



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

4.4.2. Reboiler R-101

El *reboiler* R-101 correspon a la columna C-101, aquest és un *reboiler* termosifó vertical. Aquest equip té com a objectiu evaporar una part del corrent d'aigua que surt pel fons de la C-101 mitjançant el vapor del servei del procés. El corrent calent; en aquest cas el vapor, passa pel costat de la carcassa i l'aigua del procés pels tubs.

S'ha utilitzat el *Aspen EDRTM v10* per tal de dissenyar aquest equip.

Seguidament es mostren els paràmetres introduïts al software:

Taula 4.36. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del R-101.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	107
Pressió entrada procés (barg)	0,3
Cabal entrada procés (kg/h)	8626
Temperatura entrada vapor (°C)	158
Pressió entrada vapor (barg)	5
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0002
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0006
Longitud tubs (mm)	2500
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

Tot el vapor emprat per evaporar l'aigua es condensa completament amb un títol de vapor de zero. A continuació, es mostren els valors del disseny obtinguts amb l'*Aspen EDRTM v10*.

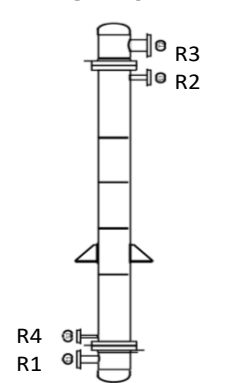
Taula 4.37. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del R-101.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	139385
Àrea (m^2)	4,6
U ($\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	720,5
Nombre de tubs	24
Cabal procés evaporat (kg/h)	247
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,014
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,147
Cabal d'entrada de vapor (kg/h)	268

S'obté una àrea requerida molt petita ja que el cabal d'entrada del procés també és petit.

Per l'altra banda, el disseny mecànic d'aquest bescanviador es mostra a continuació en la fulla d'especificació del R-101:

1	ITEM No.: R-101									
2	Service: Evaporar aigua									
3	Type:	BEM		Position:	Vertical		Total surface / unit:	4,6 (m ²)		
4	No. Shell:	1								
5	PERFORMANCE OF UNIT									
6			Shell side		Tube side					
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet				
8	Fluid name		Steam		Waste Water					
9	Fluid total flow		268		8626					
10	Vapour		kg/h	268	0	0	247			
11	Liquid		kg/h	0	268	8626	8379			
12	Steam		kg/h	268	0	0	0			
13	Water		kg/h	0	268	8626	8626			
14	Temperature		°C	159,36	156,87	106,98	107,22			
15	Density (L/V)		kg/m ³	/ 2,9	855,3 /	910,9 /	911,3/0,71			
16	Viscosity (L/V)		cP	/ 0,0149	0,1712 /	0,2595 /	0,2603/0,0129			
17	Vapour molecular weight			18,02			18,02			
18	Specific heat (L/V)		kcal/kg.°C	/ 0,4747	1,1503 /	1,1032 /	1,103/0,4562			
19	Thermal conductivity (L/V)		kcal/h.m.°C	/ 0,026	0,589 /	0,2595 /	0,585/0,022			
20	Latent heat		kcal/kg	516,82		553,95 / 555,23				
21	Inlet pressure		bar (g)	5		0,3				
22	Velocity (allowable / calculated)		m/s	2,86	0,44	12,02	0,62			
23	Pressure drop (allowable / calculated)		bar	0,50662	0,01377	0,19918	0,1466			
24	Fouling resistance		h.m ² .°C/kcal	0,0002		0,0006				
25	Heat exchanged:		(kcal/h)	139385						
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 720,5	Clean: 2108,1						
27	CONSTRUCTION PER SHELL									
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME		ASME				
29	Design pressure	6,9 barg	3,5							
30	Design temperature	°C	200	150						
31	No. of passes	1	1							
32	Stress relief									
33	Radiograph.		0	0						
34	Corrosion allowance		mm	1	1					
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	Standard				
36		Steam in	R2	2"	150ANSI	Slip on				
37		Cond. out	R4	1/4"	150ANSI	Slip on				
38		Waste Water in	R1	2"	150ANSI	Slip on				
39		Waste Water out	R3	4"	150ANSI	Slip on				
40										
41										
42										
43										
44										
45	MATERIALS									
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat						
47	Shell:	214	5,08	SS316L						
48	Channel:			SS316L						
49	Tubesheets:			SS316L						
50	Baffles: n° / mat.	4		SS316L						
51	Baffles spacing:		406,4 mm.							
52										
53	Tubes:									
54	N°	24								
55	OD	25 mm								
56	BWG:	2 mm								
57	Length	2500 mm.								
58	Pitch:	32 mm △								
59										
60										
61										
62										
63										
64	NOTES:									
65										
66										
67										
0	6/5/2021	J.López	M.Adell							
REV.	DATE	PREP.	APPR.							





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

4.4.3. Bescanviador E-101

El bescanviador E-101 té com a principal funció escalfar el corrent d'entrada d'alimentació de la columna C-101. És un bescanviador de carcassa i tubs BEM, en el qual el corrent calent; en aquest cas l'aigua procedent del fons de la C-101, passa per carcassa i el corrent fred; en aquest cas el fluid del procés, passa per tubs.

Per tal de dissenyar aquest bescanviador, s'ha utilitzat el software *Aspen EDRTM v10* amb el mode *Design*.

A continuació, es mostren les dades introduïdes al simulador per tal de dissenyar el E-101.

Taula 4.38. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del E-101.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	40
Temperatura sortida procés (°C)	82
Pressió entrada procés (barg)	1,91
Cabal entrada procés (kg/h)	2695
Temperatura entrada aigua (°C)	107
Pressió entrada aigua (barg)	1,94
Cabal entrada aigua (kg/h)	2410
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0006
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0006
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

En aquest cas, el bescanviador E-101 està format per tres bescanviadors de carcassa i tubs en sèrie, ja que d'aquesta forma el creuament de les temperatures permet arribar a la temperatura desitjada d'una forma acceptable. Per determinar el nombre de bescanviadors en sèrie necessaris s'ha seguit la ref.28, tenint en compte el factor de correcció F_T i màxima efectivitat tèrmica del bescanviador.

A continuació, es mostren els valors de disseny obtinguts amb el *Aspen EDRTM v10*.

Taula 4.39. Paràmetres obtinguts amb l' *Aspen EDRTM v10* per al disseny del E-101.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	139854
Àrea unitat (m^2)	12
U ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	230,9
Nombre de tubs	31
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,032
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,070

L'àrea total en aquest cas serà 36 m^2 ja que cada unitat és de 12 m^2 .

Per l'altra banda, el disseny mecànic d'aquest bescanviador es mostra a continuació en la fulla d'especificació del E-101:

1	ITEM No.: E-101									
2	Service: Augmentar la T del corrent d'entrada a C-101									
3	Type:	BEM		Position:	Horitzontal		Total surface / unit:	36/12 (m ²)		
4	No. Shell:	3								
5	PERFORMANCE OF UNIT									
6			Shell side		Tube side					
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet				
8	Fluid name		Waste Water		Fluid Process					
9	Fluid total flow		kg/h		2410		2695			
10	Vapour		kg/h		0		0			
11	Liquid		kg/h		2410		2695			
12	Steam		kg/h		0		0			
13	Water		kg/h		2410		2536			
14	Temperature		°C		107		53,8			
15	Density (L/V)		kg/m ³		910,9 /		965,8 /			
16	Viscosity (L/V)		cP		0,260 /		0,525 /			
17	Vapour molecular weight								56,61	
18	Specific heat (L/V)		kcal/kg.°C		1,103 /		1,082 /			
19	Thermal conductivity (L/V)		kcal/h.m.°C		0,585 /		0,552 /			
20	Latent heat		kcal/kg				131,51 /			
21	Inlet pressure		bar (g)		1,942		1,91			
22	Velocity (allowable / calculated)		m/s		0,08		0,11			
23	Pressure drop (allowable / calculated)		bar		0,25855		0,03208			
24	Fouling resistance		h.m ² .°C/kcal		0,0006		0,0006			
25	Heat exchanged:		(kcal/h)		139854					
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		230,9		331,5					
27	CONSTRUCTION PER SHELL									
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME					
29	Design pressure	barg	3,5	3,5						
30	Design temperature	°C	150	150						
31	No. of passes		1	1						
32	Stress relief									
33	Radiograph.		0	0						
34	Corrosion allowance	mm	1	1						
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	Standard				
36		Fluid Procés in	E2	1"	150ANSI	Slip on				
37		Fluid Procés out	E3	1"	150ANSI	Slip on				
38		Waste Water in	E1	1"	150ANSI	Slip on				
39		Waste Water out	E4	1"	150ANSI	Slip on				
40										
41										
42										
43										
44										
45	MATERIALS					SKETCH				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat						
47	Shell:	214	5,08	SS316L						
48	Channel:			SS316L						
49	Tubesheets:			3316L						
50	Baffles: n° / mat.		28	SS316L						
51	Baffles spacing:	171,45 mm								
52										
53	Tubes:									
54	N°	31								
55	OD	25 mm								
56	BWG:	2 mm								
57	Length	5000 mm								
58	Pitch:	32 mm △								
59										
60										
61										
62										
63										
64	NOTES:									
65										
66										
67										
0	6/5/2021	J.López	H.Jin							
REV.	DATE	PREP.	APPR.							
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química										

4.4.4. Bescanviador E-102

El bescanviador E-102 té com a principal funció refredar l'aigua del procés mitjançant el servei de *cooling water*. És un bescanviador de carcassa i tubs, en el qual l'aigua del procés; en aquest cas és el fluid calent, passa per carcassa. Cal esmentar que en aquest bescanviador no hi ha cap canvi de fase.

Per tal de dissenyar el E-102 s'ha utilitzat l'*Aspen EDRTM v10* amb el model *Design*.

Taula 4.40. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del E-102.

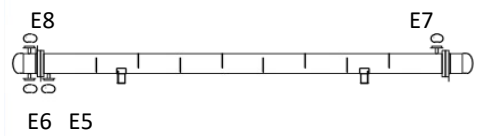
Paràmetre	Valor
Temp. entrada aigua procés (°C)	53,8
Temp. aigua sortida procés (°C)	40
Pressió entrada aigua procés (barg)	1,91
Cabal entrada aigua procés (kg/h)	2410
Temperatura entrada aigua (°C)	28
Pressió entrada aigua (barg)	6
Temperatura sortida aigua (°C)	38
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0006
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	6
Nombre de passos per carcassa	1

Un cop introduïts els paràmetres necessaris per al disseny del E-102, s'obtenen els següents valors:

Taula 4.41. Paràmetres obtinguts amb l' *Aspen EDRTM v10* per al disseny del E-102.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	35884
Àrea unitat (m^2)	13,1
U ($\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	328,3
Nombre de tubs	34
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,014
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,078
Cabal d'entrada aigua refrigeració (kg/h)	3323

Seguidament, es mostra el disseny mecànic del E-102:

1	ITEM No.: E-102				
2	Service: Refredar Waste Water				
3	Type: BEM	Position: Horitzontal			Total surface / unit: 13,1 (m ²)
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side		Tube side
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet
8	Fluid name		Waste Water		Cooling Water
9	Fluid total flow		2410		3323
10	Vapour		0		0
11	Liquid		2410		3323
12	Steam		0		0
13	Water		2410		3323
14	Temperature		53,8		28
15	Density (L/V)		965,85 /		991,15 /
16	Viscosity (L/V)		0,525 /		0,855 /
17	Vapour molecular weight				
18	Specific heat (L/V)		1,082 /		1,080 /
19	Thermal conductivity (L/V)		0,552 /		0,539 /
20	Latent heat				
21	Inlet pressure		1,91		6
22	Velocity (allowable / calculated)		0,07		0,02
23	Pressure drop (allowable / calculated)		0,25855		0,0138
24	Fouling resistance		0,0006		0,0004
25	Heat exchanged:				35884
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		328,3		507,4
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME
29	Design pressure barg	3,5	7		
30	Design temperature °C	150	150		
31	No. of passes	1	6		
32	Stress relief				
33	Radiograph.	0	0		
34	Corrosion allowance mm	1	1		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		CW in	E6	1"	150ANSI
37		CW out	E8	1"	150ANSI
38		Waste Water in	E5	1"	150ANSI
39		Waste Water out	E7	1"	150ANSI
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat	
47	Shell:	258	15	SS316L	
48	Channel:			SS316L	
49	Tubesheets:			SS316L	
50	Baffles: n° / mat.		8	SS316L	
51	Baffles spacing:	514,35			
52					
53	Tubes:				
54	N°	34			
55	OD	25 mm			
56	BWG:	2 mm			
57	Length	5000 mm			
58	Pitch:	32 mm △			
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0	6/5/2021	J.López	M.Adell		
REV.	DATE	PREP.	APPR.		



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

4.4.5. Bomba P-101 A/B

La bomba P-101 A/B té la funció de bombejar el cabal d'aigua procedent del fons de columna C-101 cap al bescanviador E-101. S'ha de tenir en compte que aquesta bomba està al costat d'una altra bomba idèntica, que entrarà en funcionament en el cas que la bomba principal presenti alguna fallada.

Per tal de realitzar el disseny d'aquesta bomba la seguit l'annex A.5, seguint la metodologia extreta de la referència 24.

A continuació, en la següent taula es mostren les dades inicials per al disseny de la P-101.

Taula 4.42. Paràmetres inicials per al disseny de la P-101.

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m ³ /h)	3,18
Densitat fluid (kg/m ³)	910,9
Viscositat (cP)	0,26
Diferència de pressió impulsió – aspiració (bar)	2,95
Diferència d'altura impulsió – aspiració (m)	4,5
Diàmetre canonada aspiració (mm)	25
Diàmetre canonada impulsió (mm)	32
Longitud canonada aspiració (m)	7
Longitud canonada impulsió (m)	75

Un aspecte a tenir en consideració és que la bomba s'ha dissenyat tenint un cabal a bombejar un 20% més elevat d'aquesta forma un possible augment del cabal per raons de flexibilitat d'operació. En quant al valor de les pèrdues menors de pressió, el tutor proporciona el nombre d'elements a tenir en compte en la pèrdua de càrrega, tant en l'aspiració com en la impulsió. Aquestes pèrdues menors de pressió, es troben tabulades en la referència 24. Aquests elements es mostren en la següent taula.

Taula 4.43. Elements que provoquen una pèrdua de càrrega menor.

Element	Unitats aspiració	Unitats impulsió
Colzes 90°	3	10
Vàlvula bola 2"	1	0
Reducció de 2" a 1"	1	0
Reducció de 1 ½" a 1"	0	1
Vàlvula retenció 1,5"	0	1
Vàlvula comporta 1,5"	0	2
Ampliació de 1" a 1 ½"	0	1

Especificats el nombre d'elements que generen una pèrdua de càrrega menor, es pot realitzar el disseny per a la bomba P-101 seguint l'annex A.5, tenint en compte la pèrdua de càrrega i l'alçada que ha de superar. Un cop es coneixen aquests valors, es pot seleccionar una bomba per tal de complir aquests requeriments. En la següent taula, es mostren els paràmetres principals de la bomba seleccionada.

Taula 4.44. Paràmetres de la bomba seleccionada.

Paràmetre	Valor
Cabal màxim (m ³ /h)	18
H (m)	33
Rodet (mm)	155
Potència requerida (kW)	1,2
NPSH disponible (m)	2,19
NPSH requerit (m)	0,8
Eficiència (%)	14

La P-101 seleccionada és una bomba centrífuga amb un rodets completament oberts i 6 pales que opera a una velocitat de 2900 rpm (ref.33). Cal esmentar que l'eficiència d'aquesta bomba és baixa. Els requeriments de la P-101 no afavoreixen en la cerca de catàlegs, per tant, aquesta eficiència s'haurà de revisar a l'enginyeria de detall. En la següent fulla d'especificació es mostren les característiques de la bomba detalladament.

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	RUN: 1	SPARE: 1
2	SERVICE	Bombejar aigua fons C-101	
3	ITEM	P-101 A/B	
4	MODEL	HCP-40-205	
5	FLUID PUMPED	Aigua	
6	OPER. TEMP	102	°C
7	DENSITY	910,9	kg/m ³
8	VISCOSITY	0,26	cP
9	VAPOR PRESS.	1,09	bar
10	NORM. CAPACITY	3,18	m ³ /h
11	MAX. CAPACITY	18	m ³ /h
12			
13	SUCTION CONDITIONS		
14	TOTAL SUCT. PR.	0,3	barg
15	NPSH (m.w.c.)	0,8	m
16			
17	DISCHARGE CONDITIONS		
19	TOTAL DISCH. PR.	3,25	barg
20	DIFF. PRESSURE	2,95	bar
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	33	m
22	PUMP REQUIREMENTS		
23	TYPE PUMP	Centrifugal	
24	ESTIMATED EFF.	27	%
25	ESTIMATED Rot. freq.	2900	rpm
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 fabricant	
34	IMPELLER	Especificat fabricant	
35	SHAFT	Especificat fabricant	
36	SHAFT SLEEVE	Especificat fabricant	
37	SEAL/PACKING	Especificat fabricant	
38	PISTON	Especificat fabricant	
39			
40	Nozzles	Mark	Nº
41	Suction	P1	1
42	Discharge	P2	1
43			
44			
45	0	23/5/2021	J.Lopez
46	REV.	DATE	PREP.
47			APPR.

Pump Curve

Altura Head m / ft

Potencia Power kW / HP

NPSH_{req} m / ft

Caudal / Flow m³/h

Gen. Arr. Drawin

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

4.4.6. Columna C-201

La columna C-201 és l'equip principal de la unitat de recuperació d'acetaldehid. Aquest disseny es realitza amb la simulació *Aspen HysisTM v10* explicada a l'apartat 4.1.2.2. La columna és dissenyada amb empaquetaments ja que segons el llibre de *Sinnot* (ref.24). La causa de dissenyar la columna amb empaquetament és que és més barat i eficaç que una columna de plats a un diàmetre de 0,6 m aproximadament, a més, aquestes maximitzen l'àrea de contacte entre líquid i vapor així augmentant la eficiència de la separació. El rebliment d'aquesta columna és *Instalox®* ceràmic i aleatori.

S'ha escollit el tipus *Instalox®* ja que la seva forma està modificada per a que els elements adjacents no obturen cap porció significativa del líquid humectant, evitant així tolls de líquids estancats, estancaments de bombolles de gas i canvis violents en la direcció del gas. Això una major eficiència de separació i un menor caiguda de pressió a la columna. El material de rebliment és ceràmic ja que aquests són químicament molt inerts i molt resistents a la temperatura. A la taula 4.45. mostren els paràmetres de disseny interior de la columna. (ref.15)

Taula 4.45. Paràmetres de disseny de C-201.

Paràmetre	Valor
Tipus de rebliment	Instalox ®
Mida rebliment (mm)	38,1
HETP del rebliment (m)	0,61
Capacitat màxima (%)	80

La mida del rebliment i el valor de la HETP s'ha determinat a partir de la ref.24. El percentatge de capacitat màxima és un valor acceptable per a una columna. Cal destacar que aquesta columna consta de quatre llits de mateixa alçada de rebliment per tal de tenir una bona distribució a l'interior de la columna. Les quatre seccions tenen el mateix diàmetre. A la taula 4.46. mostren els paràmetres per al disseny mecànic de la columna.

Taula 4.46. Paràmetres per al disseny mecànic de C-201.

Paràmetre	Valor
Diàmetre	0,65
Alçada (m)	14
Pèrdua de càrrega (mbar)	20
Densitat líquid (kg/m ³)	894,1
Material	SS316L
Estrès màxim permès, S (MPa)	115
Densitat material (kg/m ³)	7930

Un cop tingut aquests valors, es realitza el disseny mecànic de la columna C-201. Aquest disseny s'ha seguit la metodologia mostrada en Annex A.4.

Per al càlcul de l'espessor de la columna s'ha tingut en compte un vent de 130km/h per a qualsevol punt de la columna. Un altre aspecte que s'ha de tenir en compte és que al pes de la columna no s'ha tingut en compte el pes del rebliment.

Taula 4.47. Paràmetres obtinguts del disseny mecànic de la C-201.

Paràmetre	Valor
Pressió prova hidràulica (barg)	4,3
Pressió de disseny (barg)	3
Gruix carcassa (mm)	7
Gruix capçals (mm)	7
Pes columna buida (kg)	856
Pes total (kg)	5010
Temperatura de disseny (°C)	130

Seguidament es mostra la fulla d'especificació de la columna C-201.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

GENERAL

Manufacturer:

Item: C-201

Service: Columna d'acetaldehid

Type: Rebliment

OPER. CONDIT.

Product

Temper.

Presure

Liquid Density

Liquid Viscosity

Tray Number (Bottom Tray=No.1)

Tower Inside Diameter

Tray Spacing

Max. ΔP per Tray

Minimum Area/Downcomer

Valves, Bubble Caps / Tray

Perforations / Tray

Acetaldehid / VA

107 °C

1,7 barg

894,1 kg/m³

0,3384 cP

13

650 mm.

0,77 m

0,02 barg

m²

0

DESIGN DATA

Des.Pr.(eff.)

Des.Temp.

Liquid Density

Design Range

Hydr.Test

Code:

Corr.Allow.mm: Shell / Heads

Joint Efficiency:

Stress Rel.:

Radiograph:

Sandblast:

Paint:

Insulation:

Fireproofing:

Wind Load:

Seismic:

Wt.Empty:

Wt.Full Water:

3 barg

130 °C

894,1 kg/m³

%

4,3 barg

ASME VIII Div I

2,5/2,5 mm.

100 %

X Yes No

X Yes No

Yes X No

X Yes No

X Yes No

130 km/h

Yes X No

1721 kg

5875 kg

INTERNAL ACCESS & L.S

Tray No. 13

Thru 1 to 3

Thru 4 to 7

Thru 8 to 11

Thru 12 to 13

Contact Device:

Bubble Caps

Valves

Perfor.

Packing: INSTALOX

Demister:

Diam.

Spacing

Material

0,65m

2,5

SS316L

0,65m

2,5

SS316L

0,65m

2,5

SS316L

0,65m

2,5

SS316L

MAINTENANCE SPECIFICATIONS

Shell-Top

Intermed

Bottom

Head-Top

Intermed

Bottom

Cone Section

Cladding, Lining

Thick. (mm.)

Mat'l Class

7

ceramic

7

ceramic

7

ceramic

7

ceramic

NOZZLE

Service

Entrada de procés

Indicador de temperatura

Boca d'hòme

Transmissor de pressió

Sortida cap de la columna

Sortida de valvula de seguretat PSV

Indicador de diferencia de pressió

Entrada de reflux

Indicador de diferencia de pressió

Entrada de fluid de procés del rebolir

Indicador de nivell

Boca d'hòme

Mark

E1

E2

BH1

E3

S1

S2

E4

E5

E6

E7

E8

BH2

No.

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

Size (in)

1/2

2

24

2

4

1/2

2

3/4

2

8

2

24

Rating

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

150#

Service

Sortida de fluid de procés cap al rebolir

Sortida fons de la columna

Indicador de pressió

Transmissor de nivell

Transmissor de temperatura

Mark

S3

S4

E9

E10

E11

No.

1

1

1

1

1

Size(in)

8

1/2

2

2

2

Rating

150#

150#

150#

150#

150#

NOTES:

</

4.4.7. Reboiler E-203

El *reboiler* E-203 correspon a un termosifó vertical de la columna C-201, el seu objectiu és vaporitzar una part del corrent de fons de la columna i recircular-la cap a la columna. En aquest cas pel carcassa passa vapor de servei ja que així s'obté un intercanvi de calor més eficaç i per costat tub passa corrent de procés. S'ha dissenyat mitjançant *Aspen Exchanger Design & Rating* introduint el *input*, amb les següents dades obtingudes al disseny de la columna amb el *Hysis*.

Taula 4.48. Paràmetre introduïts com a input de la simulació.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	93,1
Pressió entrada procés (barg)	1,7
Cabal entrada procés (kg/h)	37000
Temperatura entrada vapor (°C)	158
Pressió entrada vapor (barg)	4
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0002
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0008
Longitud tubs (mm)	2500
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

També s'ha tingut en compte dels colzes que hi ha dels corrents de recirculació a l'entrada i sortida del *reboiler*. S'ha utilitzar un intercanviador de tub i carcassa tipus BEM.

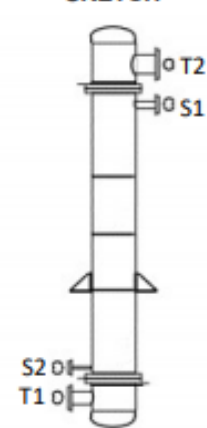
La condensació del vapor és total. A continuació es mostra els resultats obtingudes amb la simulació.

Taula.4.49. Resultats obtinguts amb la simulació.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	253277
Àrea (m ²)	11,8
U (kcal/m ² ·h·°C)	580,5
Nombre de tubs	62
Cabal procés evaporat (kg/h)	34457
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,0168
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,1494
Cabal d'entrada de vapor (kg/h)	482

Seguidament es mostra la fulla d'especificació d'aquest equip.

1	ITEM No.: E-203	
2	Service: Reboiler de la columna C-201	
3	Type: BEM	Position: Vertical
4	No. Shell: 1	Total surface / unit: 11,8 (m ²)
5	PERFORMANCE OF UNIT	
6		
7		
8	Fluid name	STEAM
9	Fluid total flow	kg/h 482
10	Vapour	kg/h 482
11	Liquid	kg/h 0
12	Steam	kg/h 0
13	Water	kg/h 0
14	Temperature	°C 157,8
15	Density (L/V)	kg/m ³ 2,54/
16	Viscosity (L/V)	cP 0,0148/
17	Vapour molecular weight	18,02
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C 0,4744/
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C 0,026/
20	Latent heat	kcal/kg 517,23
21	Inlet pressure	barg 3,8
22	Velocity (mean / max)	m/s 0,6/0,71
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar 0,6/2,71
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal 0,0002
25	Heat exchanged:	(kcal/h) 253277
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 580,5 Clean: 1782
27	CONSTRUCTION PER SHELL	
28	Codes:	Shell side Tube side
29	Design pressure	barg 5,5 3,5
30	Design temperature	°C 193,3 193,3
31	No. of passes	1 1
32	Stress relief	
33	Radiograph.	
34	Corrosion allowance	mm 3,18 3,18
35	Service	Mark Dia. Rating
36	Entrada Steam	S1 3 150#
37	Sortida Steam	S2 1/2 150#
38	Entrada Procés	T1 8 150#
39	Sortida Procés	T2 8 150#
40	Nozzles	
41		
42		
43		
44		
45	MATERIALS	
46	Dia. Thick. (mm. Spec. Mat	
47	Shell:	307 16,8 SS316L
48	Channel:	SS316L
49	Tubesheets:	SS316L
50	Baffles: n° / mat.	3
51	Baffles spacing:	395,3 mm.
52	Tubes:	
53	N°	62
54	OD	0,9843 inches
55	BWG:	
56	Length	2500 mm.
57	Pitch:	32 mm. 
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64	NOTES:	
65		
66		
67		
0	25/05	HAOKAI.J JOELL
REV.	DATE	PREP. APPR.





