



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



DISSENY D'UN SPLITTER PROPÀ-PROPILE AMB INTEGRACIÓ INTERNA DE LA CALOR

Treball de final de grau

Identificador: TFGEQ_1809

Membres: Domènec Estorach Ruedas

Josep Maixé Lozano

Aleix Martí Estepa

Grau: Enginyeria Química

Tutor: Dr. Josep Basco

Tarragona, 11 de juny del 2018

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.
Autorització pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química

TÍTOL DEL TFGEQ: Disseny d'un splitter propà-propilè amb integració interna de la calor

AUTOR: Domènec Estorach Ruedas, Josep Maixé Lozano, Aleix Martí Estepa

CURS ACADÈMIC: 2017-2018

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na Josep Basco Montia, en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera el TFGEQ

APTE, i en conseqüència dona el seu vist i plau per a la defensa

NO APTE per a ser defensat pels motius exposats a continuació

.....
.....
.....
.....
.....

Signatura:



Data:

7/6/2018

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

En/Na Josep Basco Montia, en la seva capacitat de supervisor extern^(*) del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa Basell Poliolefines Ibérica SL.

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

Signatura:



Data:

7/6/2018

1. INTRODUCCIÓ	6
1.1. Agraïments	6
2. ETAPA PRELIMINAR	7
2.1. Definició i descripció del projecte.....	7
2.2. Abast del projecte	7
2.3. Estudi d'alternatives	8
2.4. Planificació inicial de projecte	8
3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE.....	11
3.1. Descripció dels processos.....	11
3.1.1. Columna convencional	11
3.1.2. Columna amb recompressió del vapor	11
3.1.3. Columna amb integració interna de la calor (HIDiC)	12
3.2. Bases de disseny	12
3.2.1. Especificacions de l'alimentació	12
3.2.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei.....	12
3.2.3. Especificacions dels productes	12
3.3. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria	13
3.3.1. <i>Utilities</i> disponibles	13
3.3.2. Preus de les energies.....	13
3.3.3. Dades de l'emplaçament.....	14
3.3.4. Normes i codis de disseny	14
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA.....	16
4.1. Elaboració de diagrames	16
4.1.1. De blocs: disseny conceptual.....	16
4.1.2. Estudi de simulació.....	19
4.1.3. De flux de procés (PFD).....	23
4.1.4. D'implantació (PLOT PLAN).....	31
4.1.5. De canonades i instruments (P&ID).....	35
4.1.6. Isomètrics.....	43
4.2. Disseny bàsic	47
4.2.1. Disseny de canonades	47
4.2.2. Disseny de la instrumentació i control	48
4.2.3. Disseny d'equips.....	51
4.2.3.1. Columnes de destil·lació	51
4.2.3.2. Acumulador de reflux.....	60

4.2.3.3. Condensadors	64
4.2.3.4. Reboilers	68
4.2.3.5. Bomba	71
4.2.3.6. Compressors	74
4.2.3.7. Vàlvula de seguretat	77
4.2.3.8. Vàlvula de control	78
4.2.3.9. Evaporadors	80
4.2.3.10. Separadors de gotes	
5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	87
5.1. Seguretat de processos	87
5.1.1. Incident BLEVE a l'acumulador de reflux B-201	87
5.1.2. HAZOP	89
5.1.3. Índex DOW	102
5.1.4. Zones Atex	105
5.1.5. Mesures de prevenció	108
6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	109
6.1. Descripció del projecte	109
6.2. Anàlisi d'alternatives	109
6.3. Descripció del medi	109
6.3.1. Medi físic	109
6.3.2. Medi biològic	109
6.3.3. Medi humà	110
6.4. Detecció o identificació dels impactes	110
6.4.1. Fase de construcció	110
6.4.2. Fase d'exploració	110
6.4.3. Fase de desarmament	111
6.5. Caracterització dels impactes	111
6.6. Avaluació i valoració dels impactes	113
6.6.1. Matriu de Leopold	113
6.7. Mesures correctives	113
6.8. Emissions	114
7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS	115
7.1. Manteniment correctiu	115
7.2. Manteniment preventiu	115
7.3. Manteniment predictiu	116
7.4. Manteniment legal	116
7.5. RCM (Reliability Centered Maintenance)	118
7.5.1. Anàlisi de formes i causes de fallades tècniques	122