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

4.4.8. Condensador E-201

El condensador E-201 correspon a un condensador amb condensació total del corrent de procés de la sortida del cap de la columna C-201. En aquest condensador, el corrent de procés passa pel costat carcassa i l'aigua de refredament de servei passa pel costat tub. D'aquesta forma s'obté una condensació més eficaç perquè l'aigua està a més pressió. El condensador es dissenyat amb el simulador i s'han introduït les dades següents obtingudes al disseny de la columna C-201.

Taula 4.50. Paràmetres introduïts com a input de la simulació.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	56,8
Pressió entrada procés (barg)	1,5
Cabal entrada procés (kg/h)	1401
Temperatura entrada aigua (°C)	28
Temperatura sortida aigua (°C)	38
Pressió entrada aigua (barg)	4
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

Aquest condensador s'ha utilitzat un intercanviador tub i carcassa de tipus BEM col·locada horitzontalment.

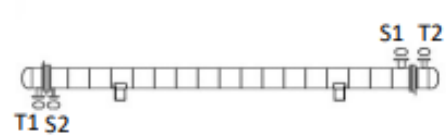
A continuació es mostra els resultats obtingudes amb la simulació del condensador amb EDR.

Taula.4.51. Resultats obtinguts amb la simulació.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	189365
Àrea (m ²)	24,3
U (kcal/m ² ·h·°C)	414,3
Nombre de tubs	63
Cabal procés (kg/h)	1401
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,0298
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,0423
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	17537

Seguidament es mostra la fulla d'especificació d'aquest equip.

1	ITEM No.: E-201	
2	Service: Condensador producte cap de la columna C-201	
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal Total surface / unit: 24,3 (m ²)
4	No. Shell: 1	
5	PERFORMANCE OF UNIT	
6		
7		
8	Fluid name	Reflux
9	Fluid total flow	kg/h
10	Vapour	kg/h
11	Liquid	kg/h
12	Steam	kg/h
13	Water	kg/h
14	Temperature	°C
15	Density (L/V)	kg/m ³
16	Viscosity (L/V)	cP
17	Vapour molecular weight	
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C
20	Latent heat	kcal/kg
21	Inlet pressure	barg
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s
23	Pressure drop (allowable / calculated)	barg
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal
25	Heat exchanged:	(kcal/h)
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 414,3 Clean: 650,2
27	CONSTRUCTION PER SHELL	
28	Codes:	Shell side Tube side
29	Design pressure barg	3 6
30	Design temperature °C	100 100
31	No. of passes	1 1
32	Stress relief	
33	Radiograph	
34	Corrosion allowance mm	3,18 3,18
35	Service	Mark Dia.(in) Rating
36	Entrada procés	S1 4 150#
37	Sortida procés	S2 3/4 150#
38	Entrada CW	T1 2 150#
39	Sortida CW	T2 2 150#
40		
41		
42		
43		
44		
45	MATERIALS	
46	Dia. Thick. (mm.) Spec. Mat.	
47	Shell: 308 16,9	SS316L
48	Channel:	SS316L
49	Tubesheets:	SS316L
50	Baffles: n° / mat. 16	SS316L
51	Baffles spacing: 242 mm.	
52		
53	Tubes:	
54	N° 63	
55	OD 0,9843 inches	
56	BWG: 0,1575	
57	Length 5000 mm.	
58	Pitch: 32 mm	△
59		
60		
61		
62		
63		
64	NOTES:	
65		
66		
67		
0	25/05	HAOKAI.J JOEL.L
REV.	DATE	PREP. APPR.





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

4.4.9. Bescanviador E-202

L'objectiu del bescanviador E-202 és refredar el corrent del destil·lat per tal de poder d'enviar la incinerador. En aquest bescanviador, per costat carcassa passa el corrent de destil·lat i pel costat de tubs passa l'aigua de servei, *cooling water* en contracorrent, ja que d'aquesta manera s'obté un intercanvi de calor més eficaç a més la pressió de l'aigua de servei és més alta.

El bescanviador E-202 es dissenyat amb l'aplicació *Aspen EDRTM v10* amb el mode *Design*. A continuació es mostren els paràmetres de input que s'ha introduït a la simulació.

Taula 4.52. Paràmetres introduït com a input de la simulació.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada destil·lat (°C)	46,6
Pressió entrada destil·lat (barg)	4,5
Cabal entrada destil·lat (kg/h)	72
Temperatura entrada aigua (°C)	28
Temperatura sortida aigua (°C)	35
Pressió entrada aigua (barg)	6
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

Cal especificar que, per evitar un creuament de temperatura entre els dos corrents s'ha dissenyat un bescanviador amb tres carcasses en sèrie, per determinar el nombres de carcasses en sèrie, s'ha consultat l'article de la ref.28

A continuació es mostra els resultats obtingudes amb la simulació del condensador amb *Aspen EDRTM v10*.

Taula.4.53. Resultats obtinguts amb la simulació.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	434
Àrea (m ²)	1,2
U (kcal/m ² ·h·°C)	122,1
Nombre de tubs	1
Cabal procés (kg/h)	71
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,0001
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,0013
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	80

Seguidament es mostra la fulla d'especificació d'aquest equip.

1	ITEM No.: E-202					
2	Service: Bescanviador de calor					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 1,2/0,4 (m ²)		
4	No. Shell: 3					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Destil·lat		Cooling water		
9	Fluid total flow	kg/h	72		80	
10	Vapour	kg/h	0	0	0	0
11	Liquid	kg/h	71	71	80	80
12	Steam	kg/h				
13	Water	kg/h				
14	Temperature	°C	46,55	35	28	33
15	Density (L/V)	kg/m ³	766,85	783,73	991,15	986,31
16	Viscosity (L/V)	cP	0,192	0,2102	0,8551	0,7705
17	Vapour molecular weight					
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,5372	0,5238	1,0803	1,0801
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,134	0,139	0,526	0,531
20	Latent heat	kcal/kg				
21	Inlet pressure	barg	4,5		6	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	0,01/0,02		0,07/0,07	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	barg	0,2	0,0012	0,5	0,0013
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0004		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)			434	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 122,1		Clean: 136,8	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure barg	7	8			
30	Design temperature °C	85	70			
31	No. of passes	1	1			
32	Stress relief					
33	Radiograph					
34	Corrosion allowance mm					
35		Service	Mark	Dia.	Rating	
36	Nozzles	Entrada procés	S1	1/2	150#	
37		Sortida procés	S2	1/2	150#	
38		Entrada CW	T1	3/4	150#	
39		Sortida CW	T2	3/4	150#	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:	52,5	8	SS316L		
48	Channel:			SS316L		
49	Tubesheets:			SS316L		
50	Baffles: n° / mat.	48		SS316L		
51	Baffles spacing:	118	mm.			
52						
53	Tubes:					
54	N°	1				
55	OD	0,9843 inches				
56	BWG:	0,166				
57	Length	5000 mm.				
58	Pitch:	32	mm	△		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0	25/05	HAOKAI	JOEL L			
REV.	DATE	PREP.	APPR.			





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

4.4.10. Acumulador A-201

L'acumulador A-201 és un dipòsit de reflux de la columna C-201. El líquid del dipòsit serà impulsat per la bomba P-201 cap a la columna C-201 i al incinerador.

S'ha establert un temps de residència a la columna de 48 hores, ja que el corrent del destil·lat es dirigeix a un incinerador, aquest corrent no és continu. Per això s'ha de tenir suficient espai per a emmagatzemar el líquid que va al incinerador. L'acumulador presenta un factor d'emplenament de 70%.

Per al disseny d'aquest acumulador s'ha utilitzat com a referència de càlcul el document de *Técnicas Reunidas S.A* (ref.25).

Taula 4.54. Paràmetres inicials per al disseny del A-201.

Paràmetre	Valor
Cabal (m ³ /min)	0,093
Temps d'emplenat (h)	48
Factor d'emplenament	0,7
Relació L/D	3,5

Un cop es tenen els valors inicials, seguint el procediment de l'annex A.4, s'obtenen els resultats següents:

Taula 4.55. Resultats disseny del A-201.

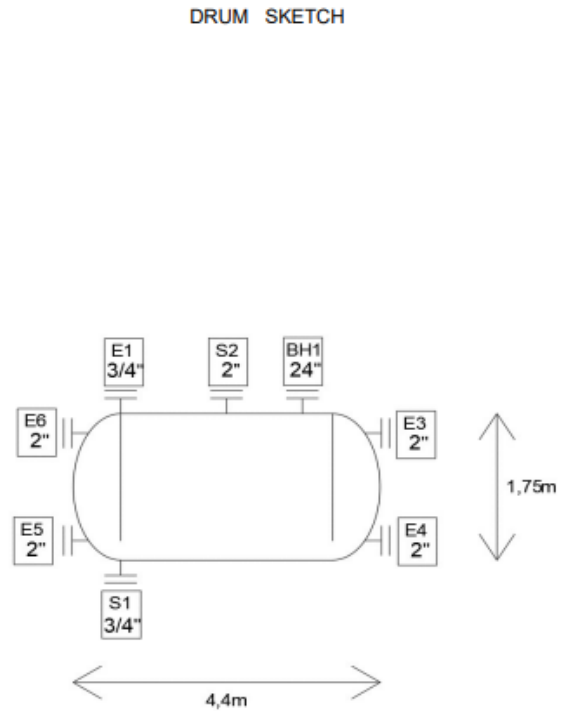
Paràmetre	Valor
Volum (m ³)	10,42
Diàmetre (m)	1,75
Longitud (m)	4,4

Un cop dissenyada l'acumulador, es fa el disseny mecànic de l'acumulador amb els paràmetres de la taula 4.55 seguint els càlculs de l'annex A.4.

Taula 4.56. Resultats disseny mecànic del A-201.

Paràmetre	Valor
Pressió de disseny (barg)	1,5
Temperatura de disseny (°C)	70,0
Gruix cap i Fons (mm)	5,2
Gruix cilindre (mm)	5,2
Pes acumulador ple d'aigua (kg)	4210
Pes acumulador buit (kg)	1564

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item: A-201				
3		Description: Acumulador de reflux de la columna C-201			Position: ☒ Horiz. ☐ Vertical	
4	OPERATING	Product:				
5		Operating Pressure (eff.)			1,5 barg	
6		Operating Temperature			49 °C	
7		Liquid Density			763 kg/m³	
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)			2,5 barg	
9		Design Temperature			69 °C	
10		Hydrostatic Test (eff.)			3,6 barg	
11		Corr. Allow. Shell / Heads			2,5 mm	
12		Joint Eff. Shell / Heads				
13		Code: ASME VIII Div I				
14		Radiograph:			☒ Yes ☐ No	
15		Stress Relieve:			☒ Yes ☐ No	
16		Seismic:			☒ Yes ☐ No	
17		Wind Load:			130 km/h	
18		Hydrostatic Test (eff.)			barg	
19	MATERIALS	Thickness			Mat'l Class	
20		Shell			5,2 mm SS316L	
21		Heads			5,2 mm SS316L	
22		Lining			5,2 mm SS316L	
23		Nozzle Necks				
24		Flanges				
25	CONSTRUCTION	Dia.			L / H	
26		Shell			1,75m SS316L	
27		Heads			1,75m SS316L	
28		Insulation:			☒ Yes ☐ No	
29		Fireproofing:			☐ Yes ☒ No	
30		Sandblast:			☒ Yes ☐ No	
31		Paint:			☒ Yes ☐ No	
32		Wt. Empty:			1564 kg	
33		Wt. Full Water:			4210 kg	
34	N	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating
35	O	Entrada procés	E1	1	3/4	150#
36	Z	Purga inconsensables	S2	1	2	150#
37	L	Control de nivell	E3	1	2	150#
38	E	Control de nivell	E4	1	2	150#
39		Sortida procés	S1	1	3/4	150#
40		Indicador de nivell	E5	1	2	150#
41	S	Indicador de nivell	E6	1	2	150#
42	C	Boca d'home	BH1	1	24	150#
43	H					
44	E					
45	D					
46	U					
47	L					
48	E					
49						
0 28/05/2021 Haokai.J Joel.L REV. DATE PREP. APPR.  UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química						



NOTES:

4.4.11. Bomba P-201A/B

La bomba P-201 impulsa el producte del cap de la columna cap al reflux i al final incinerador. El cabal està compost principalment d'acetaldehid amb una petita quantitat d'acetat de vinil, acroleïna i acetat de metil.

El disseny d'aquesta bomba es realitza a partir dels següents valors inicials, seguint la metodologia de l'annex A.5.

Taula 4.57. Paràmetres inicials per al disseny de la P-201.

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m ³ /h)	2,2
Densitat fluid (kg/m ³)	763,3
Viscositat (cP)	0,177
Diferència de pressió impulsio – aspiració (bar)	2,2
Diferència d'altura impulsio – aspiració (m)	12
Diàmetre canonada aspiració (mm)	63,5
Diàmetre canonada impulsio (mm)	31,8
Longitud canonada aspiració (m)	6
Longitud canonada impulsio (m)	16

El cabal a bombejar s'ha sobredimensionat un 20% per temes de flexibilitat d'operació.

Per al càlcul de la pèrdua de carrega menor s'han utilitzat els valor proporcionats pel tutor i s'han tingut en compte a l'hora de fer el disseny i escollir la bomba.

Aquest valors son els diferents obstacles que es va trobant el fluid durant la el trajecte fins a la bomba i que hi hagi una pèrdua de pressió. En el cas de P-201, s'ha dividit en tres trams diferents. Una en l'aspiració i dos en la impulsio. En la següent taula es pot observar els elements i les unitats instal·lades a l'aspiració i impulsio de la bomba.

Taula 4.58. Elements que provoquen una pèrdua de càrrega menor a la P-201.

Element	Unitats aspiració	Unitats impulsio	Unitats impulsio
		1	2
Colzes 90°	3	0	8
Colzes 45°	0	0	2
Vàlvula de bola	1	0	2
Reducció de 3" a 2,5"	1	0	0
Sortida	1	0	0
Vàlvula retenció	0	1	0
Vàlvula seient	0	1	0
Vàlvula comporta	0	0	2
Placa d'orifici	0	0	1

Ampliació de 1,25" a 1,5"	0	0	1
Reducció de 1,5" a 1"	0	0	1
Vàlvula control	0	0	1
T (angle) de 1½"	0	0	1
Entrada	0	0	1

Segons el llibre ref.24, es troba la longitud equivalent d'aquestes pèrdues menors on està tabulada. Amb el valor de la longitud equivalent es calcula la pèrdua de carrega d'aquestes.

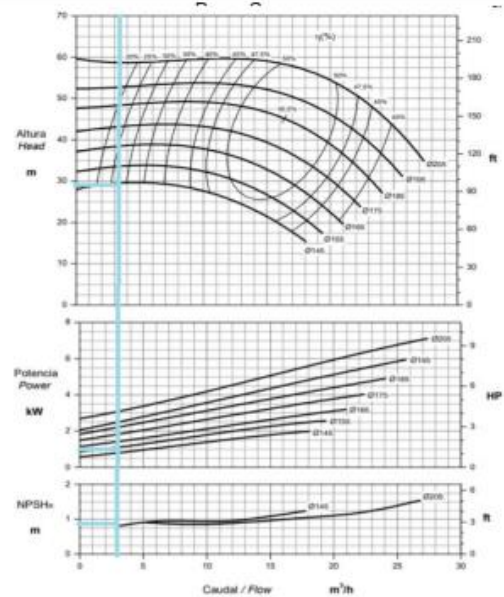
Finalment, calculades les diferents pèrdues de carrega, seguint l'annex A.5, es calcula l'altura requerida. A partir dels resultats obtinguts s'agafa una bomba al catàleg (ref.33) que sigui capaç de complir els requisits necessaris per al bon funcionament de la bomba. A la taula següent es mostra els paràmetres principals de la bomba seleccionada.

Taula 4.59. Paràmetres de la bomba P-201.

Paràmetre	Valor
Cabal màxim (m ³ /h)	8
H (m)	29
Rodet (mm)	145
Potència requerida (kW)	0,194
NPSH disponible (m)	2,6
NPSH requerit (m)	0,9
Eficiència (%)	27

La bomba P-201 és una bomba centrífuga amb un rodets completament obert que opera a una velocitat de 1450 rpm. Els requeriments de la P-201 no afavoreixen en la cerca de catàlegs, per tant, aquesta eficiència s'haurà de revisar a l'enginyeria de detall. En la següent fulla d'especificació es mostren les propietats de la bomba.

1	Nº OF PUMPS	RUN: 1 SPARE: 1
2	SERVICE	Reflux columna C-201
3		
4		
5	FLUID PUMPED	Process fluid
6	OPER. TEMP	48,97 °C
7	DENSITY	757,6 kg/m ³
8	VISCOSITY	0,177 cP
9	VAPOR PRESS.	2,456 bar
10	NORM. CAPACITY	2,2 m ³ /h
11	MAX. CAPACITY	8 m ³ /h
12		
13	SUCTION CONDITIONS	
14	TOTAL SUCT. PR.,	1,5 barg
15	NPSH (m.w.c.)	0,9 m
16		
17	DISCHARGE CONDITIONS	
19	TOTAL DISCH. PR.,	3,7 barg
20	DIFF. PRESSURE	2,2 bar
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	29 m
22	PUMP REQUIREMENTS	
23	TYPE PUMP	Centrifuga
24	ESTIMATED EFF.	20 %
25	ESTIMATED Rot. freq	1450 min ⁻¹
26	ESTIMATED Power	0,2 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	Espec. Fabricant
34	IMPELLER	Espec. Fabricant
35	SHAFT	Espec. Fabricant
36	SHAFT SLEEVE	Espec. Fabricant
37	SEAL/PACKING	Espec. Fabricant
38	PISTON	Espec. Fabricant
39		
40	Nozzles	Mark Nº Dia. Rating
41	Suction	P1 1 2,5" 150#
42	Discharge	P2 1 1,25" 150#
43		
44		
45	0	27/05/2021 Haokai.J Joel.L
46	REV.	DATE PREP. APPR.
47		



Gen.Arr.Drawin



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

4.4.12. Columna de destil·lació C-301

La columna C-301 s'utilitza principalment per a recuperar l'acetat de vinil monòmer i separar-lo de l'àcid acètic que surt per fons de columna. És l'equip principal de la unitat de recuperació d'acetat de vinil i ha estat dissenyada íntegrament mitjançant el programari *Aspen HysysTM v10* mencionat anteriorment en l'apartat de simulació.

Es va calcular inicialment el nombre de plats necessaris per a que es doni la separació desitjada amb la metodologia FUEM. (Annex A.1) (ref.24)

A continuació, amb les dades del balanç de matèria i el nombre de plats es procedeix al dimensionament de la columna. En la taula 4.60 es mostren les dimensions d'aquesta.

Taula 4.60. Dimensionament C-301.

Dimensionament	Valor (m)
Alçada (sense faldó)	11
Diàmetre	1,2

4.4.12.1 Disseny dels plats

Per aquesta columna s'ha realitzat un estudi de les diferents possibilitats a l'hora d'escollir plats o rebliment. Tot i que en les columnes de rebliment la caiguda de pressió és inferior a les dels plats, s'ha escollit l'opció de plats principalment pel diàmetre de la columna. Una columna de rebliment amb un diàmetre gran pot patir greus problemes de distribució del fluid. També cal dir que en les columnes de plats és més senzilla la incorporació d'equips auxiliars com *reboilers* condensadors, extraccions laterals, etc.

Un cop ja s'ha escollit el tipus de columna, es realitza un estudi del tipus de plat a emprar per a tenir la millor eficiència.

En aquest cas s'ha contemplat l'opció d'utilitzar plats perforats abans que plats de vàlvula ja que son mes simples i econòmics i treballen millor amb cabals més alts.

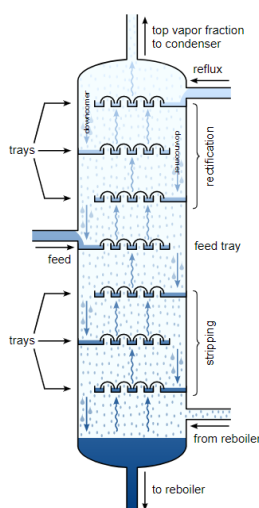


Figura 4.4. Funcionament de plats perforats.(ref.39)

Per a realitzar el disseny, es va dividir la columna en dos seccions (rectificació i esgotament) i es va decidir el plat d'alimentació. En aquest cas el plat d'alimentació pot ser variable entre el 4 i el 6 però principalment s'utilitzarà el plat 4.

Un cop tenim tota aquesta informació, amb els valors introduïts l'*Aspen Hysys*TM v10, s'obtenen els resultats següents:

Taula 4.61. Resultats del disseny dels plats de la C-301.

Paràmetres	Valor
Separació entre plats (mm)	400
Diàmetre dels forats (mm)	8
Caiguda de pressió (mbar)	25,6
Inundació del plat (%)	55,4
Àrea baixants (m ²)	0,08
Àrea activa (m ²)	0,98

4.4.12.2 Disseny mecànic

Per al disseny mecànic de la columna es tenen en compte els següents valors.

Taula 4.62. Valors inicials per al disseny mecànic de la C-301.

Paràmetres	Valor
Alçada columna (m)	11
Diàmetre (m)	1,2
Densitat líquid (kg/m ³)	858,3
Pressió de disseny (barg)	2,1
Material	SS316L
Densitat material (kg/m ³)	7930
Màxim estrès permès, S (MPa)	115

Seguint els passos del annex A.4 del disseny mecànic d'equips a pressió s'obtenen els següents valors. (ref.16)

Taula 4.63. Resultats disseny mecànic de la C-301.

Paràmetres	Valor
Gruix cilindre (mm)	10
Gruix capçals (mm)	10
Pes columna buida (kg)	1784,52
Pes columna plena (kg)	12462,38
Pressió test hidràulic (barg)	3
Temperatura de disseny (°C)	97,8

Finalment, es mostra el full d'especificació de la columna amb les seves característiques i el seu esquema.

1	GENERAL	Manufacturer:														
2		Item:	C-301													
3		Service:	Columna recuperadora VAM													
4		Type:	Plats perforats													
5	OPER. CONDIT.	Product	VAM - H2O - A.Acètic		TOWER SKETCH											
6		Temper.	77,78 °C													
7		Pressure	0,18 barg													
8		Liquid Density	857,2 kg/m ³													
9		Liquid Viscosity	0,2583 cP													
10		Tray Number (Bottom Tray=No.1)	10													
11		Tower Inside Diameter	1200 mm.													
12		Tray Spacing	400 mm.													
13		Max. ΔP per Tray	0,007 kg/cm ²													
14		Downcomer	25 mm.													
15	Valves, Bubble Caps / Tray	0														
16	Perforations / Tray	195														
17																
18	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	2,1 barg													
19		Des.Temp.	97,78 °C													
20		Liquid Density	858,3 kg/m ³													
21		Design Range														
22		Hydr.Test	3 barg													
23		Code:	ASME Secció VIII Div 1													
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads	2,5 / 2,5 mm.													
25		Joint Efficiency:	100 %													
26		Stress.Rel.:	X	Yes	No											
27		Radiograph:	X	Yes	No											
28		Sandblast:		Yes	X	No										
29		Paint:	X	Yes	No											
30		Insulation:	X	Yes	No											
31		Fireproofing:	X	Yes	No											
32		Wind Load:	130 km/h													
33	Seismic:		Yes	X	No											
34	Wt.Empty:	1784,52 kg														
35	Wt.Full Water:	12462,38 kg														
36	T N T A R E A Y R S N A L & S	Tray No.	Diam. (mm)	Spacing	Material											
37		Thru 1 to 5	1,2	0,4m	SS316L											
38		Thru 6 to 10	1,2	0,4m	SS316L											
39		Thru to														
40		Thru to														
41		Contact Device:														
42			Bubble Caps 0													
43			Valves 0													
44			Perfor. 1944 Sieve													
45		Packing:	0													
46	Demister:	0														
47	M A T E R I A L	Shell-Top	Thick. (mm.)	Mat'l Class												
48		Intermed	10	SS316L												
49		Bottom	10	SS316L												
50																
51		Head-Top														
52		Intermed	10	SS316L												
53		Bottom	10	SS316L												
54																
55		Cone Section														
56																
57	N O O Z Z L E	Cladding, Lining														
58		Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating					
59		Entrada alimentació	E1	1	2"	150 #	Transmissor de Pressió	P1	1	2"	150 #					
60		Entrada alimentació	E2	1	2"	150 #	Indicador Pressió	P2	1	2"	150 #					
61		Entrada reflux reboiler	E3	1	14"	150 #	Indicador Pressió	P3	1	2"	150 #					
62		Sortida fons columna	S1	1	2"	150 #	Transmissor de nivell	L1	1	2"	150 #					
63		Sortida cap columna	S2	1	14"	150 #	Indicador de nivell	L2	1	2"	150 #					
64		Sortida fons cap a R-301	S3	1	12"	150 #	Entrada reflux	ER	1	1 1/2"	150 #					
65		Sortida PSV1	S4	1	6"	150 #	Entrada auxiliar	EA	1	2"	150 #					
66		Indicador de Temperatura	T1	1	2"	150 #										
67	Transmissor de Temperatura	T2	1	2"	150 #											
68	Boca hombre 1	BH1	1	24"	150 #											
69	Boca hombre 2	BH2	1	24"	150 #											
70																
71																
72	NOTES:															
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79	0	12/5/21	Manel A.	Haokai J.	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química											
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.												
81																

4.4.13. Reboiler R-301

El *reboiler* R-301 és el que s'ha utilitzat per vaporitzar la quantitat desitjada de vapor per al correcte funcionament de la columna C-301. S'ha escollit un *reboiler* termosifó vertical per raons econòmiques. S'ha dissenyat mitjançant el simulador *Aspen EDRTM v10* on s'han introduït les següents dades prèviament obtingudes amb el disseny de la columna.

Per a la taxa de recirculació en el *reboiler* s'ha fet una aproximació del càlcul de la hidrodinàmica i s'ha suposat que per cada 10 kg de líquid se'n vaporitzen al voltant de 1 kg. (ref.1)

Taula 4.64. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del R-301.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	77,19
Pressió entrada procés (barg)	0,18
Cabal entrada procés (kg/h)	132977
Temperatura entrada vapor (°C)	159,9
Pressió entrada vapor (barg)	5
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0002
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	2500
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	1
Nombre de passos per carcassa	1

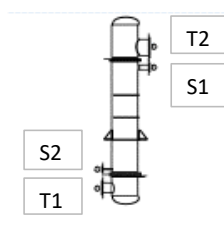
Un cop introduïts els valors, s'han obtingut els resultats del disseny del *reboiler*.

Taula 4.65. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del R-301.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	1005020
Àrea (m^2)	37,7
U ($\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	664,5
Nombre de tubs	198
Cabal procés evaporat (kg/h)	11288
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,2
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,1
Cabal d'entrada de vapor (kg/h)	1942

A continuació es mostra el full d'especificacions del reboiler R-301.

1	ITEM No.: R-301				
2	Service: Reboiler columna C-301				
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Vertical	Total surface / unit:	37,7 (m ²)	
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side	Tube side	
7			Inlet	Outlet	
8	Fluid name	Steam		Fluid de procés	
9	Fluid total flow	kg/h	1942	132977	
10	Vapour	kg/h	1942	0	
11	Liquid	kg/h	0	132977	
12	Steam	kg/h	1942	0	
13	Water	kg/h	0	132977	
14	Temperature	°C	159,92	158,89	
15	Density (L/V)	kg/m ³	3,07/851,03	852,95	
16	Viscosity (L/V)	cP	0,015/0,167	0,1689	
17	Vapour molecular weight		18,02		
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,4747/1,15	1,153	
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,026/0,588	0,589	
20	Latent heat	kcal/kg	516,82	516,82	
21	Inlet pressure	barg	5,9	1,2	
22	Velocity (Mean / Max)	m/s	2,83	8,13	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,20265	0,03697	
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0002	0,0006	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	1005020		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 664,5	Clean: 1690,9		
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure barg	8,8	6,9		
30	Design temperature °C	200	150		
31	No. of passes	1	1		
32	Stress relief	No	No		
33	Radiograph.	1	1		
34	Corrosion allowance mm	0	0		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.(in)	Rating
36		Entrada steam	S1	6	150 #
37		Sortida condensat	S2	1	150 #
38		Sortida procés	T2	14	150 #
39		Entrada procés	T1	12	150 #
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	508	9,52	SS316L	
48	Channel:			SS316L	
49	Tubesheets:			SS316L	
50	Baffles: n° / mat.	3		SS316L	
51	Baffles spacing:	495,3 mm.			
52					
53	Tubes:				
54	N°	198			
55	OD	25 mm.			
56	BWG:	2			
57	Length	2500 mm.			
58	Pitch:	Triangular	32	△	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0		12/5/21	Manel A.	Haokai J.	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	





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

4.4.14. Bescanviador E-301

El bescanviador E-301 està situat a la sortida de producte per cap de columna i és el que condensa el producte que surt en fase gas. Aquest bescanviador sols canvia la fase del producte, que passa de gas a líquid, però el manté aproximadament a la temperatura de cap de columna. És de tipus BEM, en posició horitzontal i utilitza aigua de refrigeració que passa per tubs a 38 °C per condensar el producte.

A sigut dissenyat a partir de l'*Aspen EDRTM v10*. A continuació es mostren els valors introduïts al simulador.

Taula 4.66. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v10* per al disseny del E-301.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	75,5
Pressió entrada procés (barg)	0,11
Cabal entrada procés (kg/h)	11511
Temperatura entrada aigua refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua refrigeració (°C)	38
Pressió entrada vapor (barg)	6
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Seguint el procediment del programari s'obtenen els valors del disseny del bescanviador que es mostren a continuació juntament amb el full d'especificació pertinent.

Taula 4.67. Paràmetres obtinguts amb l'Aspen EDRTM v10 per al disseny del E-301.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	1006254
Àrea (m ²)	62,4
U (kcal/m ² ·h·°C)	505,5
Nombre de tubs	161
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,04
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,35
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	93221

Aquest bescanviador té la particularitat de que té una sortida cap a la torxa, que és utilitzada per controlar la pressió de la columna C-301.

1	ITEM No.: E-301					
2	Service: Condensar producte de cap de columna C-301					
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal		Total surface / unit: 62,4 (m ²)		
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Fluid de procés		Aigua de refrigeració	
9	Fluid total flow	kg/h	11511		93221	
10	Vapour	kg/h	11511	0	0	0
11	Liquid	kg/h	0	11511	93221	93221
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	93221	93221
14	Temperature	°C	75,5	74,07	28	38
15	Density (L/V)	kg/m ³	3,43	860,5	991,15	981,48
16	Viscosity (L/V)	cP	0,0093	0,2625	0,8554	0,6909
17	Vapour molecular weight		86,01			
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,3128	0,4548	1,0803	1,0798
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,013	0,115	0,526	0,537
20	Latent heat	kcal/kg	86,87	86,93		
21	Inlet pressure	barg	1,12		7,1	
22	Velocity (Mean / Max)	m/s	3,28	18,07	0,94	0,95
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,041	0,037	0,362	0,113
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0004		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	1006254			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 505,5		Clean: 906,7	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure barg	3,5	8,3			
30	Design temperature °C	110	100			
31	No. of passes	1	2			
32	Stress relief					
33	Radiograph.					
34	Corrosion allowance mm					
35	Service	Mark	Dia.(in)	Rating		
36	Entrada procés	S1	14	150 #		
37	Sortida procés	S2	4	150 #		
38	Sortida aigua	T2	6	150 #		
39	Entrada aigua	T1	6	150 #		
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS				SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.		
47	Shell:	508	9,52	SS316L		
48	Channel:			SS316L		
49	Tubesheets:			SS316L		
50	Baffles: n° / mat.	5		SS316L		
51	Baffles spacing:	667 mm.				
52						
53	Tubes:					
54	N°	161				
55	OD	25 mm				
56	BWG:	2				
57	Length	5000 mm.				
58	Pitch:	Triangular 32 △				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0		12/5/21	Manel A.	Joel L.		
REV.		DATE	PREP.	APPR.		

4.4.15. Bescanviador E-302

Aquest bescanviador rep el corrent de procés des de l'acumulador A-301 i es dirigeix cap al final de producció d'acetat de vinil pur. Al contrari del bescanviador E-302, l'objectiu d'aquest és refredar el fluid de procés fins als 40 °C sense cap canvi de fase.

A continuació es mostren les dades inicials per al disseny d'aquest.

Taula 4.68. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDR™* v10 per al disseny del E-302.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	70
Pressió entrada procés (barg)	4,5
Cabal entrada procés (kg/h)	9600
Temperatura entrada aigua refrigeració (°C)	28
Temperatura sortida aigua refrigeració (°C)	38
Pressió entrada vapor (barg)	6
Fouling carcassa ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$)	0,0004
Fouling tubs ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$)	0,0004
Longitud tubs (mm)	5000
Diàmetre tubs (mm)	25
Patró dels tubs	30 triangular rotat
Pitch (mm)	32
Nombre de passos per tubs	8
Nombre de passos per carcassa	1

A partir d'aquestes dades es va realitzar el disseny rigorós mitjançant el programari d'*Aspen EDR*. A continuació es mostren els resultats:

Taula 4.69. Paràmetres obtinguts amb l' *Aspen EDR™* v10 per al disseny del E-302.

Paràmetre	Valor
Calor bescanviada (kcal/h)	125826
Àrea (m^2)	41,4
U ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	345
Nombre de tubs	107
Caiguda de pressió carcassa (bar)	0,2
Caiguda de pressió tubs (bar)	0,3
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	11657

1	ITEM No.: E-302			
2	Service: Refredar producte de cap de columna C-301			
3	Type: Carcassa i tubs	Position: Horizontal	Total surface / unit: 41,4	(m ²)
4	No. Shell: 1			
5	PERFORMANCE OF UNIT			
6			Shell side	Tube side
7			Inlet	Outlet
8	Fluid name		Fluid de procés	
9	Fluid total flow	kg/h	9600	
10	Vapour	kg/h	0	0
11	Liquid	kg/h	9600	9600
12	Steam	kg/h	0	0
13	Water	kg/h	0	0
14	Temperature	°C	70	40
15	Density (L/V)	kg/m ³	866,34	907,72
16	Viscosity (L/V)	cP	0,2705	0,3484
17	Vapour molecular weight			
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,4503	0,4237
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,116	0,125
20	Latent heat	kcal/kg		
21	Inlet pressure	barg	5,57	7,1
22	Velocity (Mean / Max)	m/s	0,12	0,14
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,207	0,028
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,0004	0,0004
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	125826	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 345	Clean: 494,3	
27	CONSTRUCTION PER SHELL			
28	Codes:	Shell side	Tube side	
29	Design pressure barg	6,2	8,3	
30	Design temperature °C	110	100	
31	No. of passes	1	8	
32	Stress relief	No	No	
33	Radiograph.	1	1	
34	Corrosion allowance mm	0	0	
35		Service	Mark	Dia. (in)
36	Nozzles	Entrada procés	S1	2
37		Sortida procés	S2	2
38		Sortida aigua	T2	1 ½
39		Entrada aigua	T1	1 ½
40				
41				
42				
43				
44				
45	MATERIALS			
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.
47	Shell:	419	9,52	SS316L
48	Channel:			SS316L
49	Tubesheets:			SS316L
50	Baffles: n° / mat.	36		SS316L
51	Baffles spacing:	133 mm.		
52				
53	Tubes:			
54	N°	107		
55	OD	25 mm		
56	BWG:	2		
57	Length	5000 mm.		
58	Pitch:	Triangular	32	△
59				
60				
61				
62				
63				
64	NOTES:			
65				
66				
67				
0	12/5/21	Manel A.	Joel L.	
REV.	DATE	PREP.	APPR.	





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

4.4.16. Acumulador A-301

L'acumulador A-301 rep el corrent de cap de columna condensat amb el bescanviador E-301. Aquest acumulador fa la funció de depòsit del producte de cap de columna que no es dirigeix a la torxa. Posteriorment, la mescla que està a l'acumulador serà impulsada amb la bomba P-302 cap al reflux i cap al final de producció.

Es sobredimensiona l'acumulador per un cabal un 20% superior al real. Tot i tenir el volum sobredimensionat no s'emplenarà mai del tot. S'ha establert un factor d'emplenament del 70%.

Per al disseny d'aquest acumulador s'ha utilitzat com a referència de càlcul els documents de *Técnicas Reunidas S.A.* (ref.25)

A continuació es mostren les dades inicials utilitzades per al disseny.

Taula 4.70. Paràmetres inicials per al disseny del A-301

Paràmetre	Valor
Cabal (m ³ /min)	0,224
Temps d'emplenat (min)	10
Factor d'emplenament	0,7
Relació L/D	1,8

Un cop es tenen els valors inicials, seguint el procediment del annex A.3, s'obtenen els resultats següents:

Taula 4.71. Resultats disseny del A-301

Paràmetre	Valor
Volum (m ³)	6,27
Diàmetre (m)	1,64
Longitud (m)	2,96

Amb la seva geometria i sabent el material que s'utilitzarà per la construcció (SS316L), obtenim els resultats del disseny mecànic del acumulador seguint els càlculs del annex A.4.

Taula 4.72. Resultats disseny mecànic del A-301

Paràmetre	Valor
Pressió de disseny (barg)	2,1
Temperatura de disseny (°C)	94,1
Gruix cap i Fons (mm)	4,02
Gruix cilindre (mm)	4,18
Pes acumulador ple d'aigua (kg)	5760,4
Pes acumulador buit (kg)	393,7

Finalment, es mostra el full d'especificació del A-301.

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item: A-301				
3		Description: Acumulador de reflux de la C-301	Position:	☒ Horiz.	☐ Vertical	
4	OPERATING	Product:				
5		Operating Pressure (eff.)	0,18	barg		
6		Operating Temperature	74,07	°C		
7	OPERATING	Liquid Density	858,3	kg/m ³		
8		Design Pressure (eff.)	2,1	barg		
9		Design Temperature	94,10	°C		
10	DESIGN DATA	Hydrostatic Test (eff.)	2,1	barg		
11		Corr. Allow. Shell / Heads	1	mm		
12		Joint Eff. Shell / Heads	1			
13		Code:	ASME Secció VIII Div 1			
14		Radiograph:	1			
15		Stress Relieve:	☐ Yes	☐ No		
16	DESIGN DATA	Seismic:				
17		Wind Load:	-	N/m ²		
18		Hydrostatic Test (eff.)	3	barg		
19	MATERIALS	Thickness	Mat'l Class			
20		Shell	4,18 mm	SS316L		
21		Heads	4,02 mm	SS316L		
22		Lining	- mm	SS316L		
23	MATERIALS	Nozzle Necks				
24		Flanges				
25	CONSTRUCTION	Dia.	L / H	Material		
26		Shell	1,64	SS316L		
27		Heads	1,64	SS316L		
28		Insulation:	☒ Yes	☐ No		
29		Fireproofing:	☒ Yes	☐ No		
30		Sandblast:	☒ Yes	☐ No		
31	CONSTRUCTION	Paint:	☒ Yes	☐ No		
32		Wt. Empty:	858,3	kg		
33		Wt. Full Water:	5760	kg		
34	NOZZLE SCHEDULE	Service	Mark	Nº	Size	Rating
35		Entrada fluid	E1	4"	150 #	
36		Sortida fluid	S1	4"	150 #	
37		Transmissor nivell	L1	2"	150 #	
38		Entrada auxiliar	EA	2"	150 #	
39		Boca de hombre	BH	24"	150 #	
40	NOZZLE SCHEDULE					
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
NOTES:						
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
0	12/5/21	Manel A.	Haokai J.			
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

4.4.17. Bomba P-301 A/B

Aquesta bomba impulsa el corrent de sortida per fons de columna fins la columna azeotròpica. El cabal d'aquesta està compost principalment d'acetat de vinil mesclat amb àcid acètic i algunes restes d'hidroquinona. Aquesta columna no ha sigut dissenyada íntegrament ja que quedava fora de l'abast del projecte.

4.4.18. Bomba P-302 A/B

La bomba P-302 impulsa el producte de cap de columna cap al reflux i cap al final de producció. El cabal està compost de acetat de vinil principalment amb una petita part d'aigua, acetat d'etil, acetat de metil, acetaldehid, i àcid acètic.

El disseny d'aquesta es realitza a partir dels següents valors inicials, seguint els passos indicats en l'annex A.5.

Taula 4.73. Paràmetres inicials per al disseny de la P-302.

Paràmetre	Valor
Cabal a bombejar (m ³ /h)	16,1
Densitat fluid (kg/m ³)	858,3
Viscositat (cP)	0,26
Diferència de pressió impulsió – aspiració (bar)	2,4
Diferència d'altura impulsió – aspiració (m)	17
Diàmetre canonada aspiració (mm)	100
Diàmetre canonada impulsió (mm)	25
Longitud canonada aspiració (m)	5
Longitud canonada impulsió (m)	31

El cabal tingut en compte per als càlculs s'ha sobredimensionat un 20% per raons de seguretat i flexibilitat d'operació.

Per al càlcul de la pèrdua de càrrega menor s'han utilitzat els valors proporcionats pel tutor i s'han tingut en compte a l'hora de fer el disseny i escollir la bomba.

Aquests valors son els diferents obstacles que es va trobant el fluid a través de la canonada i que fan que hi hagi una pèrdua de pressió. En aquest cas, s'ha dividit la impulsió en dos trams diferents; de la sortida de la bomba fins la T, i des d'aquesta fins la columna C-301.

En la següent taula s'observen els elements i les unitats instal·lades en l'aspiració i la impulsió.

Taula 4.74. Elements que provoquen una pèrdua de càrrega menor a la P-302.

Element	Unitats aspiració	Unitats impulsió 1	Unitats impulsió 2
Colzes 90°	3	0	4
Vàlvula comporta	1	0	2

Reducció de 4" a 2"	1	0	0
Sortida	1	0	0
Ampliació de 1" a 2"	0	1	0
Vàlvula retenció	0	1	0
Vàlvula <i>asiento</i>	0	1	0
Ampliació de 1" a 1 ½"	0	0	1
Vàlvula control	0	0	1
Reducció de 1½" a 1"	0	0	1
T (angle) de 1½"	0	0	1
Entrada	0	0	1

Finalment, un cop calculades les diferents pèrdues de carrega, seguint l'annex A.5, es calcula l'altura requerida. A partir dels resultats obtinguts, s'escull una bomba que sigui capaç de complir els requisits necessaris per al correcte funcionament.

En la següent taula es mostren els resultats obtinguts i seguidament es mostra el full d'especificació de la bomba seleccionada amb les característiques principals i les seves corbes característiques.

Taula 4.75. Paràmetres de la bomba seleccionada.

Paràmetre	Valor
Cabal màxim (m ³ /h)	42
H (m)	28
Rodet (mm)	285
Potència requerida (kW)	2,72
NPSH disponible (m)	1,27
NPSH requerit (m)	1,18
Eficiència (%)	42

S'ha utilitzat un catàleg de l'empresa *Flowserve* per a la cerca de la bomba necessària. (ref.32)

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	RUN: 1	SPARE: 1
2	SERVICE	Reflux Columnna C-301	
3	ITEM	1	
4			
5	FLUID PUMPED	Acetat de vinil-Aigua	
6	OPER. TEMP	74,07	°C
7	DENSITY	858,3	kg/m3
8	VISCOSITY	0,26	cP
9	VAPOR PRESS.	1,059	bara
10	NORM. CAPACITY	16,1	m3/h
11	MAX. CAPACITY	42	m3/h
12			
13	SUCTION CONDITIONS		
14	TOTAL SUCT. PR.,	0,1	barg
15	NPSH (m.w.c.)	1,27	m
16			
17	DISCHARGE CONDITIONS		
19	TOTAL DISCH. PR.,	2,5	barg
20	DIFF. PRESSURE	2,4	bar
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	28	m
22	PUMP REQUIREMENTS		
23	TYPE PUMP	Centrífuga	
24	ESTIMATED EFF.	42	%
25	ESTIMATED Rot. freq.	1450	min-1
26	ESTIMATED Power	2,9	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	Espec. Fabricant	
34	IMPELLER	Espec. Fabricant	
35	SHAFT	Espec. Fabricant	
36	SHAFT SLEEVE	Espec. Fabricant	
37	SEAL/PACKING	Espec. Fabricant	
38	PISTON	Espec. Fabricant	
39			
40	Nozzles	Mark	Nº
41	Suction	P1	1
42	Discharge	P2	1
43			
44			
45	0	18/5/2021	Manel A
46	REV.	DATE	PREP.
47			APPR.

Pump Curve

Gen. Arr. Drawin

Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
Suction	P1	1	4"	150#
Discharge	P2	1	1"	150#

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

4.5. Disseny cimentacions columnes

En aquest apartat es fa l'estudi del disseny de la sabata de les tres columnes de destil·lació de cada unitat de procés. Aquest disseny es basa principalment amb les dimensions d'aquesta i els diversos factors tinguts en compte. En les tres cimentacions s'ha escollit el tipus sabata ja que és econòmicament viable i a més s'adapta al tipus de terreny en qual es troben les diferents unitats de procés. Les cimentacions tindran una base octogonal.

Cal esmentar que la capacitat de la càrrega del sòl màxima a l'àrea de Tarragona és de 2 kg/cm², per tant la càrrega total obtinguda no podrà superar aquest valor.

El disseny de la cimentació s'ha realitzat seguint la metodologia de l'annex A.6 i (ref.20).

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

Per tal de dissenyar la cimentació de la columna C-101 s'han utilitzat inicialment els paràmetres que es mostren a la taula 4.76.

Taula 4.76. Valors inicials utilitzats per al disseny octogonal a la C-101.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de la columna (m)	0,36
Alçada de la columna (m)	9,23
Alçada faldó columna (m)	1,5
Massa columna buida (kg)	315
Massa fluid columna (kg)	1024
Línia congelació sòl (m)	0,8
Densitat del formigó (kg/m ³)	2400
Densitat del sòl (kg/m ³)	1600
Alçada total de la cimentació (m)	1,2
Diàmetre menor base cimentació (m)	2,5
Diàmetre menor pedestal (m)	1,6
Gruix columna (mm)	10
Capacitat de la càrrega del sòl (kg/cm ²)	2
Velocitat del vent (km/h)	130

Finalment, en la taula 4.77 es mostren els resultats obtinguts seguint el procediment de l'annex A.6.

Taula 4.77. Resultats obtinguts de les carregues de la columna C-101.

Paràmetre	Valor (kg/cm ²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s_1)	0,34
Càrrega deguda a la força exercida pel vent (s_2)	0,13
Càrrega total (s_t)	0,47

Com la càrrega total obtinguda no supera a la capacitat de càrrega del sòl, es pot considerar que el disseny de la sabata de cimentació per a la C-101 és estable.

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

En la següent taula 4.78 es mostren els paràmetres inicials utilitzats per al disseny de la sabata de la columna C-101.

Taula 4.78. Valors inicials utilitzats per al disseny octogonal a la C-201.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de la columna (m)	0,65
Alçada de la columna (m)	14
Alçada faldó columna (m)	2
Massa columna buida (kg)	1721
Massa fluid columna (kg)	4153
Línia congelació sòl (m)	0,8
Densitat del formigó (kg/m ³)	2400
Densitat del sòl (kg/m ³)	1600
Alçada total de la cimentació (m)	1,5
Diàmetre menor base cimentació (m)	3
Diàmetre menor pedestal (m)	1,25
Gruix columna (mm)	7
Capacitat de la càrrega del sòl (kg/cm ²)	2
Velocitat del vent (km/h)	130

Finalment, en la taula 4.79 es mostren els resultats obtinguts seguint el procediment del annex A.6.

Taula 4.79. Resultats obtinguts de les carregues de la columna C-201.

Paràmetre	Valor (kg/cm ²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s_1)	0,31
Càrrega deguda a la força exercida pel vent (s_2)	0,29
Càrrega total (s_t)	0,60

Com la càrrega total obtinguda no supera a la capacitat de càrrega del sòl, es pot considerar que el disseny de la sabata de cimentació per a la C-201 és estable.

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

En la taula 4.80 s'observen els paràmetres inicials utilitzats per al disseny de la cimentació octogonal de la columna C-301.

Taula 4.80. Valors inicials utilitzats per al disseny octogonal a la C-301.

Paràmetre	Valor
Diàmetre de la columna (m)	1,2
Alçada de la columna (m)	11
Alçada faldó columna (m)	4
Massa columna buida (kg)	1784,52
Massa fluid columna (kg)	10677,86
Línia congelació sòl (m)	0,8
Densitat del formigó (kg/m ³)	2400
Densitat del sòl (kg/m ³)	1600
Alçada total de la cimentació (m)	1,2
Diàmetre menor base cimentació (m)	3,8
Diàmetre menor pedestal (m)	1,6
Gruix columna (mm)	10
Capacitat de la càrrega del sòl (kg/cm ²)	2
Velocitat del vent (km/h)	130

Finalment, en la taula 4.81 es mostren els resultats obtinguts seguint el procediment de l'annex A.6.

Taula 4.81. Resultats obtinguts de les carregues de la columna C-301.

Paràmetre	Valor (kg/cm ²)
Càrrega deguda al pes de la columna (s_1)	0,37
Càrrega deguda a la força exercida pel vent (s_2)	0,23
Càrrega total (s_t)	0,60

Com la càrrega total de la columna amb la cimentació dissenyada dona un valor inferior a la càrrega del sòl, es pot afirmar que la cimentació aguantarà la columna C-301 amb un vent de 130 km/h.

5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

5.1. Seguretat de Processos

En aquest apartat es realitza un estudi sobre la seguretat del procés i de la planta basat en les característiques de les instal·lacions del projecte per tal de garantir la seguretat dels equips i dels treballadors de la planta.

5.1.1. HazOp + mini LOPA

S'ha realitzat el HazOp + mini LOPA de les diferents unitats de procés analitzant diferents escenaris de risc i valorant-los.

A continuació es mostren els tres HazOp's de cadascuna de les tres unitats de procés.

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-1113. (Llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüències de seguretat.								Posar alarmar d'alt nivell a LT-1113.
Menys	Menys nivell a fons C-101	Fallada controlador de nivell LT-1113. (llegeix més nivell del real).	Cavitació de la bomba P-101. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Posar alarma de baix nivell al LT-1113.
No	Sense flux d'alimentació C-101	-Fallada en FT-1101. (Llegeix més cabal del real). -Falta d'alimentació.	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baix caudal a FT-1101.
	Sense flux pel fons de C-101	Fallada en LT-1113. (Llegeix més nivell del real).	La bomba P-101 treballa en <i>shut off</i> . Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C					Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.
	Sense flux pel cap de C-101	-Fallada en TT-1106. (Llegeix més temperatura de la real). -Falta del servei de vapor.	S'introdueix menys cabal de vapor al <i>reboiler</i> , per tant s'evapora menys quantitat i disminueix el cabal de vapor del destil·lat.								Posar alarma de baixa en temperatura a TT-1106.