7.5.2. Conclusions del RCM.....	123
7.6. Pla de manteniment adoptat	124
8. ESTUDI ECONÒMIC	125
8.1. Columna convencional	125
8.2. Columna de recompressió del vapor	127
8.3. Columna HIDIC	128
8.4. Conclusions estudi econòmic	129
9. CONCLUSIONS	132
BIBLIOGRAFIA.....	133
WEBGRAFIA.....	134
ANNEX	135
A.1. BASES DE DISSENY	136
A.2. ENGINYERIA BÀSICA.....	136
A.2.1. Columnes de destil·lació	136
A.2.1.1. Nombre de plats	136
A.2.1.2. Disseny de plats	138
A.2.1.3. Disseny de plats	145
A.2.2.3. Disseny mecànic	148
A.2.2. Acumulador de reflux.....	150
A.2.2.1. Capacitat de l'acumulador de reflux.....	150
A.2.2.3. Localització de nivells	151
A.2.2.4. Disseny mecànic	152
A.2.3. Condensadors.....	153
A.2.4. <i>Reboiler</i>	156
A.2.5. Bomba.....	160
A.4. MEDI AMBIENT.....	164
A.5. ESTUDI ECONÒMIC	165
A.6. ESTUDI DE SEGURETAT.....	168

1. INTRODUCCIÓ

Per començar, es mostraran totes les dades sobre el projecte i de les parts que cadascú ha desenvolupat al llarg del temps. A la taula 1.1 es mostra tota la informació.

Taula 1.1. Informació sobre el projecte.

Títol	Disseny d'un <i>splitter</i> propà-propilè amb integració interna de la calor	
Identificador	TFGEQ_1809	
Data	11 de juny de 2018	
Autors	Domènec Estorach Ruedas	Color groc
	Josep Maixé Lozano	Color vermell
	Aleix Martí Estepa	Color blau

1.1. Agraïments

Per una banda, es vol esmentar a totes les persones que han fet possible la resolució de tots els problemes que s'han presentat al llarg del projecte, de tots els ànims i forces en els moments més crucials i difícils del llarg camí que ha sigut aquesta experiència. En especial, al tutor Dr. Josep Basco, que ha sigut la principal ajuda i en bona part gràcies a ell hem pogut arribar fins aquí. Per altra banda, agrair al Dr. Laureano Jiménez pel suport ofert amb l'ús del programari *Aspen Hysys*.

Per últim, donar les gràcies a les famílies que ens han estat donant el suport necessari en els moments més complicats.

2. ETAPA PRELIMINAR

Per començar es defineix amb claredat quin serà el projecte que es durà a terme i què engloba. En els següents apartats es descriuen detalladament els principals conceptes.

2.1. Definició i descripció del projecte

Les columnes de destil·lació superfraccionadores són les utilitzades en la separació del propà-propilè en plantes de propilè o polipropilè. Aquestes tenen un gran consum d'energia a causa de l'alta puresa demandada, les baixes volatilitats relatives i les altes taxes de reflux. La solució més emprada és la destil·lació amb recompressió mecànica de vapor (RCV). Un avenç tecnològic recent per part de Toyo Engineering Corporation (Japó) (ref. 1) és la de la integració interna de la calor (HIDiC) (ref. 2) on s'hi combinen la recompressió del vapor amb una operació adiabàtica.

El projecte comprèn el disseny d'un *splitter* propà-propilè per una planta existent de polipropilè en fase gas. Actualment existeixen un *splitter* convencional i un de recompressió del vapor. L'empresa té l'objectiu de substituir la convencional per una altra de recompressió del vapor o per la d'integració interna de la calor. nou. La finalitat del projecte serà el disseny de les tres alternatives amb l'objectiu de realitzar una comparació de la rendibilitat de les tres opcions.

Per dur a terme la comprovació, o com a mínim la comparació objectiva d'entre les tres columnes de destil·lació, s'ha partit de les bases de disseny del *splitter* amb recompressió mecànica del vapor actualment existent, proporcionades per l'empresa, per a les tres alternatives. S'hi presenten les condicions del corrent d'alimentació de propà-propilè cap a la columna de destil·lació i les especificacions del producte. A partir d'aquí s'han programat les tasques a realitzar al llarg de l'any de projecte.