	Sense flux de vapor al R-101.	-Fallada en TT-1106. (Llegeix més temperatura de la real). -Falta del servei de vapor.	Ídem no flux pel cap de C-101.							Posar alarma de baixa en temperatura a TT-1106.
	Sense flux d'aigua de refrigeració al E-102.	-Fallada en TT-1120. (Llegeix menys temperatura de la real): -Falta del servei d'aigua de refrigeració.	L'aigua de procés surt del E-102 a una temperatura superior a la desitjada.							Posar alarma d'alta temperatura a TT-1120.
Menys	Menys flux d'alimentació C-101	Fallada en FT-1101. (Llegeix més cabal del real).	Ídem no flux alimentació.							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1101.
	Menys flux pel fons de C-101.	Fallada en LT-1113. (Llegeix més nivell del real).	Ídem no flux pel fons de C-101.	2	-1	C				Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.
	Menys flux pel cap de C-101.	-Fallada en TT-1106. (Llegeix més temperatura de la real). -Falta del servei de vapor.	Ídem no flux pel cap de C-101.							Posar alarma de baixa en temperatura a TT-1106.
	Menys flux de vapor al R-101.	-Fallada en TT-1106. (Llegeix més	Ídem no flux pel cap de C-101.							Posar alarma de baixa en temperatura a TT-1106.

		temperatura de la real). -Falta del servei de vapor.								
	Menys flux d'aigua de refrigeració en E-102.	-Fallada en TT-1120. (Llegeix menys temperatura de la real): -Falta del servei d'aigua de refrigeració.	Ídem no flux d'aigua de refrigeració al E-102.							Posar alarma d'alta temperatura a TT-1120.
Més	Més flux d'alimentació	La vàlvula de control V-102 (FC-1102) queda totalment oberta.	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna C-101. Inundació i degoteig. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT-1101.
	Més flux pel fons de C-101.	La vàlvula de control V-131 (FC-1114) queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar la columna C-101. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.							Ficar alarma de baix nivell en LT-1113.
	Més flux pel cap de C-101.	La vàlvula de control V-138 (FC-1122) queda totalment oberta.	Disminueix la pressió en la columna C-101. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma de baixa pressió a PT-1105.

	Més flux de vapor al R-101.	La vàlvula de control V-112 (FC-1109) queda totalment oberta.	Augment de la quantitat evaporada d'aigua.. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-101.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-1.	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
	Més flux d'aigua de refrigeració al E-102.	-La vàlvula de control V-135 (FC-1121) queda totalment oberta. -Fallada TT-1120. (Llegeix més temperatura de la real.)	Disminució de la temperatura de sortida de l'aigua de procés. Sense conseqüències de seguretat.								Posar alarma de baixa temperatura al TT-1120.
Invers	Flux invers.	No aplica.									
Més	Més pressió en C-101	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna C-101. Ruptura catastròfica de la columna i possible explosió.	4	-2	B	Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-6	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada en FC-1109 i V-135 queda totalment oberta.	Ídem més flux de vapor al R-101.								

		Fallada bomba P-101	No bombeja el fluid pel fons de C-101. Augmenta el nivell i la pressió de C-101. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-101.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-1.	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada de PT-1105 i del llaç de control. (Llegeix menys pressió de la real)	Tanca la V-138. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-101.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-1.	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas
Menys	Menys pressió en C-101.	Fallada en llaç de control FC-1122. Vàlvula totalment oberta.	Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baixa pressió en PT-1105.
		Fallada en llaç de control FC-1109. Vàlvula V-112 totalment tancada.	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> R-101. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma de baixa temperatura en TT-1106.
Més	Més temperatura en C-101	Ruptura tubs del <i>reboiler</i> R-101	Ídem més pressió en C-101								
		Fallada en llaç de control FC-1109. Vàlvula V-112 totalment oberta.	Ídem més flux de vapor d'aigua a R-101.								
Menys	Menys temperatura en C-101	Fallada al llaç de control FC- 1122. Vàlvula V-141 totalment oberta.	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat.								

		Fallada al llaç de control FC-1109, V-112 tanca completament.	Ídem no menys flux de cabal de vapor al R-101.							
Un altra	Un altra composició en alimentació	Diferents composicions a la dissenyada a l'alimentació de la columna C-101	Sense conseqüència de seguretat.							
	Un altra fase en C-101.	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> R-101.	Ídem més pressió a C-101.							
	Un altra fase en flux pel fons de C-101.	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> R-101.	Ídem sense flux pel fons de columna..							
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió/erosió en C-101	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Programa de inspecció en vigor.	2	-2	C
		Erosió en tubs de R-101 pel xoc del vapor d'aigua.	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> R-101. Ídem més pressió a C-101							Posar placa protectora a l'entrada de vapor d'aigua del <i>reboiler</i> .
No	No <i>utilities</i>	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-101. Ídem més pressió a C-101.							

		Fallada l'aigua de refrigeració	L'aigua de procés no sortirà del E-102 a la temperatura desitjada. Sense conseqüències.								
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en R-101. Ídem menys pressió en C-101.								
		Fallada aire de instruments.	FC-1102 tanca ; FC-1104 tanca; FC-1122 tanca; FC-1109 tanca; FC-1118 obre; FC-1114 tanca; FC-1121 tanca;								

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons C-201	Fallada en llaç de control 2004 (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								-Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT2004.
	Més nivell a A-201	Fallada en llaç de control 2011 (llegeix menys nivell del real)	Possible inundació de A-201 i E-201. Si PT2006 no és capaç d'alleujar tot el producte, augmenta la pressió per sobre del disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió	4	-1	A	-S'obre la vàlvula de control V-264 (PT2006) -La vàlvula de seguretat PSV1 s'obrirà a 3barg	4	-5	C	-Dissenyar la PSV1 per aquest cas. -Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT2011.
Menys	Menys nivell a fons C-201	Fallada en llaç de control 2004 (llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació al <i>reboiler</i> disminueix on hi haurà més lleugers al fons, possible cavitació de P-202, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió	3	-1	B	-La temperatura al fons de la columna disminueix, en que el controlador TT2003 obrirà. -Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	-Ficar alarma de baix nivell al controlador LT2004.

	Menys nivell a A-201	Fallada en llaç de control 2011 (llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-201. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió	3	-1	B	-Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	-Ficar alarma de baix nivell al controlador LT2011.
No	Sense flux d'alimentació C-201	-Fallada en llaç de control 2001 -Falta d'alimentació	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT2001.
	Sense flux de reflux a C-201	Fallada en llaç de control 2019	Major temperatura en cap de la columna i producte fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT2019.
	Sense flux en incondensables de A-201	Fallada en llaç de control 2006	Augment de pressió en E-201. Possible ruptura catastròfica.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV-2	4	-5	C	Dissenyar PSV-2 per a aquest cas.
	Sense flux de destil·lat cap al incinerador	Fallada en llaç de control 2011	Ídem més nivell en A-201								
	Sense flux de rebuig cap a la columna de hidratació	Fallada en llaç de control 2004	La bomba P202 treballa en <i>shut off</i> . Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C					-Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.

Menys	Menys flux d'alimentació C-201	Fallada en llaç de control 2001	Ídem no flux d'alimentació C-201.							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT2001.
	Menys flux de reflux a C-201	Fallada en llaç de control 2019	Ídem no reflux a C-201.							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT2019.
	Menys flux en incondensables en A-201	Fallada en llaç de control 2006	Ídem no flux en incondensables en E-201.							Ficar alarma d'alta pressió en PT2006.
	Menys flux de destil·lat cap al incinerador	Fallada en llaç de control 2011	Ídem no flux de destil·lat cap al incinerador.							Ficar alarma de baix nivell en LT2011.
	Menys flux de rebuig cap a la columna de hidratació	Fallada en llaç de control 2004	Ídem no flux de rebuig cap a la columna de hidratació.							Ficar alarma de baix nivell en LT2011.
Més	Més flux d'alimentació	Llaç de control 2001 queda totalment oberta	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna C-201. Sense conseqüència de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT2001.
	Més flux de reflux a C-201	Llaç de control 2019 queda totalment oberta	Disminueix la temperatura en cap de la columna. Sense							Ficar alarma d'alt cabal en FT2019.

			conseqüència de seguretat.								
	Més flux en incondensables en A-201	Llaç de control 2006 queda oberta.	Disminució de la pressió de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baixa pressió a PT2006.
	Més flux de destil·lat cap al incinerador	Llaç de control 2011 queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar-se.								Ficar alarma de baix nivell en LT2011.
	Més flux de rebuig cap a la columna de hidratació	Llaç de control 2004 totalment oberta.	Possibilitat de buidar la columna C-201. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								
	Més flux de vapor d'aigua en E-203	Fallada en llaç de control 2003, la vàlvula de control queda totalment oberta.	Augment de la taxa de recirculació del <i>reboiler</i> amb possible inundació de la columna C-201.								Ficar alarma de temperatura alta en TT2003.
Més	Més pressió en C-201	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna. Ruptura catastròfica de la columna i A-201 amb possibilitat d'explosió.	4	-2	B	-Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-6	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.

		Fallada l'aigua de refrigeració en E-201	Augment de pressió per no condensació al condensador amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas
		Fallada de la bomba P-201	Ídem més nivell en A-201				-Vàlvula de seguretat PSV-1				Dissenyar PSV-1 per a aquest cas
		Ruptura tubs del <i>reboiler</i> E-203	Possibilitat d'augment de pressió depenent en la capacitat de condensació de E-203 i cabal màxim del llaç de control 2006. Possible ruptura catastròfica.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV-1 -Llaç de control 2006	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas
		Ruptura tubs condensador E-201	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-201 i A-201.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV-1 -Llaç de control 2006	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada en llaç de control 2019	Augment de pressió lleuger. Sense conseqüència de seguretat.								
		Falla en llaç de control 2006. Vàlvula tancada, sense sortida de incondensables.	Acumulació de incondensables amb pèrdua de capacitat de condensació i augment de pressió amb	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.

			possibilitat de ruptura catastròfica.							
Menys	Menys pressió en C-201	Fallada en llaç de control 2006. Vàlvula totalment oberta.	Sense conseqüència de seguretat.							Ficar alarma de baixa pressió en PT2006.
		Fallada en llaç de control 2003. Vàlvula totalment tancada.	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> E-203. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma de baix cabal en TT2003.
Més	Més temperatura n C-201 i A-201	Ruptura del <i>reboiler</i> E-203	Ídem més pressió en C- 201							Posar alarma de alta temperatura n TT2003.
		Fallada en llaç de control 2003. Vàlvula totalment oberta	Ídem més flux de vapor d'aigua a E-203							
		Fallada en aigua de refrigeració en E- 201	Ídem més pressió a C- 201.							
Menys	Menys temperatura en C- 201	Llaç de control 2006 totalment oberta.	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat.							
		Ruptura tubs E-201	Entrada aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.							

Un altre	Un altre composició en alimentació	Diferents composicions a la dissenyada a l'alimentació de la columna C-201	Sense conseqüència de seguretat.								
	Un altre fase en C-201	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> E-203.	Ídem més pressió a C-201.								
	Un altre fase en flux de rebuig cap a la columna de hidratació	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> E-203.	Ídem sense flux de rebuig cap a la columna de hidratació.								
	Un altre fase en flux de destil·lat cap al incinerador	Ruptura tubs del bescanviador E-202	Sense conseqüència de seguretat.								
	Un altre fase en A-201	Ruptura tubes del condensador E-201	Ídem més pressió a A-201.								
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió/erosió en C-201 i A-201	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió.	2	-1	C	-Programa de inspecció en vigor.	2	-2	C	
		Erosió en tubs de E-203.	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> E-203. Ídem més pressió a C-201								Posar placa protectora a l'entrada de vapor.
No	No <i>utilities</i>	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-201. Ídem més nivell a A-201.								
			Parada de bomba P-202. Inundació de C-								

			201. Sense conseqüència de seguretat.								
		Fallada l'aigua de refrigeració	Fallada en E-201, sense condensació i augmenta la pressió de C-201 i A-201 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV-1 -Llaç de control 2006 -Vàlvula de seguretat PSV-2	4	-5	C	-Dissenyar PSV-1 per a aquest cas. -Dissenyar PSV-2 per a aquest cas.
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en E-203. Ídem menys pressió en C-201.								
		Fallada aire de instruments.	V-203 tanca; V-264 obre; V-209 tanca; V-221 tanca; V-225 tanca; V-227 tanca; V-233 tanca; V-246 tanca; V-258 obre; V-270 tanca.								

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-3006. (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma d'alt nivell al LT-3006.
	Més nivell a A-301	Fallada controlador de nivell LT-3018 (llegeix menys nivell del real)	Possible inundació de A-301 i E-301. Si FC-3027 no és capaç d'alleujar tot el producte, augmenta la pressió per sobre del disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	S'obre la vàlvula de control V-351 (PT-3004) La vàlvula de seguretat PSV1 s'obrirà a 2barg	3	-5	D	Dissenyar la PSV1 per aquest cas. Ficar alarma d'alt nivell al LT-3018.
Menys	Menys nivell a fons C-301	Fallada controlador de nivell LT-3006. (llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació al <i>reboiler</i> disminueix. Hi haurà més lleugers al fons i possible cavitació de P-301, possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C	La temperatura al fons de la columna disminueix, en que el controlador FC-3009 obrirà amb possibilitat de degoteig. Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma de baix nivell al LT-3006.
	Menys nivell a A-301	Fallada controlador de nivell LT-3018 (llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-302. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma de baix nivell al LT-3018.

No	Sense flux d'alimentació C-301	Fallada en FT-3001. Falta d'alimentació.	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al FT3001.
	Sense flux de reflux a C-301	Fallada en FT-3028.	Major temperatura en cap de la columna i producte fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al FT-3028.
	Sense flux en incondensables de E-201	Fallada en PT-3004.	Augment de pressió en C-301. Possible ruptura catastròfica.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
	Sense flux de destil·lat cap al tanc.	Fallada en LT-3018.	Ídem més nivell en A-301.								Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
	Sense flux de pesats a la columna azeotròpica.	Fallada en LT-3006.	La bomba P-301 treballa en <i>shut off</i> . Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C					Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.
Menys	Menys flux d'alimentació C-301	Fallada en FT-3001.	Ídem no flux alimentació.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-3001.
	Menys flux de reflux a C-301.	Fallada en FT-3028.	Ídem no reflux.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-3028.
	Menys flux en incondensables en E-301	Fallada PT-3004.	Ídem no flux en incondensables en E-301.								Ficar alarma d'alta pressió en PT-3004.

	Menys flux de destil·lat cap al tanc.	Fallada LT-3018.	Ídem no flux de destil·lat cap al tanc.							Ficar alarma de baix nivell en LT-3018.
	Menys flux de pesats cap a la columna azeotròpica.	Fallada LT-3006.	Ídem no flux de pesats cap a la columna azeotròpica.							Ficar alarma de baix nivell en LT-3006.
Més	Més flux d'alimentació	La vàlvula de control V-302 (FC-3002) queda totalment oberta.	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna C-301. Inundació i degoteig. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT-3001.
	Més flux en el reflux de la C-301	La vàlvula de control V-356 (FC-3029) queda totalment oberta.	Disminueix la temperatura en cap de la columna. Inundació i degoteig. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT-3028.
	Més flux en incondensables en el E-301.	La vàlvula de control V-351 (FC-3027) queda totalment oberta.	Disminueix la pressió en la columna C-301. Sense conseqüències de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en PT-3004.
	Més flux de destil·lat cap al tanc.	La vàlvula de control V-338 (FC-3026) queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar-se el A-301.							Ficar alarma de baix nivell en LT-3018.

	Més flux de pesats cap a la columna azeotròpica.	La vàlvula de control V-318 (FC-3015) queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar la columna C-301. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix nivell en LT-3006.
	Més flux de vapor d'aigua en R-301.	La vàlvula de control V-366 (FC-3009) queda totalment oberta.	Augment de la taxa de recirculació del <i>reboiler</i> amb possible inundació de la columna C-301.								Ficar alarma de temperatura alta en TT-3007.
Invers	Flux invers.	No aplica.									
Més	Més pressió en C-301.	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna C-301. Ruptura catastròfica de la columna i possible explosió de A-301.	4	-2	B	Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-6	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada de l'aigua de refrigeració en E-301	Augment de pressió per no condensació al E-301 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-1	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada bomba P-302	Ídem més nivell en A-201.								

		Ruptura tubs del <i>reboiler</i> R-301	Possibilitat d'augment de pressió depenent en la capacitat de condensació de E-301 i cabal màxim del llaç FC-3027. Possible ruptura catastròfica.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-1. Llaç de control FC-3027.	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas
		Ruptura tubs condensador E-301	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-301 i A-301.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-1 Llaç de control FC-3027.	4	-8	D	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada en llaç de control FC-3029. No hi ha reflux.	Augment de pressió lleuger. Sense conseqüència de seguretat.								
		Falla en llaç de control FC-3027. Vàlvula tancada, sense sortida de incondensables.	Acumulació de incondensables amb pèrdua de capacitat de condensació i augment de pressió amb possibilitat de ruptura catastròfica.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-1.	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
Menys	Menys pressió en C-301.	Fallada en llaç de control FC-3027. Vàlvula totalment oberta.	Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baixa pressió en PT-3004.
		Fallada en llaç de control FC-3009. Vàlvula totalment tancada.	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> R-301. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma de baixa temperatura en TT-3007.

Més	Més temperatura en C-201 i A-201	Ruptura tubs del reboiler R-301	Ídem més pressió en C-301							Posar alarma de alta temperatura en TT-3007.
		Fallada en llaç de control FC-3009. Vàlvula V-366 totalment oberta.	Ídem més flux de vapor d'aigua a R-301.							
		Fallada en aigua de refrigeració en E-301	Ídem més pressió a C-301.							
Menys	Menys temperatura en C-301	Fallada al llaç de control FC- 3027. Vàlvula V-351 totalment oberta.	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat.							
		Ruptura tubs E-301	Entrada aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.							
Un altra	Un altra composició en alimentació	Diferents composicions a la dissenyada a l'alimentació de la columna C-301	Sense conseqüència de seguretat.							
	Un altra fase en C-301	Ruptura tubs de reboiler R-301.	Ídem més pressió a C-301.							
	Un altra fase en flux de pesats cap a la columna azeotròpica.	Ruptura tubs de reboiler R-301.	Ídem sense flux de pesats cap a la columna azeotròpica.							

	Un altra fase en el flux de destil·lat cap al tanc.	Ruptura tubs del bescanviador E-301	Sense conseqüències de seguretat.								
	Un altre fase en A-301	Ruptura tubs del condensador E-301	Ídem més pressió a A-301.								
As well as	As well as corrosió/erosió en C-301 i A-301	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Programa de inspecció en vigor.	2	-2	C	
		Erosió en tubs de R-301 pel xoc del vapor d'aigua.	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> R-301. Ídem més pressió a C-301								Posar placa protectora a l'entrada de vapor d'aigua del <i>reboiler</i> .
No	No utilities	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-302. Ídem més nivell a A-301. Parada de bomba P-301. Inundació de C-301. Sense conseqüència de seguretat.								
		Fallada l'aigua de refrigeració	Fallada en E-301, sense condensació i augmenta la pressió de C-301 i A-301 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-1 Llaç de control FC-3027.	4	-5	C	Dissenyar PSV-1 per a aquest cas.
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en R-301. Ídem menys pressió en C-301.								

		Fallada aire de instruments.	FC-3002 tanca; FC-3009 tanca; FC-3013 tanca; FC-3023 tanca; FC-3029 obre; FC-3030 tanca; FC-3016 tanca; FC-3025 tanca; FC-3015 obre; FC-3027 obre; FC-3026 obre .							
--	--	------------------------------	---	--	--	--	--	--	--	--

5.1.2. **Zones ATEX (ATmosfera EXplosiva)**

En aquest apartat es determinen les zones ATEX del procés, ja que en els emplaçaments on poden aparèixer quantitats i concentracions perilloses de gas o vapor inflamable, es necessari aplicar mesures de protecció per a reduir el risc a explosions. En aquestes unitats de procés hi ha compostos inflamables com ara l'acetaldehid i l'acetat de vinil.

Per tal de poder determinar les zones explosives, s'han seguit les referències UNE 202007 (ref.17) i UNE 60079-10-1-2016 (ref.18), per conèixer els valors de les substàncies implicades per al càlcul.

A continuació, es classifiquen segons la seva perillositat les àrees de la planta que es consideren com a Zones d'Atmosfera Explosiva:

- Zona 0: Àrea de treball en la que una atmosfera explosiva consistent en una mescla d'aire i gas o vapor o una boira inflamable està present de manera permanent o per un període de temps prolongat o amb freqüència (> 1000 hores/any) $\rightarrow$ Categoria 1.
- Zona 1: Àrea de treball en la que és probable, condicions normals d'explotació, la formació ocasional d'una atmosfera explosiva (de 10 a 1000 hores/any) $\rightarrow$ Categoria 2.
- 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) $\rightarrow$ Categoria 3.
- Per pols combustible: Zona 20, 21 i 22 respectivament.

Per l'altra banda, els equips instal·lats en zones ATEX es classifiquen per la sensibilitat de la substància a la iniciació de l'explosió per arc elèctric o flama segons:

- 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).

A més, s'han classificat els equips per la sensibilitat de la substància a l'explosió per contacte amb una superfície calenta.

Taula 5.1. Classificació de les zones ATEX segons la temperatura.

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

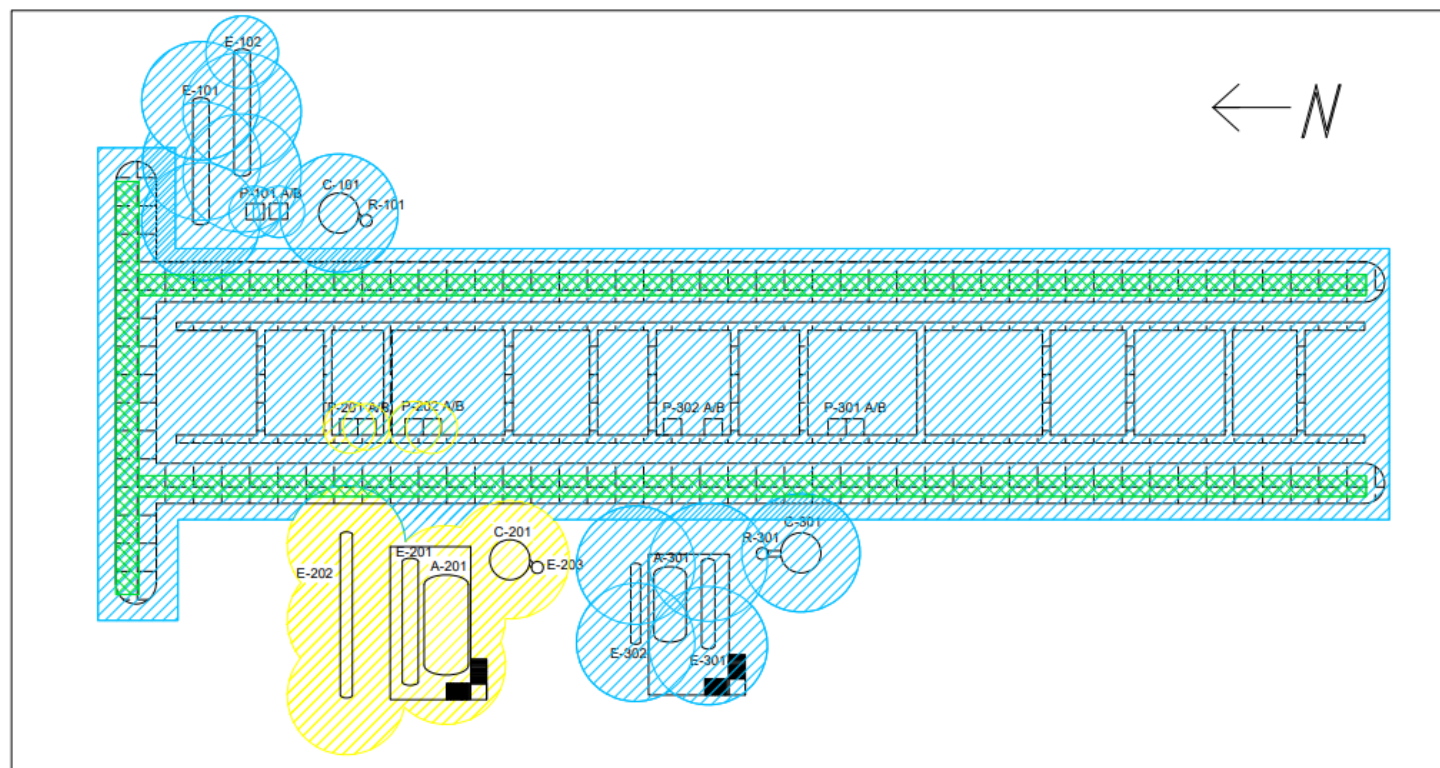
Per l'altra banda, s'han de classificar els compostos que hi ha a la planta.

Taula 5.2. Classificació del compostos de la planta.

Compost	Zona	Subgrup
Acetaldehid	2	IIA T3
Acetat de vinil	2	IIA T2
Acetat d'etil	2	IIA T2
Acetat de metil	2	IIA T1
Àcid acètic	2	IIA T1
Acroleïna	2	IIB T3

Les dades de la taula anterior s'han extret de la referència 17.

La metodologia que s'ha seguit per a determinar les zones ATEX es mostra en l'annex A.7 Seguidament, es mostra el diagrama de les zones ATEX de les unitats de procés.



-  ZONA 0 Gasos
-  ZONA 1 Gasos Categoria II A T2
-  ZONA 2 Gasos Categoria II A T2
-  ZONA 2 Gasos Categoria II A T3 (Acetaldehid)

Escala

1:200

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ZONA ATEX
Unitat recuperació
Acetaldehid

TFGEQ_2108

Dibujado por: Haokai Jin

Fecha: 28 Maig 2021

5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions

Per tal de garantir la seguretat tant de la planta com dels equips, és molt important la funció de les vàlvules de seguretat, encarregades de protegir als equips de sobrepressions.

Per aquest motiu, el disseny de les PSV és essencial per a mantenir la pressió per sota del límit establert. A partir del HazOp, s'ha determinat que les columnes C-101, C-201 i C-301 requereixen d'una vàlvula de seguretat. El disseny d'aquestes PSV ve determinat pel foc extern com a factor iniciador, ja que es considera que és l'escenari més crític a tenir en compte. La metodologia que s'ha seguit per al disseny de les vàlvules de seguretat es mostra a l'annex A.8 (ref.2).

A continuació es mostren les PSV dissenyades, les quals corresponent a les respectives columnes PSV-101, PSV-201 i PSV-301.

Taula 5.3. Disseny de la vàlvula de seguretat PSV-101.

Paràmetre	Valor
Cabal de descàrrega (kg/h)	894
Fase descàrrega	Gas
Pressió de disseny (barg)	3,5
Pressió d'alleugeriment (barg)	3,85
Coeficient descàrrega	0,975
Pes molecular (g/mol)	30
Temperatura (°C)	130
Àrea orifici normalitzada (mm ²)	506
Tipus d'orifici	H

Taula 5.4. Disseny de la vàlvula de seguretat PSV-201.

Paràmetre	Valor
Cabal de descàrrega (kg/h)	6795
Fase descàrrega	Gas
Pressió de disseny (barg)	3
Pressió d'alleugeriment (barg)	3,3
Coeficient descàrrega	0,975
Pes molecular (g/mol)	47,8
Temperatura (°C)	130
Àrea orifici normalitzada (mm ²)	4116
Tipus d'orifici	P

Taula 5.5. Disseny de la vàlvula de seguretat PSV-301.

Paràmetre	Valor
Cabal de descàrrega (kg/h)	14963
Fase descàrrega	Gas
Pressió de disseny (barg)	2,1
Pressió d'alleugeriment (barg)	2,31
Coeficient descàrrega	0,975
Pes molecular (g/mol)	86,03
Temperatura (°C)	95,5
Àrea orifici normalitzada (mm ²)	7129
Tipus d'orifici	Q

Seguidament, es mostren les fulles d'especificació de les respectives vàlvules de seguretat:

				RELIEF VALVES		
				REVISION DATE	26/5/2021	
				ITEM No.	1	
				TAG No.	PSV-101	
				VALVE SERVICE	Alleujar sobrepressió C-101	
				MANUFACTURER	Emerson - Crosby J series	
				TYPE No.	JOS - E - 15 - H	
				NUMBER VALVES REQ'D	1	
				NORMAL SYSTEM PRESS., BARG	0,16	
				NORMAL SYSTEM TEMP., °C	95,7	
				GOVERNING UPSET CONDITION	Foc extern	
				ACCUMULATION, PERCENT		
MADE BY: Joel López DATE: 26/5/2021 APP. BY: Manel Adell DATE: 26/5/2021	VALVE SIZING CONDITIONS	FLOWING FLUID				Acetat de vinil - Aigua - Acetaldehid
		FLOW QUANTITY, KG/H				894
		FLOW SPECIFIC GRAVITY				
		FLOW TEMP., °C				127
		FLOW VISCOSITY, cP				0,012
		SET PRESSURE, BARG				3,5
		ACCUM. INLET PRESSURE				10%
		BACK PRESS., BARG				0
		REQ'D ORIFICE AREA, MM2				455
		MADE BY: Joel López DATE: 26/5/2021 APP. BY: Manel Adell DATE: 26/5/2021	CONSTRUCTION	NOMINAL SIZE IN		
ORIFICE AREA, MM2/VALVE				506		
TOTAL ACTUAL AREA, MM2				506		
BODY CONN. & RATING - INLET				1 ½ in 150#		
OUTLET				3 in 150 #		
BODY				ASME SA216		
BONNET				Chrome steel		
SPRING				Chrome steel		
RADIATING BONNET				NO		
STYLE TOP				NO		
LIFTING GEAR - REG./PACKED				NO		
TEST ROD				NO		
REMARKS:						

				RELIEF VALVES	
				REVISION DATE	
				27 de Maig de 2021	
				ITEM No.	1
				TAG No.	PSV-1
				VALVE SERVICE	Alleujar sobrepressió C-201
				MANUFACTURER	Emerson - Crosby J series
				TYPE No.	JOS - E - 15 - P
				NUMBER VALVES REQ'D	1
				NORMAL SYSTEM PRESS., BARG	1,513
				NORMAL SYSTEM TEMP., °C	56,79
				GOVERNING UPSET CONDITION	Foc extern
				ACCUMULATION, PERCENT	
MADE BY: Haokai Jin DATE: 27/5/2021 APP. BY: Joel Lopez DATE: 27/5/2021	VALVE SIZING CONDITIONS	FLOWING FLUID		Acetat de vinil - Acetaldehid - Acroleína - Acetat de metil	
		FLOW QUANTITY, KG/H		6795	
		FLOW SPECIFIC GRAVITY			
		FLOW TEMP., °C		130	
		FLOW VISCOSITY, cP		0,00793	
		SET PRESSURE, BARG		3	
		ACCUM. INLET PRESSURE, BARG		10%	
		BACK PRESS., BARG		0	
		REQ'D ORIFICE AREA, MM2		3112	
MADE BY: Haokai Jin DATE: 27/5/2021 APP. BY: Joel Lopez DATE: 27/5/2021	CONSTRUCTION	SIZE/RATING	NOMINAL SIZE IN		4
			ORIFICE AREA, MM2/VALVE		4116
		MAT'L	TOTAL ACTUAL AREA, MM2		4116
			BODY CONN. & RATING - INLET		4 in 150#
		ACCESSORIES	OUTLET		6 in 150#
			BODY		ASME SA216
		BONNET		Chrome steel	
		SPRING		Chrome steel	
		RADIATING BONNET		NO	
		STYLE TOP		NO	
LIFTING GEAR - REG./PACKED		NO			
TEST ROD		NO			
REMARKS:					

138 - 184

5.1.4. Equips de protecció contra incendis

Garantir la seguretat de la planta i dels seus treballadors en cas d'incendi és primordial, per això s'ha d'instal·lar equips de protecció d'incendis arreu de la planta.

És molt important que aquest sistema de protecció contra incendis tingui la capacitat d'aigua necessària per cobrir les necessitats de la planta. Per tant, la planta disposarà d'un tanc d'aigua per combatre el possible incendi i d'un sistema d'impulsió de bombes que proporcioni el cabal d'aigua i la pressió adequada.

A més, es convenient aplicar sistemes de protecció d'incendi individualitzats per als equips com per exemple, un sistema d'aigua polvoritzada per a la columna entre d'altres.

Finalment, per complir aquestes mesures amb èxit, es requereix instal·lar extintors amb l'escuma com a agent extintor senyalitzats per tota la planta.

5.1.5. Pla d'autoprotecció

La planta ha de disposar d'un pla d'emergència per poder donar resposta a totes situacions de risc seguint el marc de la legalitat vigent. Els objectius que qualsevol pla d'emergència ha de complir segons el ministeri de l'Interior i Protecció Civil han de ser:

- Complir la normativa vigent.
- Descripció de l'establiment, les seves instal·lacions i zones de risc potencial.
- Desenvolupament ràpid i eficaç d'identificació i avaluació dels riscos propis i externs.
- Establir formes de col·laboració amb les ajudes externes.
- Garantir la intervenció immediata, la evacuació i/o confinament, en cas que sigui necessari.
- Identificar els mitjans de protecció existents i necessaris per mitigar els possibles esdeveniments.
- Disposar d'un equip format per a situacions d'emergència a la planta, per tal d'assegurar una intervenció ràpida i eficaç.

Seguidament, s'exposen resumidament les actuacions proposades en cas d'emergència com ara un incendi, explosió, fuga de gas o abocament de líquid.

5.1.5.1 Detecció d'alerta

És de vital importància avisar de la forma més ràpida possible als equips d'emergència de la pròpia planta i sol·licitar si es requereix ajuda externa.

La detecció potser automàtica mitjançant els equips tècnics de prevenció, o bé, manual mitjançant polsadors o la pròpia comunicació dels treballadors.

5.1.5.2 Mecanisme d'alarma

L'avís d'alarma ha de ser clar i precís per tal d'informar al personal responsable de seguretat i a tots els treballadors que es trobin a planta quina sèrie de pautes s'han de seguir davant de la possible situació d'emergència.

Per tant, s'ha de coordinar ràpidament totes les actuacions i comunicacions d'emergència. Si es requereix s'ha de notificar ràpidament l'avís d'alarma a les autoritats d'emergència especialitzades.

5.1.5.3 Evacuació i/o confinament

El pla d'autoprotecció ha de ser capaç de donar resposta si la situació d'emergència requereix evacuació i/o confinament. És molt important identificar ràpidament les ordres de seguretat ja sigui per megafonia o per avisos lumínics per tal de garantir la seguretat de tots els treballadors de la planta.

Per tant, s'ha d'establir un punt de reunió a la planta per tal d'assegurar que tots els treballadors en cas d'evacuació es dirigiran al mateix punt. D'aquesta mateixa forma, en el cas de confinament també s'ha de conèixer els punts habilitats en els quals s'haurà de dirigir tot el personal.

5.2. Seguretat Laboral

Per a l'empresa un dels principals objectius és poder garantir la seguretat de tot el seu personal, per això és de primordial importància assegurar la seguretat laboral dels treballadors.

5.2.1. Avaluació de riscos laborals

Els accidents laborals sempre estan subjectes a un cert risc segons el tipus de tasca a realitzar, per tal de reduir aquest risc, s'apliquen mesures correctores amb l'objectiu d'evitar aquests accidents.

Un dels tipus d'accidents que més es produeixen a les plantes són les caigudes, cops, cremades i talls entre altres. Aleshores, aplicar mesures correctores és vital per tal de reduir el nombre d'aquests accidents. Mesures protectores com l'ús correcte de les instal·lacions de la planta, respectar les senyalitzacions i la correcta utilització de les EPI corresponents a cada tipus de tasca.

5.2.2. Equips de protecció personal

Els equips de protecció individual (EPI) son qualsevol equip destinat a ser portat o subjectat pel treballador per a que el protegeixi d'un o diversos riscos que puguin amenaçar la seva pròpia seguretat o salut, així com qualsevol complement o accessori destinat a tal finalitat.

Hi ha tres categories segons depenent del risc: la categoria 1 engloba als riscos menors, la categoria 2 als riscos intermedis i la categoria 3 als riscos greus o irreversibles.

Per Reial Decret 1407/1992, de 20 de novembre, es van regular les condicions per a la seva comercialització i lliure circulació intracomunitària dels equips de protecció individual.

La utilització del EPIs corresponents en cada feina és absolutament obligatòria. A més per caràcter general, el calçat adient, casc, ulleres, guants i roba ignífuga i reflectant serà obligats en tota la planta.

5.2.3. Incidents i accidents

L'empresa ha tenir un procediment per tal d'actuar d'una forma eficaç davant d'un incident o accident. A més, en el cas que es produeixi qualsevol fet que posi en perill la integritat física de qualsevol treballador, aquest fet s'analitzarà per tal de millorar les mesures de seguretat d'aquesta situació.

La formulació d'un informe del succés permetrà deixar constància dels fets i d'aquesta forma plantejar millores en el sistema de seguretat de la planta.

5.2.4. Formació en seguretat

L'empresa ha de proporcionar una formació en seguretat per a tots els treballadors amb l'objectiu d'establir un coneixement bàsic en cas d'emergència i quin protocol s'ha de seguir en cada cas.

Aquesta formació es realitzarà anualment mitjançant cursos de seguretat i diversos simulacres per tal de recordar a tot el personal de la planta el procediment a seguir en situacions d'emergència. A més, mensualment es passaran circulars a tots els treballadors de la planta en les quals mostren accidents d'altres empreses, la finalitat d'aquesta mesura es conscienciar als treballadors de possibles situacions que poden ocasionar incidents o accidents.

6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

En aquest manual es valoren i es tracten els diferents aspectes mediambientals relacionats amb el projecte.

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

6.1.1. Emissions atmosfèriques

En aquest projecte es preveuen tres possibles tipus d'emissions de gasos a l'atmosfera.

- Emissions fugitives: Tenen lloc en les vàlvules de control, a les bombes i a les brides. Són fuites petites de fluid de forma continua i no son detectables amb els sentits.
- Vàlvules de seguretat: Tenen lloc quan salta la vàlvula en algun equip. Són puntuals, ja que sols passaria en el cas de que la pressió de l'equip superi la pressió de disseny. Aquesta fuga s'envia a la torxa.
- Corrent torxa incondensables: En la unitat de recuperació d'acetaldehid i en la unitat de recuperació d'acetat de vinil existeix un corrent que surt des de el condensador que serveix per controlar la pressió de la columna. Aquest es un corrent continu que allibera els incondensables cap a la torxa.

6.1.2. Emissions líquides

En aquest projecte la principal emissió líquida és l'oli de lubricació en el manteniment de les bombes centrífugues. Aquest oli es recull i s'envia a tractament ja que es un compost no biodegradable i pot afectar negativament al medi ambient.

Un altre tema a tractar com a emissió líquida són les aigües pluvials que són enviades en bases de recollida.

6.2. Residus sòlids

Els residus sòlids que es produeixen en la planta són sobretot els que es poden generar a l'hora de realitzar el manteniment, ja que es rebutgen diferents tipus de materials. A part de envasos de plàstic, embalatges de paper i cartró, els principals residus sòlids que es tenen en compte són les partícules metàl·liques sobrants del manteniment, restes de canonades, brides, els canvis de rebliment, etc. Tots aquest residus són tractats i es depositaran en bases de recollida.

6.3. Generació de gasos d'efecte hivernacle

Els gasos d'efecte hivernacle que es generen en aquestes tres unitats de procés son els gasos que surten per la torxa, ja que es genera una combustió per a no enviar compostos orgànics volàtils a l'atmosfera. Cal mencionar que el vapor d'aigua no es te en compte en aquest estudi perquè no contribueix significativament en el escalfament global. El compost principal que s'ha estudiat es el CO₂.

Per a estudiar la quantitat de CO₂ enviada a l'atmosfera s'han tingut en compte les diferents reaccions de combustió dels compostos que romanen en les tres unitats de procés.

- Acetaldehid:



- Àcid acètic:



- Acetat de vinil:



- Acetat d'etil:



- Acetat de metil:



- Hidroquinona:



- Acroleïna:



Un cop tenim les diferents reaccions de combustió, és calculen les tones produïdes anualment de CO₂. En l'annex A.9 es mostra el càlcul realitzat.

Per al càlcul es té en compte cadascuna de les reaccions i es calcula per separat el cabal màssic de CO₂ produït. Finalment es fa el sumatori per extreure'n el total.

Taula 6.1. Gasos efecte hivernacle generats.

Reacció combustió	Cabal màssic, m CO ₂ (tn/any)
Acetat de vinil	1887,1
Acetaldehid	19
Acetat d'etil	0,3
Acetat de metil	0,92
Àcid acètic	0,54
Acroleïna	0,23
Hidroquinona	0,81
TOTAL	1908,94

6.4. Contaminació lumínica

Tenint en compte que l'empresa treballa les 24 hores del dia durant gairebé tot l'any (excepte en la parada), la contaminació lumínica es un factor que cal tenir present. Per tant, s'aplicaran la llei 15/2010 de prevenció de la contaminació lumínica (BOE) i es promourà un ús eficient del enllumenat de la planta preservant al màxim possible les condicions naturals de les hores nocturnes. (ref.30)

6.5. Contaminació acústica

Segons la llei 7/2002 del BOE, es considerat contaminació acústica quan es superen els 65 dB durant el període diürn i els 55 dB durant el nocturn. Per a protegir les persones que passin a prop de la planta de producció d'acetat de vinil, es construiran caixes de protecció acústica en els equips que superin els límits establerts. (ref.31)

6.6. Contaminació odorífera

La contaminació odorífera es aquella causada per les males olors que es poden generar i que envaeixen l'ambient i fan incomoda la convivència. Per a poder detectar les males olors dels diferents productes que hi ha a planta s'han consultat les fitxes tècniques per a poder distingir entre compostos inodors i els no ho son.

S'ha detectat que hi ha diversos compostos que alliberen un olor que pot afectar a la seguretat de les persones, ja que a la llarga podrien provocar ansietat, mals de cap, falta de concentració o insomni.

Aquests compostos són; el acetat de metil i acetat d'etil que tenen un aroma fruitós, l'àcid acètic que olora a acre i l'acetaldehid que produeix una olor picant.

Totes aquestes olors tenen un llindar de seguretat establert entre els 0,2 i 100 ppm.

6.7. Contaminació visual

La contaminació visual és una contaminació purament estètica que afecta al paisatge. Aquesta, pot causar cansament visual, mals de cap, obstrucció visual, stres, etc. Per a pal·liar aquesta contaminació es pot fer un seguiment de les normes urbanístiques evitant elements agressius o recarregats.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

Totes les plantes químiques requereixen un manteniment regular, és a dir, accions necessàries per conservar o restablir un sistema en un estat que permeti garantir el funcionament de l'equip amb un cost mínim.

Les diferents activitats que es defineixen com a manteniment són:

- Prevenir i corregir averies.
- Quantificar i avaluar l'estat de les instal·lacions.
- Aspecte econòmic.

Abans de concretar la gestió del treball s'estableix la política de manteniment per tal de definir els objectius tècnics i 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 equips.
- Reparar ràpidament les emergències que puguin sorgir mitjançant mètodes definits.

El següent pas és establir i definir el tipus de manteniment a aplicar, principalment es defineixen tres tipus de manteniments diferents: correctiu, preventiu i predictiu.

7.1. Manteniment correctiu

El manteniment correctiu és un conjunt d'activitats de reparació i substitució d'elements deteriorats, que es realitza després del reconeixement de fallades. Destinat a posar un article en un estat en que pugui realitzar la funció necessària.

L'acció de manteniment correctiu es pot realitzar de forma diferida o immediata:

- Manteniment diferit; un manteniment correctiu que no es realitza immediatament després de la detecció de la fallada, sinó que es retarda acordant amb el que s'indica a les normes de manteniment.
- Manteniment immediat; es realitza immediatament després de detectar la fallada per evitar conseqüències inacceptables.

L'avantatge principal d'aquest tipus de manteniment és aprofitar al màxim la vida útil dels equips sense el requeriment d'una gran infraestructura tècnica ni elevada capacitat d'anàlisi.

7.2. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu es realitza a intervals predeterminats o segons criteris prescrits destinats a reduir la probabilitat d'error o la degradació del funcionament d'un element. En l'acció del manteniment preventiu existeixen dos modalitats:

- Manteniment preventiu sistemàtic; efectuat a intervals regulars de temps, segons un programa establert i tenint en compte les condicions crítiques de cada equip i la existència de reserva.
- Manteniment preventiu condicional o segons condició; subordinat a un esdeveniment predeterminat.

A les inspeccions es procedeix al desmuntatge total o parcial de l'equip amb la fi de revisar l'estat dels elements de l'equip, substituint aquells que s'estimi oportú. L'aplicació del manteniment preventiu només és oportú en equips on la relació entre probabilitat de fallades i

duració de vida és coneguda. El principal avantatge d'aquest tipus de manteniment és la reducció de parades imprevistes en equips.

Tot i així, l'inconvenient que presenta l'aplicació d'aquest tipus de manteniment és l'elevat cost de les inspeccions i el no aprofitament de la vida útil completa de l'equip. Pel que fa als equips del projecte, les revisions periòdiques a realitzar són les següents:

- Revisions visuals a diari de les canonades i vàlvules, per evitar fuites de fluid i el bon funcionament de les vàlvules.
- Control i calibratge dels instruments del procés setmanalment.
- Revisió bimestral de l'estat de les vàlvules de seguretat.

7.3. Manteniment predictiu

És un conjunt d'activitats de seguiment i diagnòstic continu que permet una intervenció immediata, com a conseqüència de la detecció d'alguna símptoma de fallada. A més, s'utilitza com a resposta a la necessitat de reduir els costos dels mètodes tradicional, que són els preventius i predictius. Uns dels avantatges importants d'aquest tipus de manteniment són:

- Determinació òptima del temps per a realitzar el manteniment preventiu.
- Execució sense interrompre el funcionament normal de l'equip i instal·lacions.
- Millorar el coneixement i control de l'estat dels equips.

Tot i així, hi ha fallades no detectables, ja que no és viable una monitorització significativa, aleshores poden presentar-se averies no detectades pel programa de vigilància.

7.4. RCM (Reliability Centered Maintenance)

S'ha fet un estudi de manteniment centrat en la fiabilitat (RCM) de la unitat de recuperació d'acetat de vinil, ja que aquesta unitat es la que engloba més equips. Per tant, el RCM s'efectua només en aquesta unitat de procés. Aquest estudi consisteix en focalitzar els recursos de manteniment en aquelles fallades més crítiques per la seguretat, medi ambient i la productivitat de les instal·lacions industrials. L'objectiu de l'estudi RCM és millorar el rendiment econòmic de la planta mitjançant la reducció de la pèrdua ocasionada per la no fiabilitat i indisponibilitat, en alguns casos es redueixen programes de manteniment.

L'aplicació del RCM és centrat en sis passos extrets de la ref.23.

7.4.1. Separació d'àrees o sistemes

L'objectiu d'aquesta fase és dividir el procés en diferents àrees o sistemes amb els majors dimensions possibles per a discutir en la següent fase les àrees no crítiques. A la figura 7.1 es pot veure el procés de la unitat d'acetat de vinil que s'ha descompost amb les àrees llistades en la taula 7.1.

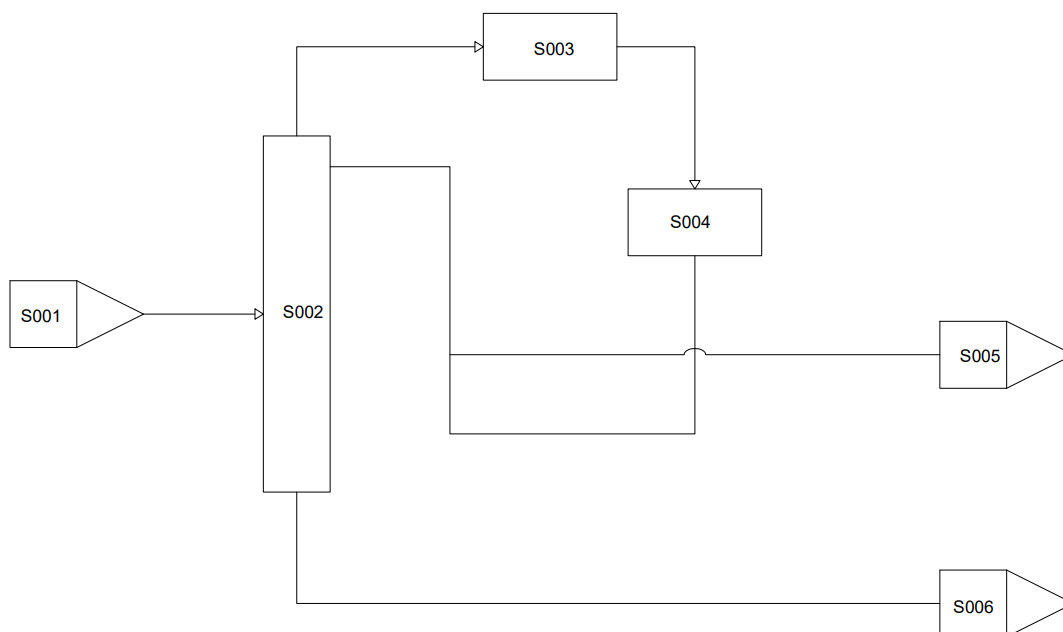


Figura 7.1. Unitat d'acetat de vinil a les àrees corresponents.

Taula 7.1. Sistemes de la unitat d'acetat de vinil.

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

7.4.2. Càlcul de criticitat d'àrees

En aquesta fase s'analitza cada àrea segons els següents criteris:

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

Es valoren la probabilitat i conseqüències d'una fallada, d'aquesta manera es determina la criticitat del sistema. S'utilitzen les taules 7.2 i 7.3 per criteris de seguretat i medi ambient i 7.4 per a criteris de fiabilitat i disponibilitat.

Taula 7.2. Conseqüència per la seguretat i medi ambient.

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

Taula 7.3. Probabilitat de fallada per la seguretat i medi ambient.

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

Taula 7.4. Fiabilitat i disponibilitat.

Disponibilitat				
	Impacte de fallada	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 multiplicant la probabilitat de fallada per efecte o impacte de la mateixa. S'ha separat la criticitat depenent de la seguretat i medi ambient, per l'altra banda la criticitat s'ha dividit depenent de la fiabilitat i disponibilitat. La valoració dels criteris de seguretat i medi ambient són prioritaris per a determinar el grau de criticitat de les àrees.

7.4.3. Elecció del nivell crític d'anàlisi

A la fase final de cada anàlisi, es fixa un valor aportat pel mètode RCM, per sota del qual es programa un manteniment correctiu ja que la seva criticitat és baixa. Per tant, per als valors que superen al valor fixat, es programa un manteniment preventiu. Es fixa com a límit inferior 4

critèris de seguretat i medi ambient i 6 criteris de fiabilitat i disponibilitat. A la taula 7.5 es mostra el càlcul de la criticitat d'àrees.

Taula 7.5. Càlcul de criticitat d'àrees.

Codi	Sistema	Seguretat i medi ambient			Disponibilitat i fiabilitat
		Conseqüències	Probabilitat	Valor	
S001	Alimentació	1	1	1	10
S002	Sistema de separació	2	1	2	8
S003	Condensació	6	6	36	6
S004	Sistema de recirculació	1	2	2	6
S005	Recollida de destil·lat	6	2	12	2
S006	Recollida de fons de columna	6	2	12	2

S'obté que l'àrea més crítica és el sistema de condensació amb un valor de 36 pel criteri de seguretat i manteniment i 6 pel criteri de disponibilitat i fiabilitat, amb un valor total de 42.

7.4.4. Anàlisi de fallades funcionals

Aquesta fase consisteix en descompondre els sistemes crítics en equips i definir les funcions que tenen encomanades. Tenint en compte que els equips poden tenir tres classes de funcions:

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

Després d'haver determinat les funcions de cada equip, es necessita determinar les fallades funcionals i els modes de detecció. Posteriorment, es determina la criticitat utilitzant els següents criteris: disponibilitat, freqüència, detectabilitat, seguretat i medi ambient. Per a això, s'han utilitzat les taules 7.6, 7.7, 7.8, 7.9.

Taula 7.6. Criticitat de fallades funcionals, 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	1

Taula 7.7. Criticitat de fallades funcionals, freqüència.

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

Taula 7.8. Criticitat de fallades funcionals, detectabilitat.

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

Taula 7.9. Criticitat de fallades funcionals, seguretat i medi ambient.

Seguretat i medi ambient			
Efectes a persones	Extensió de danys	Impacte medi ambiental	Valor
Morts	Els efectes arriben a les comunitats veïnes de la planta	Molt greu. Amb llarga duració de la contaminació	9
Lesions molt greus, hospitalització	Afecta a tot el recinte de la planta	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 7.10 es mostra un exemple de la fulla d'anàlisi de fallades funcionals del sistema de condensació.

Taula 7.10. Fulla d'anàlisi de fallades funcionals.

Sistema: S003			Condensador					Criticitat: 42	
Funció	F. Funcional	M. detecció	D	F	D	S	Total	Tasca preventiva	Per
Condensació de fluid de procés costat carcassa.	Desviació del paràmetre T	Indicador de temperatura	2	3	1	1	6	By-pass al condensador quan es detecti ΔP excessiu per neteja.	Planta
Contenir aigua	Fuita aigua	Inspecció	1	1	2	1	2		
Contenir fluid de procés	Fuita fluid de procés	Inspecció	2	4	2	2	32	Veure causes de fallades tècniques	Manteniment

7.4.5. Anàlisi de formes i causes de fallades tècniques

En aquesta fase de desenvolupament del estudi RCM, es passa a valorar la forma o mode que han fallat els elements que componen els equips. Les fallades tècniques són les causes de les fallades funcionals. El procés d'anàlisi de formes i causes de fallades tècniques consisteix en:

- Descompondre l'equip en elements a mantenir.
- Determinar les diferents formes de fallada per a cada element.
- Definir les diferents causes de forma de fallada.
- Valorar la criticitat de cada causa de fallada.
- Determinar les tasques de manteniment preventiu o modificatiu que elimini o redueixi la probabilitat de fallada.

Per avaluar la criticitat s'utilitzen les taules de l'anterior fase, excepte la taula de la detectabilitat i s'afegeix el concepte de cost de reparació, taula 7.11.

Taula 7.11. Costos de reparació.

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

Finalment, per realitzar aquesta fase s'utilitza la fulla de formes i causes de fallades tècniques. A la taula 7.12 s'empra la fulla del sistema de condensació.

Taula 7.12. Fulla d'anàlisi de formes i causes de fallades tècniques.

Element a mantenir	Forma de fallada	Causa de fallada	Efecte	D	F	C	S	Total	Tasca	Freqüència	Cost anual (€)
Carcassa	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota aïllament i localitzada	Fuita del fluid a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
Tubuladures, costat carcassa	Fallada de la junta	Error humà del muntatge	Fuita del fluid a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
		Deteriorament material junta	Fuita del fluid a exterior	1	2	2	3	12	Manteniment correctiu		
Feix tubular	Pèrdua d'espessor	Erosió per aigua	Fuita d'aigua cap a exterior	2	1	2	1	4	Control qualitat del condensat	Setmanal	1500
									Mesurar espessors residuals	Setmanal	3000
Capçal superior	Pèrdua d'espessor	Erosió per aigua	Fuita d'aigua cap a exterior	2	1	2	1	4	Manteniment correctiu		
Tubuladures aigua	Fallada junta	Error humà al muntatge	Fuita del fluid a exterior	1	2	2	3	12	Inspecció muntatge	Anual	200

7.4.6. Conclusió

El mètode RCM serveix per a realitzar un anàlisis detallat dels equips que componen el procés, definint les fallades funcionals i tècniques fixant unes tasques de manteniment preventiu, predictiu o correctiu. Aquestes tasques impedeixen les averies més crítiques abans de que es produeixin. Aquest mètode deu estar combinat amb un bon anàlisi d'averies, control de l'evolució de la disponibilitat i fiabilitat, control de costos per equip, etc., de manera que corregeixin l'estudi i el programa preventiu segons els resultats.

Pel que fa la unitat estudiada, el sistema més crític és la condensació (condensador) tal com es pot observar el valor calculat a la taula 7.5. També a la taula 7.12 es mostra les formes de fallada i les seves causes, l'estimació de criticitat, la tasca que s'ha de realitzar amb la freqüència de manteniment i el cost anual del manteniment.

8. MANUAL D'OPERACIÓ

En aquest apartat s'introduirà el manual d'operació de la planta i de les diferents unitats de procés, així com la seva posada en marxa i la seva aturada. Aquest manual inclou les parades tant en situació de manteniment com en situació d'emergència.

8.1. Comprovacions prèvies

Per tal de seguir correctament el protocol de posada marxa de la planta, prèviament cal seguir una sèrie de comprovacions. Aquestes comprovacions són l'organització del personal i la disponibilitat dels proveïdors, ja sigui de matèries primes, de serveis o recanvis de components i equips. Seguidament, cal assegurar-se que es disposa de tots els equips necessaris i a més, s'han de tenir els manuals de seguretat realitzats per possibles problemes emergents a la planta.

Un cop es disposen de tots els equips necessaris per al procés, cal inspeccionar-los abans de la posada en marxa, tant els equips com les canonades, vàlvules, aïllants, cablejat, instrumentació, estructures, senyalització i mesures protectores.

Per tant, s'han d'efectuar testos d'estanquitat i hidràulic, del sistema elèctric, de la instrumentació i control, de les canonades i del sistema pneumàtic.

Cal destacar la importància del calibratge dels instruments per garantir un bon control del procés.

8.2. Posada en marxa dels serveis

Després d'haver realitzats tots els testos i les inspeccions necessàries, es prossegueix amb la posada en marxa. Primerament dels serveis de planta, com ara l'aigua de refrigeració, el nitrogen, l'aire d'instrumentació, l'electricitat i el vapor d'aigua.

8.3. Funcionament de la unitat C-101

8.3.1. Posada en marxa normal

A continuació, es mostren els passos per tal de posar en marxa la unitat de procés C-101:

- Primerament, s'ha de dur a terme la inertització de la columna i que les purgues i les vàlvules estiguin tancades.
- Seguidament, s'omple de líquid el fons de columna.
- Aconseguit el nivell mínim de líquid al *reboiler* es posa en marxa l'aigua de refrigeració del E-102.
- Activació del control de cabal de la columna de destil·lació.
- Activació del control de nivell, temperatura i pressió de la columna (tots a un *set point* menor al de disseny).
- S'obren les vàlvules per deixar passar el vapor al *reboiler* per a que comenci a evaporar. I s'engega la bomba per tal d'activar completament el funcionament de la columna.
- Un cop s'arriba al estat estacionari, es fixen els valors de *set point* desitjats.

8.3.2. Funcionament en estat estacionari

La columna C-101 opera entre 95 °C pel cap i 107 °C pel fons, a una pressió de 0,16 barg i 0,30 barg respectivament. Pel cap de columna, surt el corrent vapor que conté l'acetat de vinil dirigit a la mescla del producte procedent del cap de la columna deshidratadora.

Pel fons, una part de l'aigua va dirigida al *reboiler* i l'altra part del fluid es bombeja mitjançant la P-101 A/B cap al E-101, en el qual hi ha un intercanvi de calor entre l'aigua i el fluid de procés. Posteriorment, aquesta *waste water* es dirigeix al refredador E-102.

8.3.3. Aturada normal

A continuació, es mostren els passos a seguir per tal d'aturar la unitat C-101:

- Primerament, s'atura l'alimentació de la columna tancant les vàlvules.
- Destil·lat tot el producte restant a la columna, es tanquen les vàlvules del cap de columna.
- S'atura el *reboiler* i l'aigua de refrigeració, es drena el líquid de fons de columna. A continuació, es para la bomba P-101 A/B.
- Per últim, es purga la columna, el *reboiler* i els bescanviadors i es fa el manteniment necessari dels equips i instruments.

8.4. Funcionament de la unitat C-201

8.4.1. Posada en marxa normal

Per la posada en marxa normal d'una columna s'ha de seguir els passos següents amb les tasques del procediment corresponent.

- Inertització de la columna C-201 i l'acumulador A-201. Tancament de les vàlvules. Fluids de servei del condensador i *reboiler* amb cabal major a l'inici.
- Activació del control de cabal de la columna C-201.
- Obrir la vàlvula de pas d'alimentació de la columna C-201.
- Activar el control de nivell, temperatura i pressió de la columna C-201 amb un *setpoint* menor del disseny.
- Comprovar que el reflux es produeix adequadament, sense fuites a la sortida de líquid del *reboiler* i que la condensació al condensador sigui total.
- Quan el control de nivell arriba al *setpoint*, tancar la vàlvula d'alimentació de la columna per a que el reflux total es faci de manera discontinua.
- Quan la temperatura del destil·lat i la temperatura del *reboiler* arriben al *setpoint*:
 - Obrir el control automàtic de nivell.
 - Obrir la vàlvula de control de sortida de residu del *reboiler* i de vapor a l'acumulador.
 - Reduir el cabal d'aigua de refrigeració al condensador.
- Canviar el *setpoint* de control de nivell, cabal i temperatura al *setpoint* de disseny.

8.4.2. Funcionament en estat estacionari

La columna de recuperació d'acetaldehid (C-201), opera a 45,0 °C i 1,48 barg pel cap de la columna; 93,1 °C i 1,69 barg pel fons de la columna.

Pel cap de la columna el fluid en vapor passa pel condensador E-201 que es condensa tot el fluid i aquest va cap a l'acumulador A-201. Des de l'acumulador, es bombeja per la bomba P-201 fins al cap de la columna i una part passa pel bescanviador E-202 que es refreda fins a 33 °C i això va cap a l'incinerador.

Pel fons de la columna, estat líquid per la sortida, una part va directament cap a la columna de deshidratació bombejat per la bomba P-202. L'altra part es recircula i vaporitzat pel *reboiler*.

8.4.3. Aturada normal

Per l'aturada normal de la unitat, el primer pas que es fa és tancar el subministrament del producte als equips. Es tanquen les vàlvules d'entrada a la columna, després es buiden tots els equips mitjançant bombes de buit. Posteriorment, s'apaguen tots els equips de control i els serveis en planta de manera regulada. Finalment, es fa un tractament químic als equips i canonades de procés per evitar la pèrdua de la qualitat del material que es conforma i es comprova la estanquitat d'aquests.

8.5. Funcionament de la unitat C-301

8.5.1. Posada en marxa normal

Per a la posada en marxa de la unitat de recuperació d'acetat de vinil es segueixen els següents passos. Cadascun dels següents punts es una tasca del procediment a realitzar.

- Inertització de la columna C-301 i el acumulador A-301. Tancament de totes les vàlvules. Fluids de servei dels condensadors i els *reboilers* operatiu amb cabals majors al inici.
- Activació del control de cabal de la columna de destil·lació C-301.
- Obrir la vàlvula de pas d'entrada a la columna.
- Activació del control de nivell, temperatura i pressió de la columna amb un *setpoint* menor que el de disseny.
- Comprovació que el reflux total es produeix adequadament (sense fugues en la sortida de líquid dels *reboilers* i que no hi hagi vapor al acumulador).
- Quan el control de nivell arriba al *setpoint*, tancar la vàlvula d'entrada a la columna per a que el reflux total es faci de manera discontinua.
- Quan la temperatura del destil·lat i la del *reboiler* arriben al *setpoint* (estat estacionari):
 - Obrir el control automàtic del nivell
 - Obrir la vàlvula de control de sortida de residu del *reboiler* i de vapor al acumulador.
 - Reduir el cabal d'aigua de refrigeració al condensador.
- Tornar a canviar el *setpoint* de control de nivell cabal i temperatura al de disseny.

8.5.2. Funcionament en estat estacionari

La columna C-301 (columna recuperadora d'acetat de vinil), opera a 75,5 °C i 0,12 barg al cap de columna i a 77,8 °C i 0,18 barg al fons.

Pel fons de columna una part del fluid es recircula cap al *reboiler* i l'altra es bombeja a la columna azeotròpica. Aquest corrent esta compost principalment d'acetat de vinil i àcid acètic.

Pel cap de columna el fluid passa pel condensador E-301 que canvia la fase del fluid de gas a líquid i aquest va fins l'acumulador. Des de l'acumulador, es bombeja per la bomba P-302 fins la columna i fins al tanc de final de producció passant per un últim bescanviador que refreda el fluid fins als 40 °C.

8.5.3. Aturada normal

Per a l'aturada normal de la unitat, el primer que es fa es parar el subministrament de producte als equips. Es tanquen les vàlvules d'entrada a la columna. Després es buiden tots els equips mitjançant bombes de buit. Posteriorment s'apaguen tots els equips de control i els serveis en planta de manera regulada. Finalment es fa un tractament químic als equips i canonades de procés per evitar la pèrdua de la qualitat del material que els conforma i es comprova la estanquitat d'aquests.

Un cop s'han realitzat tots aquests passos ja es pot iniciar el procediment de manteniment.

8.6. Aturades d'emergència

8.6.1. Fallada de subministrament elèctric

La fallada del subministrament elèctric suposa haver d'aturar la planta, ja que les bombes deixarien de funcionar i deixaria de circular el fluid per fons de columna. Per tant, es tancarien les vàlvules d'entrada d'alimentació de la columna. També s'haurien d'aturar els cabals de vapor dels *reboilers* i els d'aigua de refrigeració.

8.6.2. Fallada d'aire d'instruments

La falla de l'aire d'instruments suposaria una fallada en totes les vàlvules de control del procés, aleshores el funcionament de la planta no estaria controlat i totes les vàlvules haurien de posicionar-se d'una forma segura.

8.6.3. Fallada vapor d'aigua

La fallada del servei de vapor d'aigua principalment afectaria al funcionament dels *reboilers* i si aquests deixen d'evaporar una quantitat del líquid del fons de columna, aquesta s'inundaria provocant la obertura de totes les vàlvules de sortida de la columna i d'aquesta forma el producte sortiria de la seva especificació fixada.

8.6.4. Fallada d'aigua de refrigeració

La fallada del subministrament d'aigua de refrigeració afectaria principalment al funcionament dels condensadors, ja que si no hi ha condensació parcial, la pressió de la columna augmentaria considerablement. Per tant, s'obriran totes les vàlvules de seguretat.

9. ESTUDI ECONÒMIC

L'estudi econòmic és imprescindible en qualsevol estudi de la viabilitat d'una planta. S'ha realitzat aquest estudi econòmic per a les tres unitats de procés, determinant el cost estimat de la instal·lació i construcció de cada unitat i el VAN, la TIR i el *Payback Period*. A més, es realitza un anàlisi de sensibilitat per als casos d'un augment del 20% dels costos de construcció i d'instal·lació i una disminució d'un 10% el preu de venda del producte.

Aquest estudi econòmic s'ha efectuat seguint les referències 21 i 22.

9.1. Estimació dels costos d'instal·lació i construcció

L'estimació dels costos d'instal·lació i construcció son necessaris per determinar el valor de la inversió inicial.

El preu dels equips s'ha extret de la referència 35 i en el cas de columnes de l'*Aspen Hysis*TM v10 (ref.5). Cal esmentar que alguns preus dels equips són del 2014, per tant s'ha de tenir en compte el *Chemical Cost Plant Index*; CEPCI, per tal d'ajustar aquests preus al 2021 (ref.29). En l'annex A.10, es mostren detalladament els càlculs de l'estimació dels costos.

A continuació, en les següents taules es mostren els diferents preus dels equips.

Taula 9.1. Preu dels equips en la unitat C-101.

Equip	Preu (€)
C-101	75.000
P-101 A/B	8.400
R-101	15.700
E-101	43.100
E-102	26.800

Taula 9.2. Preu dels equips en la unitat C-201.

Equip	Preu (€)
C-201	120.000
P-201 A/B	7.400
P-202 A/B	7.400
A-201	41.400
E-201	43900
E-202	7800
E-203	26.900

Taula 9.3. Preu dels equips en la unitat C-301.

Equip	Preu (€)
C-301	230.000
P-301 A/B	11.400
P-302 A/B	11.400
A-301	30.000
R-301	59.200
E-301	83.500
E-302	63.200

Per l'altra banda, s'ha de valorar el preu dels equips no llistats; és a dir, els equips no llistats. S'ha considerat que el PFD és molt elaborat, per tant, es suposa que el preu d'aquests equips serà el 5% del cost total dels equips principals, seguint la referència 21.

Taula 9.4. Preu dels equips no llistats en les diferents unitats de procés.

Equip	Preu (€)
C-101	8.746
C-201	14.615
C-301	25.292

Un cop obtingut el preu dels equips principals i dels no llistats, es determinen els diferents factors per cost de la instal·lació, mitjançant la figura de l'annex A.10. en funció del preu mitjà dels equips. Aquest preu es mostra en les següents taules:

Taula 9.5. Preu mitjà dels equips de les diferents unitats de procés.

Equip	Preu (€)
C-101	29.154
C-201	40.343
C-301	56.204

Seguidament amb el preu mitjà de les diferents unitat de procés, es determinen els factors d'instal·lació. Cal esmentar que tots els valors escollits de cadascun dels factors es troben dintre del rang, aproximant el valor al límit que estigui més proper.

A continuació, es mostren les diferents taules per als factors d'instal·lació de cada unitat de procés.

Taula 9.6. Valor dels diferents factors d'instal·lació de la C-101.

Factor d'instal·lació	Tipologia	Valor
Muntatge equip bàsic	Mitjà	13
Fonaments i estructures	Baix- Equip sobre sòl	2
Canonades sense aïllament	Baix - Líquid	30
Aïllaments equips i canonades	Mitjà – Plantes químiques	15
Electricitat i il·luminació	Líquids	11
Instrumentació	Baixa	15
No comptabilitzar	Simple	1
Edificis	Equips a l'exterior	15

Taula 9.7. Valor dels diferents factors d'instal·lació de la C-201.

Factor d'instal·lació	Tipologia	Valor
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	17
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	5
Canonades sense aïllament	Alta-Plantes químiques	60
Aïllaments equips i canonades	Mitjà – Plantes químiques	14
Electricitat i il·luminació	Líquids	10
Instrumentació	Elevada	34
No comptabilitzar	Simple	1
Edificis	Equips a l'exterior	16

Taula 9.8. Valor dels diferents factors d'instal·lació de la C-301.

Factor d'instal·lació	Tipologia	Valor
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	17
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	5
Canonades sense aïllament	Mitjà-líquids	23
Aïllaments equips i canonades	Mitjà-Plantes químiques	10
Electricitat i il·luminació	Líquids	8
Instrumentació	Elevada	22
No comptabilitzar	Procés Simple	1
Edificis	Equips a l'exterior	11

Dintre del factor d'instal·lació dels edificis també s'ha de tenir en compte els serveis. En la següent taula es mostren els valors dels factor d'instal·lació dels serveis dels edificis. Aquests valors seran igual per a les tres unitats de procés.

Taula 9.9. Valor dels factors d'instal·lació dels serveis dels edificis.

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

Per últim, es mostra el total del costos d'instal·lació i construcció en la següent taula:

Taula 9.10. Costos totals d'instal·lació i construcció de les unitats de procés en €.

Tipus de costos	C-101	C-201	C-301
Cost de l'equip principal	$175 \cdot 10^3$	$292 \cdot 10^3$	$506 \cdot 10^3$
Cost dels equips no llistats	$8,75 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$
Cost dels factors	$199 \cdot 10^3$	$506 \cdot 10^3$	$544 \cdot 10^3$
Cost directe de la planta	$383 \cdot 10^3$	$813 \cdot 10^3$	$1,08 \cdot 10^6$
Cost indirecte de la planta	$111 \cdot 10^3$	$236 \cdot 10^3$	$312 \cdot 10^3$
Imprevistos	$53,6 \cdot 10^3$	$114 \cdot 10^3$	$150 \cdot 10^3$
Cost total	$548 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^6$	$1,54 \cdot 10^6$

9.2. Estimació de costos directes, indirectes i ingressos

L'avaluació econòmica requereix conèixer el valor del cost d'instal·lació i construcció anteriorment calculat i a més, els costos directes fixos i variables, els costos indirectes i els ingressos, els qual es mostraran en aquest apartat.

9.2.1. Costos directes fixos

Dintre dels costos directes fixos s'inclou el personal de la planta. Un altre aspecte a tenir en compte és el preu de manteniment ja que es considera un 2% del cost d'instal·lació seguint la metodologia de la ref. 22 mostrada en l'annex A.10.

Taula 9.11. Costos directes fixos de la C-101.

Tipus de costos	Unitats	Preu unitat (€/unitat·any))	Preu anual (€/any)
Operaris instal·lació	1	40.000	40.000
Laboratori	1	40.000	40.000
Supervisió	1	50.000	50.000
Gestió	1	25.000	25.000
Manteniment	-	-	13.691

Taula 9.12. Costos directes fixos de la C-201.

Tipus de costos	Unitats	Preu unitat (€/unitat·any))	Preu anual (€/any)
Operaris instal·lació	1	40.000	40.000
Laboratori	1	40.000	40.000
Supervisió	1	50.000	50.000
Gestió	1	25.000	25.000
Manteniment	-	-	29.077

Taula 9.13. Costos directes fixos de la C-301.

Tipus de costos	Unitats	Preu unitat (€/unitat·any))	Preu anual (€/any)
Operaris instal·lació	1	40.000	40.000
Laboratori	1	40.000	40.000
Supervisió	1	50.000	50.000
Gestió	1	25.000	25.000
Manteniment	-	-	38.541

9.2.2. Costos directes variables

Aquests costos inclouen les matèries primes i els diferents serveis de la planta. En aquest cas, les unitats de procés estudiades no tenen cap matèria prima que suposi una despesa, ja que l'alimentació de les diferents unitats de procés son compostos generats al llarg del procés. Per tant, aquesta avaluació econòmica està subjecta a l'avaluació econòmica de la part prèvia del procés general. Seguidament, les següents taules mostren els valors dels costos directes variables de les diferents unitats de procés estudiades.

Taula 9.14. Costos directes variables de la C-101.

Tipus de servei	(Unitat/any)	Preu unitat (€)	Preu anual (€/any)
Vapor (tona)	2144	24,21	51.906
Aigua refrigeració (m ³)	26584	0,56	14.887
Energia elèctrica (kWh)	50·10 ³	0,04	2.020

Taula 9.15. Costos directes variables de la C-201.

Tipus de servei	(Unitat/any)	Preu unitat (€)	Preu anual (€/any)
Vapor (tona)	3.856	24,21	93.354
Aigua refrigeració (m ³)	140.936	0,56	78.924
Energia elèctrica (kWh)	70·10 ³	0,04	2.827

Taula 9.16. Costos directes variables de la C-301.

Tipus de servei	(Unitat/any)	Preu unitat (€)	Preu anual (€/any)
Vapor (tona)	15.536	24,21	376.127
Aigua refrigeració (m ³)	841.549	0,56	471.267
Energia elèctrica (kWh)	100·10 ³	0,04	4.039

9.2.3. Costos indirectes fixos

Es calcula el valor dels costos indirectes fixos mitjançant la ref.22 i l'annex A.10. Aquests tipus de costos engloben els costos dels recursos humans de l'empresa en l'àmbit general. Aquest cost serà igual per a les tres unitats de procés.

Taula 9.17. Costos indirectes fixos.

Tipus de cost	Preu (€/any)	Contribució a la unitat	Cost anual (€/any)
Direcció	20.000	1%	200
Seguretat i medi ambient	10.000	5%	500
Administració	5.000	1%	50

SS Mèdics	100.000	1%	1.000
RR Humans	5.000	1%	50

9.2.4. Ingressos

Els ingressos obtinguts de les unitats de procés són la venda dels productes. Els preus del productes han estat donats pel tutor. (ref.12)

La unitat de procés C-101 recupera l'acetat de vinil de l'aigua, ja que del contrari faria cap a aigües residuals i no es podria vendre. Es considera que l'acetat de vinil que surt pel cap de columna es pur per a la seva venda.

Taula 9.18. Ingressos de la unitat C-101.

Producte	Cabal (t/any)	Preu unitat (€/t)	Preu anual (€/any)
Acetat de vinil	854	745	636.240

La unitat de procés C-201 recupera l'acetat de vinil de la mescla amb l'acetaldehid, ja que del contrari s'enviaria cap a l'incinerador i es considera una pèrdua de producte. La quantitat d'acetat de vinil que es recupera amb aquesta columna es considera el ingrés que s'obté aquesta columna.

Taula 9.19. Ingressos de la unitat C-201.

Producte	Cabal (t/any)	Preu unitat (€/t)	Preu anual (€/any)
Acetat de vinil	4.216	745	3.140.622

La unitat de procés C-301 recupera l'acetat de vinil que inicialment està mesclat amb àcid acètic. Un cop realitzat el procés de separació, l'acetat de vinil queda pur, per tant, el seu valor és superior.

Per a poder realitzar el càlcul dels ingressos s'ha suposat que en un primer moment l'acetat de vinil mesclat amb l'àcid acètic té un valor un 20% inferior al acetat de vinil pur. Amb aquesta suposició podem afirmar que el benefici en quant al producte serà d'un 20 % superior gràcies a la unitat de separació de la columna C-301.

Taula 9.20. Ingressos de la unitat C-301.

Producte	Cabal (t/any)	Preu unitat (€/t)	Preu anual (€/any)
Acetat de vinil	76.772	745	57,2·10 ⁶
Àcid acètic	33	393	13.079

Llavors, com aquest benefici també és el cost d'entrada de producte a la columna, es té en compte sols el 20% dels ingressos. Finalment queden uns ingressos de 11,4M€/any gràcies a la purificació de l'acetat de vinil.

9.3. Avaluació econòmica

L'avaluació econòmica s'efectua calculant el VAN, Valor Actual Net, la TIR, Taxa Interna de Rendibilitat i el *Payback Period*. Coneixent aquests paràmetres, es pot determinar si la implementació d'aquestes unitats de procés és rentable. El cost d'oportunitat és del 10% i la vida útil s'ha considerat de 10 anys. (ref.12)

Taula 9.21. VAN, TIR i *Payback Period* de les diferents unitats de procés.

Paràmetre	C-101	C-201	C-301
VAN	$9,81 \cdot 10^5 \text{ €}$	$9,14 \cdot 10^6$	$36,5 \cdot 10^6$
TIR	45,6%	153,4%	432,9%
<i>Payback Period</i>	2,1 anys	0,7 anys	0,2 anys

9.4. Anàlisi de sensibilitat

L'anàlisi de sensibilitat es realitza amb l'objectiu d'estudiar la rendibilitat del projecte seguint els paràmetres del VAN, TIR i *Payback Period*. Es proposen diferents escenaris, un augment d'un 20% del cost d'instal·lació i construcció o una disminució d'un 10% el preu de venda del producte.

Seguidament, en les següents taules es mostren els valors dels diferents paràmetres per als escenaris proposats.

Taula 9.22. VAN, TIR i *Payback Period* amb un augment del 20% els costos d'instal·lació.

Paràmetre	C-101	C-201	C-301
VAN	$8,75 \cdot 10^5 \text{ €}$	$8,92 \cdot 10^6$	$36,2 \cdot 10^6$
TIR	37,3%	127,7%	360,8%
<i>Payback Period</i>	2,6 anys	0,8 anys	0,3 anys

Taula 9.23. VAN, TIR i *Payback Period* amb una disminució del 10% del preu de venda.

Paràmetre	C-101	C-201	C-301
VAN	$7,50 \cdot 10^5 \text{ €}$	$8,00 \cdot 10^6$	$32,3 \cdot 10^6$
TIR	37,9%	136,2%	385,5%
<i>Payback Period</i>	2,5 anys	0,7 anys	0,3 any

L'evolució del *clash flow* acumulat en els diferents escenaris estudiats en l'anàlisi de sensibilitat es mostra en les següents figures:

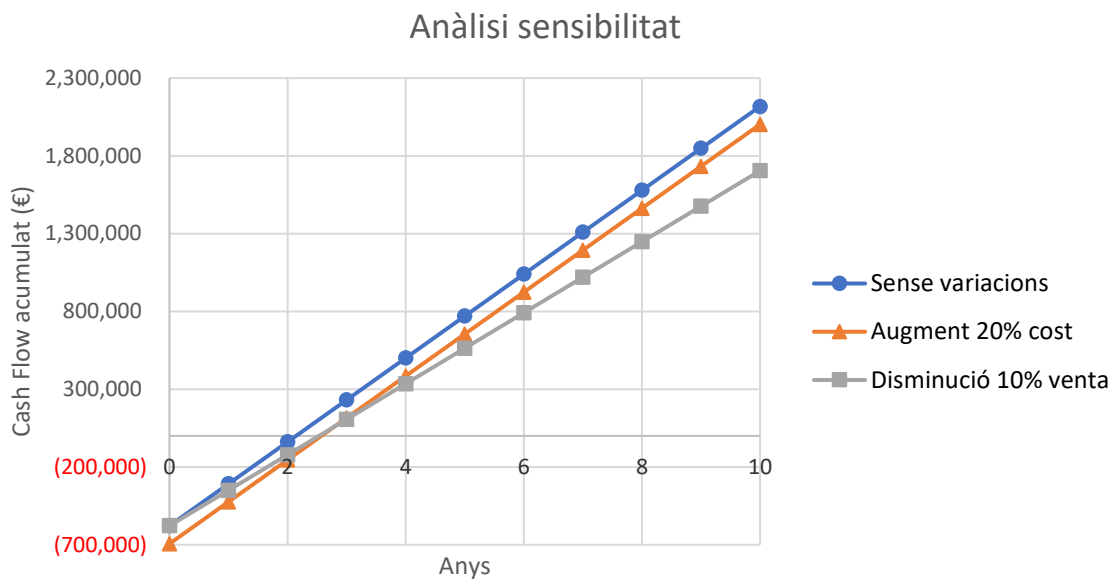


Figura 9.1. Evolució del *cash flow* acumulat en la C-101.

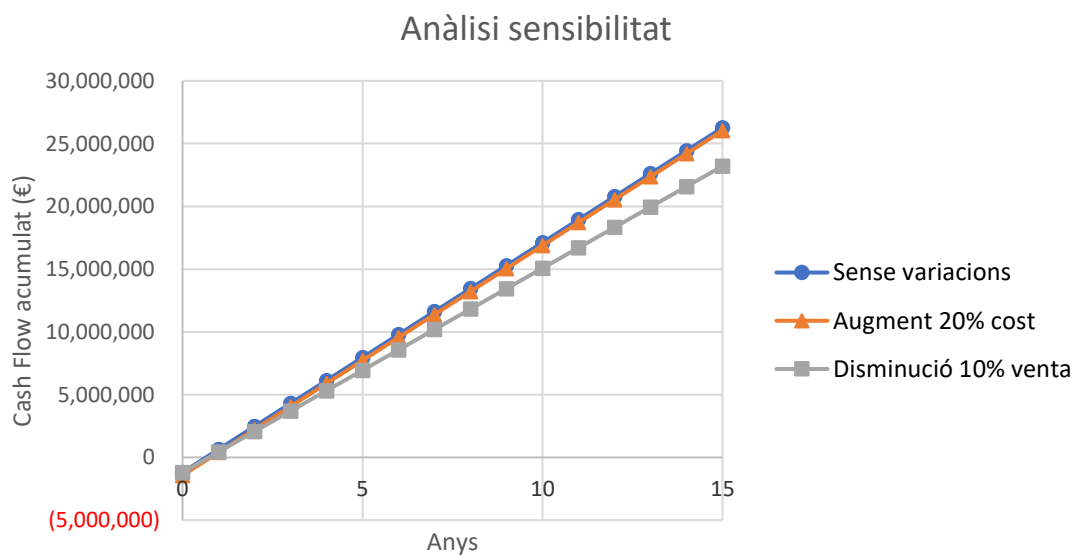


Figura 9.1. Evolució del *cash flow* acumulat en la C-201.

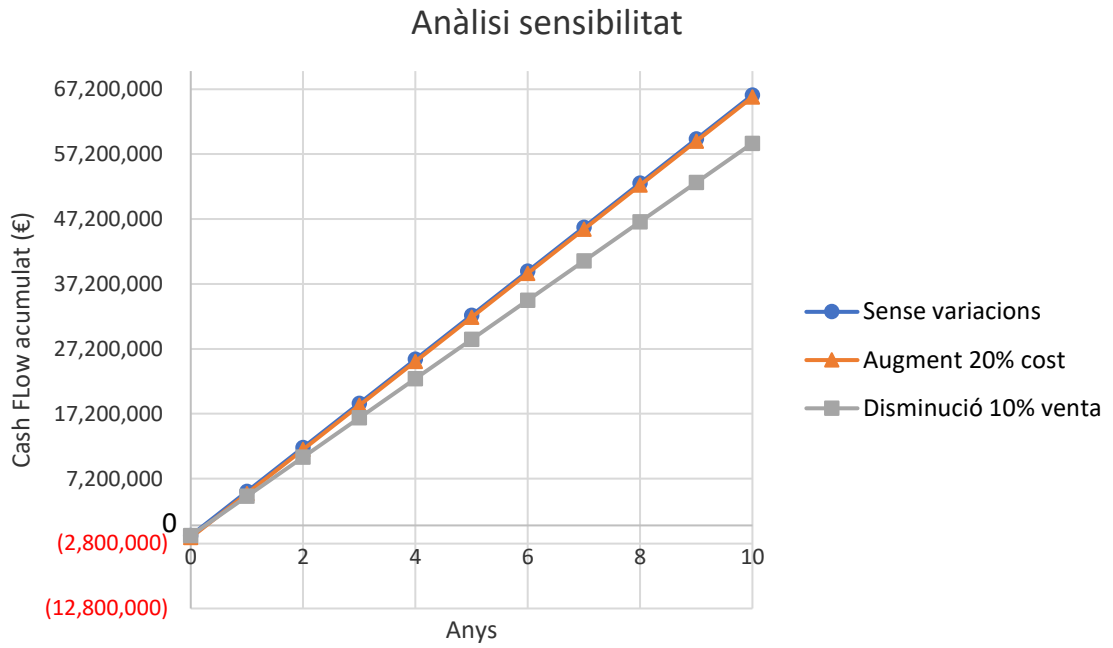


Figura 9.2. Evolució del *cash flow* acumulat en la C-301.

Es pot determinar que una disminució del 10% del preu de venda té una influència major en el *cash flow*. Per tant, l'anàlisi de sensibilitat mostra com un augment d'un 20% del cost d'instal·lació i construcció té un efecte menys rellevant que la disminució del preu.

10. CONCLUSIONS

S'ha aconseguit dissenyar les tres unitats de separació de procés amb el simulador *Aspen HysysTM v10*, on s'ha utilitzat el mètode *FUEM* per determinar el nombre d'etapes de les columnes de destil·lació. Un cop obtingut el model simple, s'ha desenvolupat el model rigorós *RadFrac* de les tres columnes. Primerament, es va utilitzar NRTL com a paquet termodinàmic, però no es va aconseguir la separació desitjada. Finalment, es va escollir UNIQUAC-HOC per a la C-101, Wilson per a la C-201 i NRTL-HOC per a la C-301 per raons intrínseques a les característiques de la mescla del fluid.

S'han efectuat els tres diagrames de procés de cadascuna de les unitats estudiades, els diagrames flux i els d'instrumentació i canonades.

El dimensionament de les canonades s'ha realitzat agafant el gruix corresponent a la taula Schedule 40 i tenint en compte l'aïllament tèrmic necessari. Pel que fa la instrumentació, s'ha utilitzat el catàleg *Emerson* per determinar els elements requerits en la proposta de control de les unitats de procés estudiades.

S'ha dissenyat cadascun dels equips que formen les unitats del procés, incloent-hi el disseny mecànic. Els *reboilers*, condensadors i refredadors han estat dissenyats a partir de l'*Aspen EDR*. Pel que fa al disseny de la bomba s'han utilitzat diferents catàlegs per a determinar els paràmetres necessaris de les corbes característiques.

S'ha elaborat el manual de seguretat, incloent-hi el HazOp + Mini LOPA de cadascuna de les unitats de procés, el diagrama de les zones ATEX del procés i un pla d'autoprotecció per a la planta. A més, s'han dissenyat vàlvules de seguretat per a possibles casos de foc a la planta.

S'han estudiat diferents mètodes de manteniment, correctiu, preventiu, predictiu i l'estudi de RCM de la unitat de recuperació d'acetat de vinil. On s'ha aprofundit en l'estudi de *Reliability Centered Maintenance* (RCM), definint com l'etapa més crítica la condensació de la columna C-301.

S'han comptabilitzat les diferents tipus d'emissions que es poden produir en els processos estudiats, així com l'estudi de les possibles emissions de gasos d'efecte hivernacle que es poden produir.

S'ha efectuat el manual d'operacions per tal de conèixer el protocol que s'ha de seguir tant per a la posada en marxa com per a la parada de cadascuna de les unitats estudiades. A més, aquest manual inclou el procediment de parada en cas d'emergència.

S'ha realitzat un estudi econòmic per cada una de les unitats de procés a partir dels paràmetres econòmic del VAN la TIR i el *Payback Period*. En el cas de la C-101, s'obté un *Payback Period* d'aproximadament 2 anys. Per l'altra banda en la C-201 i la C-301, s'obté un valor inferior a un any. D'aquest estudi es conclouen uns resultats viables econòmicament. Amb l'objectiu d'a profunditzar en l'avaluació econòmica es duu a terme un anàlisi de sensibilitat en el qual es determinen els paràmetres econòmics per dos escenaris diferents com un augment del 20% del cost d'instal·lació i construcció o una disminució de 10% del preu de venda del producte.

11. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

- [1] A. Kayode Coker. (2010). *Ludwig's Applied Process Design for Chemical Petrochemical Plants. Volume 1*, Elsevier.
- [2] Anderson Greenwood, Crosby and Varec Products. (2012). *Pentair Pressure Relief Valve Engineering Handbook*.
- [3] ASME. (2016). *Taula A.3 Materials*.
- [4] Aspen Exchanger Design and rating V10. (2021).
- [5] Aspen Hysys V10. (2021).
- [6] Crane. (1980). *Flow of fluids*. England.
- [7] Crosby Valve Inc. (1997). *Crosby Pressure Relief Valve Engineering Handbook*.
- [8] Dimian, A. C. (2008). *Chemical process design Chapter 10: Vinyl acetate monomer process*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [9] Emerson. (2019). *Control Valve Handbook, 5th edition*.
- [10] Emerson. (s.f.). *Emerson Crosby J-Series direct spring pressure relief valves*.
- [11] Felder & Rousseau. (2004). *Principios elementales de los procesos químicos, 3a edición*. México.
- [12] Dr. Jose Basco. Informació confidencial (Maig 2021).
- [13] J.P. Contreras, J.C. Naranjo, S. Ramírez & D.M. Martínez. (2008). *Vinyl Acetate from ethylene, acetic acid and oxygen Industrial Plant Simulation*. Bogotá, Colombia.
- [14] José Acedo Sanchez. (2002). *Control avanzado de procesos*. Madrid, España.
- [15] Kister, H. Z. (1992). *Distillation Design*. Alhambra, California.
- [16] Megyesy, E. F. (2001). *Pressure vessel handbook*. USA.
- [17] Norma UNE 202007. (s.f.). *Guía de aplicación de la norma EN 60079-10*.
- [18] Norma UNE 60079-10-1-2016 . (s.f.). *ATEX Clasificación emplazamientos*.
- [19] Othmer, K. . (s.f.). *Encyclopedia of Chemical Technology*.
- [20] Rase, H. F. , Barrow, M. H. . (1988). *Ingeniería de proyecto para plantas de proceso*. Texas.
- [21] Rolán, A. (2000). *Estimación de costes de instalación (full excel)*. ETSEQ URV.
- [22] Rolán, A. (2000). *Evaluación económica (full excel)*. ETSEQ URV.
- [23] Romera, M. A. (2004). *Aplicación del RCM en un proceso químico*.
- [24] Sinnott, R. (2007). *Chemical Engineering Design V.6*. Coulson & Richardson's chemical engineering series.
- [25] Técnicas reunidas S.A. (1985). *Diseño de acumuladores de reflujo*. Inf. confidencial.
- [26] TEMA. (2007). *Standards of the tubular exchanger manufacturers association*.
- [27] Ullmann, F. (2007). *Enc. of Industrial Chemistry*.
- [28] Uthirapathi Vengateson. (2010). *Design of multiple shell and tube heat exchangers in series: E shell and F shell*. Elsevier

- [29] <https://www.chemengonline.com/2021-cepci-updates-january-prelim-and-december-2020-final/> (Maig 2021)
- [30] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-20074> (Maig 2021)
- [31] <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-613> (Maig 2021)
- [32] <https://www.sterlingsihi.com/cms/es/Spain/home/navegacion-rapida/descargas/catalogos-de-productos/bombas-para-liquidos.html> (Maig 2021)
- [33] <https://www.inoxpa.es/productos/bombas/bombas-centrifugas> (Maig 2021)
- [34] <https://www.acinesgon.com/productos/tubos/tuberia-schedule-astm/> (Maig 2021)
- [35] <http://www.matche.com/equipcost/EquipmentIndex.html> (Maig 2021)
- [36] <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/tarragona-1565/> (Maig 2021)
- [37] <https://www.google.es/maps/?hl=es> (Maig 2021)
- [38] <https://webbook.nist.gov/> (Maig 2021)
- [39] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tray_Distillation_Tower_EN.svg (Juny 2021)

ANNEXOS

A.1. Disseny de columnes: FUEM

En aquest apartat es mostra el procediment de càlcul per al disseny de la columna segons el mètode *FUEM* (Fenske Underwood Erbar-Maddox) seguint la ref.24. Es determina el nombre de plats i el reflux de la columna per tal de introduir-lo al *Hysys*TM v10.

Primerament es determinen tots els compostos d'entrada amb la seva pressió i temperatura. Seguidament es troba el clau pesant i lleuger. Després d'haver definit el clau lleuger i el clau pesant, es determina el percentatge que es vol recuperar del clau pesant i lleuger pel fons de columna i cap de la columna.

Un cop definit el percentatge que es vol recuperar, es calcula la pressió de vapor d'alimentació amb l'equació d'Antoine segons la temperatura donada.

$$\log_{10} P^* = A - \frac{B}{T+C} \quad (\text{E.1})$$

On la P^* és la pressió de vapor del component en aquella temperatura, A, B i C són constants d'Antoine del component i T la temperatura. Cal especificar que, les constants d'Antoine son extretes del *Nist* (ref.38), la pressió està en bar i temperatura en K. En canvi les constants d'Antoine trobades pel *Felder* (ref.11), la pressió està en mm Hg i temperatura en °C. Un cop calculades totes pressions de vapor, es calcula la pressió total d'alimentació.

$$P = \sum P_i^* \cdot x_i \quad (\text{E.2})$$

On P és la pressió total del corrent, i x la fracció molar del component.

Un cop trobada la pressió total, es calcula la volatilitat absoluta.

$$\alpha_i = \frac{P_i^*}{P} \quad (\text{E.3})$$

Després de trobar la volatilitat absoluta de tots components, es divideix entre la volatilitat absoluta del clau pesant per trobar la volatilitat relativa.

$$\alpha_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j} \quad (\text{E.4})$$

On la α_j és la volatilitat relativa del clau pesant.

Un cop trobades totes les volatilitats s'introdueixen a l'equació de *Hengstebeck* i balanç de matèria per distribuir els altres compostos.

$$\ln \frac{(n_i)_D}{(n_i)_R} = A \cdot \ln(\alpha_{i,j}) + B \quad (\text{E.5})$$

$$(n_i)_F = (n_i)_D + (n_i)_R \quad (\text{E.6})$$

On el subíndex D vol dir cabal en destil·lat, F en alimentació i R en el rebuig, n_i és el cabal de cada compost i A i B són constants de càlcul. Per trobar les constants A i B s'aplica l'equació de *Hengstebeck* als claus pesants i lleugers ja que els cabals d'aquests són coneguts.

$$\ln \frac{(n_{CL})_D}{(n_{CL})_R} = A \cdot \ln(\alpha_{CL,CP}) + B \quad (\text{E.7})$$

$$\ln \frac{(n_{CP})_D}{(n_{CP})_R} = A \cdot \ln(\alpha_{CP,CP}) + B \quad (\text{E.8})$$

Un cop determinat tots els cabals de tots els compostos, es calcula la pressió de vapor del destil·lat i rebuig per treure la pressió total de destil·lat i rebuig per calcular les volatilitats. Cal especificar que al càlcul de volatilitats s'ha calculat la volatilitat mitjana de cada compost per seguir amb el pas següent.

$$\alpha_m = \sqrt[3]{\alpha_D \cdot \alpha_F \cdot \alpha_R} \quad (\text{E.9})$$

Amb totes les volatilitats calculades, s'utilitzarà l'equació de *Fenske* per trobar el nombre d'etapes mínimes.

$$N_{min} = \frac{\ln \left[\left(\frac{x_{CL}}{x_{CP}} \right)_D \cdot \left(\frac{x_{CP}}{x_{CL}} \right)_R \right]}{\ln (\alpha_{CL,CP})_m} \quad (E.10)$$

On el subíndex m és el valor mitjà i N_{min} , nombre d'etapes mínimes de la columna.

I ara es calcula el reflux mínim amb l'equació d'*Underwood*.

$$r_{min} + 1 = \sum_i \frac{x_{D,i} \cdot \alpha_{i,j}}{\alpha_{i,j} - \theta} \quad (E.11)$$

On r_{min} és el reflux mínim, i la θ es calcula a partir de la equació següent:

$$1 - q = \sum_i \frac{x_{F,i} \cdot \alpha_{i,j}}{\alpha_{i,j} - \theta} \quad (E.12)$$

On la q és un valor que depèn de la condició d'alimentació, en el cas de les columnes del projecte, l'alimentació són tot líquid llavors el valor de q és 1.

Per al reflux mínim, s'agafa el reflux d'operació segons el criteri que el reflux d'operació és de 1,1 a 1,5 vegades més gran que el reflux mínim, variable depenent del moment econòmic.

Un cop calculat el reflux d'operació, amb la correlació Erbar-Maddox; que és una gràfica, se situa el valor de N_m/N , que és l'eix X de la gràfica, per calcular el nombre d'etapes d'operació. Els valors de l'eix Y de la gràfica es calculen amb l'equació següent:

$$\frac{R}{R+1} \quad (E.13)$$

I les corbes de la gràfica:

$$\frac{R_M}{R_M+1} \quad (E.14)$$

Obtingut aquests dos valors se selecciona el valor de N_m/N . Amb aquest valor es calcula el nombre d'etapes d'operació.

$$N = \frac{N_m/N}{N_m} \quad (E.15)$$

Finalment, es calcula l'etapa d'alimentació de la columna amb l'equació següent:

$$\frac{N_{min,rec}}{N_{min}} = \frac{N_{alim}}{N_{oper}} \quad (E.16)$$

On N_{oper} és el nombre d'etapes d'operació, N_{min} és el nombre d'etapes mínimes, N_{alim} és l'etapa d'alimentació i $N_{min,rec}$ és el nombre d'etapes mínimes rectificat que es calcula amb l'equació següent:

$$N_{min,rec} = \frac{\ln \left\{ \left(\frac{x_{CL}}{x_{CP}} \right)_D \left(\frac{x_{CP}}{x_{CL}} \right)_F \right\}}{\ln (\alpha_{CL,CP})_m} \quad (E.17)$$

Un cop calculat el nombre d'etapes d'operació, el reflux d'operació i nombre d'etapa d'alimentació s'introdueix al Hysys per iniciar el model rigorós.

A.2. Disseny hidràulic de canonades

El disseny de les canonades s'ha fet seguint el procediment del llibre *Flow of fluids*, Crane (ref.6)

A partir de les dades del balanç de matèria s'obtenen els cabals molars. Amb aquests cabals i la densitat molar del fluid que passa per la canonada es sap el cabal volumètric d'aquesta.

Per a la velocitat del fluid s'ha utilitzat un llistat de valors d'una taula proporcionada pel tutor. (ref.12). Aquesta velocitat varia segons la fase en la que es troba el fluid.

Un cop es sap el cabal volumètric i la velocitat del fluid es calcula el diàmetre mínim que ha de tenir la canonada amb la següent equació.

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{v}}{\pi \cdot u}} \quad (E.18)$$

Amb el valor del diàmetre interior mínim i les taules Schedule 40 (ref.34), es treu el valor del diàmetre nominal de la canonada. A continuació, es calcula el gruix mínim de la paret del tub que s'ha seleccionat. Si el valor que resultant és inferior, significa que s'ha escollit correctament el tub. S'ha utilitzat la formula següent:

$$t_{min} = \frac{P_d \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P_d \cdot y)} + A \quad (E.19)$$

On la S correspon al valor màxim d'estrès permès (MPa) del material, la E correspon al factor de soldadura, P_d és la pressió de disseny. Pel que fa a la y, és un factor adimensional que depèn de la temperatura i del material de la canonada. En aquest cas, s'ha pres un valor de y de 0,4.

Amb aquests dos valors (D_{min} i t_{min}), ja es pot seleccionar la canonada al llistat de canonades Schedule 40.

Per a les canonades que passa un fluid a una temperatura superior dels 40 °C s'ha dissenyat també el gruix del aïllament tèrmic. S'ha utilitzat un llistat d'un aïllament de llana de roca. (ref.12)

A.3. Disseny acumuladors de reflux

Per al disseny dels acumuladors s'ha seguit l'article de *Técnicas reunidas S.A.* (ref.25).

A continuació es mostren els diferents passos que s'han realitzat per a treure els valors del dimensionament dels acumuladors.

Aquest mètode està basat principalment amb el temps de residència que ha d'estar el cabal d'entrada dins del acumulador. El temps es determina mitjançant diferents factors, però el més important és el lloc on va destinat el fluid a la sortida del acumulador. (ref.25)

Un cop es sap el cabal d'entrada, el temps de residència i el factor de plenament (0,7), es procedeix a calcular el volum.

$$V = \frac{Q_o \cdot \text{temps residència}}{1 - fp} \cdot fp \quad (E.20)$$

Amb el volum calculat i la següent formula es pot treure el valor del diàmetre i de longitud del equip. S'ha de decidir també, un valor de relació entre el diàmetre i la longitud.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad (E.21)$$

També es pot escriure:

$$V = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot 1,8}{4} \quad (E.22)$$

I la formula final del diàmetre queda de la següent forma:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{1,8 \cdot \pi}} \quad (\text{E.23})$$

Seguidament, la longitud queda així:

$$L = 1,8 \cdot D \quad (\text{E.24})$$

A.4. Disseny mecànic equips a pressió

A partir de les dades principals dels equips es realitzen els càlculs per al disseny mecànic. Inicialment es calculen la pressió i la temperatura de disseny de l'equip.

Per a la pressió de disseny, es calcula primer la pressió del líquid en la següent equació:

$$P_{LIQ} = g \cdot \rho_{LIQ} \cdot h_{liq} \quad (\text{E.25})$$

Per a la pressió de disseny es realitza el càlcul seguint la següent formula on es té en compte la pressió del líquid prèviament calculada, la pressió del equip i la P_E , que és la suma de 1 bar o el 10% de la pressió del equip (el valor més alt).

$$P_{disseny} = P_{LIQ} + P_{equip} + P_E \quad (\text{E.26})$$

Per a la temperatura de disseny, simplement se li sumen 20 °C a la temperatura d'operació de l'equip en qüestió.

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20 \quad (\text{E.27})$$

Per calcular l'espessor necessària d'aguantar la pressió de disseny interna de l'equip es busca l'estrès màxim permès del material de l'equip a la temperatura de disseny.

A partir dels valors calculats anteriorment, tot seguint les equacions següents seguint la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref.16)

$$t_{cilindre} = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} \quad (\text{E.28})$$

$$t_{helicoïdal} = \frac{P_d \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} \quad (\text{E.29})$$

On R és el radi de l'equip (mm), E és l'eficiència de soldadura i D és el diàmetre de l'equip (mm).

A partir dels resultats obtinguts es suma un gruix per a la corrosió admissible.

Un cop obtingut l'espessor final de la columna es calcula si aquest espessor es pot suportar la carrega el vent. El procés de càlcul s'ha seguit la norma SE-AE.

Primer es calcula la pressió estàtica (q_e) dividint en l'alçada de l'equip en parts diferents ja que la carrega del vent afectada en alçada diferents és diferent.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad (\text{E.30})$$

On q_b és la pressió dinàmica del vent, C_e és el coeficient d'exposició i C_p és el coeficient de pressió.

Per a calcular la força del vent aplicada a l'equip es calcula l'àrea de contacte de l'equip.

$$A_i = h_i \cdot D_{e,i} \quad (\text{E.31})$$

On h_i és l'alçada i D_e el diàmetre exterior.

A partir de l'àrea calculada es calcula la força del vent aplicada a l'equip.

$$F_i = q_{e,i} \cdot A_i \quad (\text{E.32})$$

Es calcula el moment (M)(MPa) amb força calculada amb l'equació següent:

$$M_i = F_i \cdot H_i \quad (\text{E.33})$$

On H_i és l'alçada fins al punt centre de cada part.

Un cop calculada els moment de diferents parts, es fa el sumatori per calcula la càrrega del vent.

$$S = \frac{M}{W} \quad (\text{E.34})$$

On la W es calcula de l'equació següent:

$$W = 0,098 \cdot \frac{(D_e^4 - D_i^4)}{D_e} \quad (\text{E.35})$$

Un cop calculada la càrrega del vent es confirma que la càrrega del vent és menor que l'estrès màxim del material, si la càrrega del vent és major s'haurà d'augmentar l'espessor.

Ara es calcula l'espessor de l'equip deixant una deflexió màxim (δ) de 50mm. El primer pas és calcular la inèrcia (I)(mm⁴) amb l'equació següent:

$$\delta = \frac{w \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \quad (\text{E.36})$$

On L és l'alçada de l'equip, E és el mòdul elàstic del material i la w és la força del vent.

Amb el valor de inèrcia calculada anteriorment es troba l'espessor amb l'equació següent:

$$I = R^3 \cdot \pi \cdot t \quad (\text{E.37})$$

On la R és el radi de l'equip i t l'espessor de l'equip.

Un cop calculada l'espessor amb una deflexió màxima de 50mm de l'equip, s'agafa l'espessor més gran entre l'espessor per una deflexió màxima, l'espessor per la pressió interna i l'espessor per la càrrega del vent.

A continuació es calcularà el volum (m³) que ocupa la paret de l'equip, tant al cilindre com als capçals.

$$V_{ACER,cilindre} = \pi \cdot (Rc + Gp)^2 \cdot (Hc - Dc) \quad (\text{E.38})$$

$$V_{ACER,capçals} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (D_{ext} - D_{int})^3}{18} \quad (\text{E.39})$$

S'obté el pes de l'equip buit P_{buit} (kg) a partir de la equació següent:

$$P_{buit} = \rho_{acer} \cdot (V_{ACER,cilindre} + V_{ACER,capçals}) \quad (\text{E.40})$$

Ara es calcula el volum del cilindre i dels capçals (m³)

$$V_{cilindre} = \pi \cdot (Rc)^2 \cdot (Hc - Dc) \quad (\text{E.41})$$

$$V_{capçals} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (D)^3}{18} \quad (\text{E.42})$$

Per calcular el pes de l'equip quan està ple de líquid (kg), s'utilitza l'equació següent:

$$P_{LIQ} = P_{buit} + \rho_{liquid} \cdot (V_{cilindre} + V_{capçals}) \quad (\text{E.43})$$

Per últim, la pressió de disseny es multiplica per 1,43 per trobar el valor de la pressió de la prova hidràulica.

$$P_{Prova Hidraulica} = 1,43 \cdot P_{disseny} \quad (\text{E.44})$$

A.5. Disseny bombes centrífugues

La metodologia que s'ha seguit per tal de poder dissenyar les bombes, s'ha extret de la ref. 24.

Primerament, es calcula l'àrea transversal de la canonada A_{CS} (m^2):

$$A_{CS} = \frac{\pi}{4} \cdot (Di)^2 \quad (E.45)$$

On Di és el diàmetre interior de la canonada (m^2).

Seguidament, es calcula la velocitat del fluid u (m/s):

$$u = \frac{\dot{m}}{A_{CS} \cdot \rho} \quad (E.46)$$

On $\dot{m}$ és el cabal màssic a impulsar per la bomba (kg/s) i ρ és la densitat del fluid (kg/m^3).

A continuació, es calcula el nombre de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot Di}{\mu} \quad (E.47)$$

On μ és la viscositat del fluid (cP).

Per tal de calcular la pèrdua de càrrega per canonades (N/m^2), es segueix la següent equació:

$$\Delta P_f = 8 \cdot f \cdot (L/Di) \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \quad (E.48)$$

On L és la llargada de la canonada (m). Cal esmentar que aquesta pèrdua de pressió es calcula tant per a aspiració com per a impulsió.

Per tal de determinar el valor del factor de fricció f , primer cal conèixer el valor de la rugositat de la canonada, en aquest cas té un valor de 0,046 mm extret de la taula 5.2 de la ref. 24. Amb els valors de la rugositat i els Re , mitjançant la figura 5.7 de la ref. 24 es pot obtenir el valor de f .

Un altre aspecte a tenir en compte és la pèrdua menor per fricció, seguint el mètode de diàmetres de canonada equivalents per calcula la pèrdua de pressió total de la canonada.

A partir de la taula 5.3. de la ref.24, es determina l'equivalència en m de la pèrdua de càrrega de cada element present en l'aspiració en la impulsió de la bomba. Aquests elements presents i la longitud de la canonada han estat proporcionats pel tutor. (ref.12)

Seguint amb la metodologia, es calcula la longitud extra L_E (m) que ha de tenir la canonada per tal de tenir en compte les pèrdues menors i després la longitud total de la canonada L , la qual és la que s'utilitza per als càlculs de la pèrdua de pressió.

$$L_E = \sum \frac{L}{D} pèrdues menors \cdot Di \quad (E.49)$$

Els valors del sumatori són els extrems de la taula 5.3. de la ref. 24.

La longitud total de la canonada serà:

$$L = L_E + L_b \quad (E.50)$$

On L_b és la longitud bibliogràfica proposada pel tutor. (ref. 12)

Seguint l'equació (E.48) es calcula la pèrdua de càrrega per canonades (N/m^2), aquesta pèrdua total serà:

$$\Delta P_f = \Delta P_{f,impulsió} + \Delta P_{f,aspiració} \quad (E.51)$$

A continuació, es calcula la diferència d'alçada Δz (m) i la ΔP (N/m²) entre l'aspiració i la impulsió:

$$\Delta z = Z_{\text{aspiració}} - Z_{\text{impulsió}} \quad (\text{E.52})$$

$$\Delta P = P_{\text{aspiració}} - P_{\text{impulsió}} \quad (\text{E.53})$$

Per últim, es calcula el treball (W) a realitzar per la bomba:

$$W = \frac{\Delta P_f}{\rho \cdot g} \cdot \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \cdot \Delta z \quad (\text{E.54})$$

On g és l'acceleració de la gravetat, 9,81 m/s².

La W calculada s'ha d'adaptar a les unitats (kW) amb les quals treballen els fabricants als seus catàlegs.

$$W(\text{kW}) = W(\text{m}) \cdot \frac{g \cdot \dot{m}}{1000} \quad (\text{E.55})$$

Per tal de determinar el valor de la potència requerida de la bomba, s'ha d'escollir una bomba del catàleg per utilitzar l'eficiència n:

$$W = \frac{W(\text{kW})}{n} \quad (\text{E.56})$$

Per últim, es calcula el NPSH disponible (m):

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\rho \cdot g} + H_a - \frac{\Delta P_f}{\rho \cdot g} - \frac{P_{\text{vap},a}}{\rho \cdot g} \quad (\text{E.57})$$

On P_a és la pressió del líquid en el recipient d'alimentació (N/m²), H_a és l'alçada del líquid per sobre de l'aspiració (m), ΔP_f és la pèrdua de pressió en la canonada d'aspiració (N/m²) i $P_{\text{vap},a}$ és la pressió de vapor del líquid a la secció d'aspiració (N/m²).

El valor obtingut de la NPSH disponible haurà de ser superior al NPSH requerit del catàleg de la bomba.

A.6. Disseny de sabates de columnes de destil·lació

En aquest apartat es mostrarà el procediment de càlcul que s'ha emprat per al disseny de la cimentació tipus sabata d'una columna (ref.20). El primer pas que s'ha realitzat és aconseguir el pes de la base. Per aconseguir el pes, es calcula l'àrea i volum del pedestal i de la base.

$$A_{\text{octagon}} = 0,828 \cdot d^2 \quad (\text{E.58})$$

On d és diàmetre el diàmetre menor del octàgon. Amb l'àrea obtinguda es calcula el volum del pedestal.

$$V_{\text{pedestal}} = A_{\text{octagon}} \cdot L \quad (\text{E.59})$$

On L és l'espessor de la base de pedestal.

Posteriorment, es calcula l'àrea i volum de la base.

$$A_b = 0,828 \cdot d_b^2 \quad (\text{E.60})$$

On d_b és el diàmetre de la base. Amb l'àrea obtinguda es calcula el volum de la base.

$$V_{\text{base}} = A_b \cdot L_{\text{base}} \quad (\text{E.61})$$

On L_{base} és l'espessor de la base de la cimentació. Ara es suma els volums per obtenir el pes total de formigó necessari per a aquesta cimentació.

$$V_{total} = V_{pedestal} + V_{base} \quad (E.62)$$

$$m_f = V_{total} \cdot \rho_{formigó} \quad (E.63)$$

On $\rho_{formigó}$ és la densitat del formigó en kg/m^3 .

De seguida es calcula el pes del terra que hi ha per sobre de la cimentació.

$$m_t = ((L - L_{base}) \cdot (A_b - A_{octagon})) \cdot \rho_{terra} \quad (E.64)$$

On ρ_{terra} és la densitat del terra en kg/m^3 .

Ara es calcula la massa de tot el sistema.

$$m_s = m_f + m_t + m_c + m_a \quad (E.65)$$

On m_c és la massa de la columna buida i m_a la massa d'aigua necessària per omplir la columna. Finalment, es calcula la pressió que exerceix la columna contra el terra (s_1)(kg/cm^2).

$$s_1 = \frac{m_s}{A_b} \quad (E.66)$$

Un cop calculat la pressió que exerceix la columna contra el terra, es calcula la pressió que exerceix el vent contra la columna (p_c).

$$p_c = 0,0047 \cdot V_v^2 \quad (E.67)$$

On V_v és la velocitat del vent. Ara es calcula la força massa que exerceix el vent contra la columna (p_{10}) per tal de treure el moment massa que exerceix el vent (M_v)($\text{kg} \cdot \text{cm}$).

$$p_v = d_{ext} \cdot p_c \cdot H \quad (E.68)$$

On d_{ext} és el diàmetre exterior de la columna que és afectada per la pressió del vent i l' H és l'alçada de la columna. Ara es troba el punt centre de la columna per calcular el moment.

$$L_c = L_f + \frac{L_c}{2} \quad (E.69)$$

On L_f és l'alçada del faldó i L_c és l'alçada de la columna. Un cop obtinguda el punt centre de la columna, es calcula el moment que exerceix el vent (M_v)($\text{kg} \cdot \text{cm}$).

$$M_v = p_v \cdot L_c \quad (E.70)$$

A continuació, es determina el mòdul de la secció per a la cimentació (Z)(cm^3).

$$Z = 0,1016 \cdot d_b^3 \quad (E.71)$$

Finalment, es calcula la càrrega que ha de suportar la cimentació a causa de l'acció del vent (s_2)(kg/cm^2).

$$s_2 = \frac{M_v}{Z} \quad (E.72)$$

Un cop determinades les dues càrregues, s'ha d'obtenir la càrrega total que ha de suportar la cimentació. Aquesta càrrega es defineix com:

$$s = s_1 + s_2 \quad (E.73)$$

El disseny d'una cimentació tipus sabata és acceptable quan el valor de s és menor a la càrrega que pot suportar el terra.

A.7. Zones ATEX

Per tal de determinar les zones ATEX s'han seguit les normes UNE-EN 60079-10-1, UNE 202007. (ref.17)(ref.18)

Primerament, es necessari definir el punt d'escapament, el grau de fuga (continu, primari o secundari), la seva durada, la mida del orifici per on surt a l'exterior i el coeficient de descàrrega pel orifici de fuga.

El primer pas consisteix en trobar el cabal del fluid que s'escapa.

$$W = Cd \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P} \quad (E.74)$$

On W és el cabal de fluid que s'escapa, el Cd és el coeficient de descàrrega, la S és l'àrea d'orifici (m²), la ρ és la densitat del fluid i ΔP la diferència de pressió entre la pressió del fluid i la pressió atmosfèrica (Pa).

Una atmosfera explosiva és generada per un vapor en l'aire. En cas de que el fluid que s'escapa no sigui vapor, es determina la quantitat de vapor que es genera pel canvi de pressió.

Per quantificar i determinar el diàmetre d'expansió la zona ATEX s'utilitza la figura D.1 de la (ref.18). Per poder utilitzar els gràfics es determina el valor de la característica d'escapament C_e (m³/s).

$$C_e = \frac{W_g}{\rho \cdot g} \cdot k \cdot LII \quad (E.75)$$

On g és la gravetat (m/s²), la k el factor de seguretat associat a la substància en qüestió, W_g és el fluid en vapor que s'ha generat pel canvi de pressió i el LII és el límit inferior d'explosió del fluid en volum. El valor de LII és extret de la taula A.1 de la (ref.17).

En la figura D.1 (ref.18) es determina la distància perillosa des de l'orifici d'escapament.

Finalment per classificar la classe i categoria de la zona ATEX s'ha agafat la taula D.1 de la (ref.18) i A.1 de la (ref.17) per determinar la classe, el grup i la categoria de temperatura.

A.8. Disseny de les vàlvules de seguretat

En aquest annex es mostra la metodologia seguida extreta del llibre *Pentair Pressure Relief Valve* (ref.2) per tal de dissenyar les diferents vàlvules de seguretat considerant un foc extern com a agent iniciador.

Seguint la ISO 23251 (API Standard 521), primerament es necessita calcular l'àrea mullada. En aquest cas com es considera un *process vessel*, l'altura màxima per a l'àrea mullada es de 7,6 metres des del lloc de l'incendi.

$$Aw = \pi \cdot D \cdot h + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (E.76)$$

On D és el diàmetre de la columna (m), h és l'altura màxima des del lloc de l'incendi (ft) i Aw és l'àrea mullada en m².

Seguidament, es calcula la calor total absorbida. S'ha de tenir en compte el factor ambiental F, tabulat en la taula 6.6. del llibre *Pentair Pressure Relief Valve* (ref.2). En aquest cas, el factor ambiental F és 1.

$$Q = 43200 \cdot F \cdot Aw^{0,82} \quad (E.77)$$

On Q és la calor absorbida en W, F és el factor ambiental i Aw és l'àrea mullada en ft².

A continuació, es calcula la capacitat d'alleujament requerida:

$$W = 3600 \cdot \frac{Q}{L} \quad (E.78)$$

On W és la capacitat d'alleujament requerida en (kg/h), L és la calor latent de vaporització del fluid de la columna en J/kg.

Finalment, es calcula l'àrea mínima de descàrrega requerida en mm^2 .

$$A = \frac{W}{C \cdot K \cdot P_1 \cdot K_b \cdot K_c} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}} \quad (\text{E.79})$$

On C és la relació entre C_p/C_v , K és el coeficient de descàrrega, K_b és el factor de correcció de contrapressió, K_c és el factor combinatori per a les instal·lacions amb ruptura de disc, M és el pes molecular del gas o vapor, Z és el factor de compressibilitat i T és la temperatura del vapor de alleujament a la vàlvula d'entrada en K . Aquests factors es troben tabulats a la referència (ref.2).

Per últim la P_1 , es la pressió d'alleujament en bars absoluts:

$$P_1 = SP + OP + AP - PPL \quad (\text{E.80})$$

On SP és la *set pressure* en barg, OP és la *overpressure* en barg, AP és la pressió atmosfèrica en bara i la PPL és la pèrdua de pressió a la canonada d'entrada en barg.

Un cop obtingut el valor de l'àrea mínima de descàrrega requerida, es selecciona el tipus d'orifici que es trobi per sobre del valor de l'àrea. Els catàlegs que s'utilitzen per seleccionar les vàlvules de seguretat es troba a la *Crosby Pressure Relief Valve Engineering Handbook*. (ref.7) (ref.10)

A.9. Càlcul gasos efecte hivernacle

Per al càlcul de gasos d'efecte hivernacle es tenen en compte cadascuna de les reaccions de combustió que es poden generar en la torxa dels diferents compostos que hi ha presents en les columnes de destil·lació. Un cop ja s'han realitzat els càlculs estequiòmètrics de les reaccions i amb el cabal màssic de cada component, es procedeix a calcular el cabal de CO_2 generat per cadascuna de les reaccions.

S'utilitza la formula que es mostra a continuació:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = \frac{\dot{m}_{\text{component}} \times \text{coef.esteq.}\text{CO}_2 \times P_{M\text{CO}_2}}{P_{M\text{component}}} \quad (\text{E.81})$$

Finalment, un cop ja es tenen tots els valors de CO_2 produït, sols queda realitzar el següent sumatori per obtenir el valor total de gasos d'efecte hivernacle.

$$\dot{m}_{\text{GASOS EFECTE HIVERNACLE}} = \sum \dot{m}_{\text{CO}_2} \text{ de cada component} \quad (\text{E.82})$$

A.10. Estudi econòmic

La metodologia emprada per a efectuar l'estudi econòmic es mostra en aquest annex. Seguint les referències 21 i 22, es determinen els valors dels diferents costos i ingressos i els paràmetres del VAN, TIR i *Payback Period* per a l'avaluació econòmica.

A.10.1. Càlcul del cost d'instal·lació i construcció

Inicialment, es calcula el cost total dels equips principals C_E (€):

$$C_E = \sum_{i=1}^n C_i \quad (\text{E.83})$$

C_i correspon al preu de cada equip (€).

Aquest preu total dels equips obtingut s'ha d'actualitzar al any actual; en aquest cas s'ha considerat a finals del 2020. Aleshores, mitjançant el *Chemical Cost Plant Index*; CEPCI (i) , s'actualitza el preu total dels equips.

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{i_2}{i_1} \quad (\text{E.84})$$

On el subíndex 2 correspon al preu actual i el subíndex 1 al preu que es vol actualitzar.

Seguidament, per valorar el cost dels equips no llistats C_{NL} s'ha considerat que aquest valor és un 5% del cost total dels equips principals seguint la referència 21 , ja que es considera que el PFD està molt elaborat.

El cost del equip base (€) serà:

$$C_B = C_E + C_{NL} \quad (\text{E.85})$$

A continuació, s'han de tenir en compte el valor dels factors d'instal·lació seguint la figura A.10.1. de la referència 21. És necessari calcular el preu mitjà C_M dels equips per determinar el valor dels factors.

$$C_M = \frac{C_E}{N} \quad (\text{E.86})$$

N, correspon al nombre d'equips que hi ha en la unitat de procés.

Factores para estimar el coste B&L de una modificación de instalación.								
		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% 10% a 2%	del Equipo Principal del Equipo Principal				
Equipo principal + Equipo no listado		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Montaje	Mucho equipo alto montaje	23/18	21/17	19/16	18,5/15	17,5/14	16,5/13,5	15,5/13
Equipo	Medio	18/12,5	17/11,5	16/10,8	15/10,5	14/9,2	13/8,5	12/7,5
Básico	Eq. caro o poco montaje	12,5/7,5	11,5/6,7	10,8/6	10/5,5	9,2/5,2	8,5/5	8/4,8
Fundaciones y Estructuras	ALTO-Eq. Caros o complicados		18/13	17/12,2	15/10,2	14/9,3	12/8,2	10/5,6
	MEDIO- Acero carbono	16/9,2	14/8,5	12/5,7	11/6,5	9,5/5	8,2/4	7/3,2
	MEDIO- Aleaciones	7,1/3,2	8/3,1	8,5/3	7,5/3	6,5/2,5	5,5/2	4,5/1,5
	BAJO- Equipo sobre suelo	5/0,3	4/0,2	3/0,2	2,5/0,1	2/0,1	1,5/0,1	1/0,1
Pilotes o rotura roca			Aumentar todos en 25 a 100%					
Piping y racks sin aislamiento	ALTO-Petroquim. Racks	105/65	90/58	80/45	70/40	58/34	50/30	42/25
	MEDIO-Líquidos, Electrolis.	65/33	58/27	48/22	40/16	34/12	30,5/10	25/9,2
	BAJO-Líquidos/sólidos	33/13	27/10,5	22/8,5	16/6,5	12/5,5	10/4,5	9/3,5
	BAJO- Sólidos	13/5,5	10/4,5	8/3,5	6/2,5	5/1,5	4/0,5	3/0
Aislamiento Equipos y Tuberías	M. ALTO-acero bajas temp.	35/26	30/21	26/16	23/15	20/12,5	16/9,2	12/7,3
	ALTO-Temp.elevada	28/21	24/18	14/15	18/12,2	14/9,3	12/7,4	9/5,2
	MEDIO-Plantas Químicas	24/15	20/13	18/10,3	14/8,2	12/5,4	09/3,3	6/2,2
	BAJO	18/8,5	15/6,3	12/5,1	10/4,3	8/3,2	5/2,4	3/1,3
Electricidad + Iluminación	P. Electrolítica	56/45	55/42	50/38	45/33	40/30	35/26	30/19
	Grandes accionadores	26/17	22/15	19/12,5	17/10,3	14/8,5	12/7,5	10/6,5
	Líquidos	18/10,5	16/9,3	13/7,5	11/6,2	9/5,4	7/4,1	6/3,5
Instrumentación	Elevada	60/32	58/31	46/24	37/18	29/13	23/10,5	18/7,5
	Media	35/15	32/13	26/10,5	20/7,5	15/5,5	11/3,5	8/2,5
	Baja o sólidos	24/13	21/9,3	17/7,5	13/5,5	10/3,5	7/2,5	5/1,3
Proceso complicado			añadir en todos los casos entre 6% a 3%					
No contabilizado Proceso simple			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	70/40	60/30	50/28	45/25	38/19	35/18	30/15
	Equipos al exterior	36/15	32/13	28/11,2	24/8,5	20/5,5	17/4,5	14/2,5
Servicios de edificios % sobre edificio	Iluminación Ventil. & aire acondicionado Calefacción Fontanería	Alto	Normal		Bajo			
		18	9		5			
		18	8		1			
		25	16		8			
		20	12		3			

A.Rolán feb03 / C. Valdes ene09

A.Rolán feb03 / C. Valdes ene09

Figura A.10.1 Valors del factors d'instal·lació.

Obtingut el valor de cada factor d'instal·lació (F_i) de la figura anterior:

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{E.87})$$

Una vegada calculat el valor total dels factor d'instal·lació F_T , es calcula el cost d'aquests factors C_F respecte el cost base:

$$C_F = \frac{F_T \cdot C_B}{100} \quad (\text{E.88})$$

Per tant, els costos directes de la instal·lació i construcció seran:

$$C_D = C_F + C_B \quad (\text{E.89})$$

Es calculen els costos indirectes de la instal·lació (C_I) i els imprevistos (I) seguint la metodologia de la referencia 21:

$$C_I = 0,29 \cdot C_D \quad (\text{E.90})$$

$$I = 0,14 \cdot C_D \quad (\text{E.91})$$

Finalment, el cost d'instal·lació i construcció total serà C_{IC} :

$$C_{IC} = C_D + C_I + I \quad (E.92)$$

A.10.2. Càlcul del VAN, de la TIR i del Payback Period

Calculat el cost d'instal·lació i construcció com a inversió inicial, es calculen els paràmetres econòmics. Primerament, es calculen els costos fixos C_{FX} (€/any) i els costos variables C_V (€/any) seguint la referència 22.

$$C_{FX} = \sum_{i=1}^n C_{FX,i} \quad (E.93)$$

$$C_V = \sum_{i=1}^n C_{V,i} \quad (E.94)$$

Per l'altra banda, es calculen els ingressos anuals IA (€/any):

$$IA = \sum_{i=1}^n IA_i \quad (E.95)$$

Cal definir el valor residual VR (€) i l'amortització A (€/any), suposant el valor residual un 15% del preu de construcció i instal·lació i l'amortització suposant una vida útil de les unitats.

$$VR = 0,15 \cdot C_{IC} \quad (E.96)$$

$$A = \frac{(C_{IC} \cdot VR)}{10} \quad (E.97)$$

A part, es calcula el benefici prèviament a aplicar els impostos (BAI) (€/any):

$$BAI = IA - C_v - C_{FX} - A \quad (E.98)$$

Es considera una taxa d'impostos del 35%, aleshores els impostos (IMP) seran:

$$IMP = BAI \cdot 0,35 \quad (E.99)$$

Per l'altra banda, els beneficis després d'aplicar els impostos seran (BDI):

$$BDI = BAI - IMP + A \quad (E.100)$$

Per últim, es calculen els paràmetres del VAN, de la TIR i el *Payback Period*.

Es considera un cost d'oportunitat del 10% (k):

$$VAN = -C_{IC} + \sum_{i=1}^n \frac{BDI}{(1+k)^n} \quad (E.101)$$

En quan a la TIR:

$$0 = -C_{IC} + \sum_{i=1}^n \frac{BDI}{(1+TIR)^n} \quad (E.102)$$

Finalment, el *Payback Period* determina el temps que es tarda en recuperar la inversió, però no té en compte la devaluació del valor dels diners:

$$PBP = \frac{C_{IC}}{BDI} \quad (E.103)$$