En primer lloc es realitza una recerca bibliogràfica de cadascuna de les alternatives per tal de conèixer amb més profunditat el funcionament. Seguidament, es duu a terme la simulació del *splitter* amb *Aspen Hysys*, partint de la columna més senzilla, la convencional. Un cop obtingut el diagrama de flux es realitza el disseny mecànic dels equips del procés i el llistat de canonades, així com també es dissenya la instrumentació i els diferents sistemes de control obtenint el P&ID. Aquesta part comprèn l'anomenada enginyeria bàsica del projecte, que és la part principal.

Seguidament es realitzen els estudis de seguretat, incloent un incident BLEVE a l'acumulador de reflux, un HazOp, l'índex Dow i les zones Atex, l'estudi de l'impacte ambiental al que estarà sotmesa la planta i finalment l'aplicació dels diferents tipus de manteniment. Per últim, s'estima el cost de la unitat i la rendibilitat econòmica per tal d'aconseguir els resultats per poder demostrar quina seria la millor opció.

No inclou el manual d'operacions ja que la finalitat del projecte és la comparació dels tres casos de destil·lació superfraccionadora disponibles.

Totes aquestes tasques s'han realitzat per als tres possibles solucions.

2.2. Abast del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny i la comparació entre tres tipus de columna de destil·lació existents per a la separació propà-propilè, amb una producció de 22500 tones/any,

per tal d'augmentar el preu de venda del producte i poder obtenir uns majors beneficis per als propers 20 anys de vida útil de la columna.

El corrent d'alimentació de la columna prové del fons d'una altra columna prèvia on s'haurà dut a terme una separació entre components més volàtils que el propà i el propilè, fent així que la sortida pel fons sigui dels pesats. El disseny d'aquest tipus de columnes és delicat, ja que es tracta d'una mescla binària amb un punt d'ebullició molt proper entre els dos components propà-propilè. Aquest fet fa que es necessitin unes condicions d'operació molt estrictes.

Per tant, el que s'ha dut a terme és dissenyar les condicions òptimes de treball del procés i dels equips per obtenir aquest benefici econòmic. Per exemple, els cost de venda del propilè menys pur és de 720 €/t, i realitzant l'etapa de separació que es planteja es podria fer augmentar aquest preu fins als 892€/t. Tot i això, caldrà assegurar que la construcció d'aquesta columna i tots els costos presents que hi ha en el projecte el faci rentable.

2.3. Estudi d'alternatives

L'inconvenient més significatiu de la separació de propà-propilè amb una columna convencional és el gran cost d'energia al que està sotmès el procés, principalment degut a l'alta puresa que es vol aconseguir. A més per la complexitat de separar dos components amb temperatures d'ebullició tant semblants. Les alternatives que s'estudiaran a la columna convencional per aconseguir un estalvi energètic significatiu són una columna amb recompressió de vapor (RCV), i una amb tecnologia HIDiC.

La de recompressió de vapor tracta de comprimir el corrent de cap de columna per tal de superar la temperatura del fons i poder dur a terme l'intercanvi entre aquest dos corrents. Aquesta opció pot parèixer millor energèticament, però s'ha de tenir en compte que l'energia que necessitarà el compressor per comprimir tot el producte de cap serà molt elevada.

Per altra banda, la tecnologia HIDiC (ref. 3) es basa en el disseny de dues columnes de destil·lació, una dins de l'altra (concèntriques) i duent a terme un intercanvi de calor entre etapes de rectificació i d'esgotament. Aquesta opció resultaria ser la més eficient, però caldria considerar el cost del disseny de les dues columnes i si realment hi hauria la suficient àrea d'intercanvi per dur a terme tots els intercanvis de calor que es necessiten.

Per tant, com en aquest tipus de columnes de destil·lació s'optimitzaria molt més l'energia que es necessitarà per dur a terme el procés, podria fer que els beneficis del projecte fossin més elevats, tot i que caldria dur a terme un estudi previ per saber si realment funcionaria.

2.4. Planificació inicial de projecte

En aquest apartat es mostra una de les tasques més importants a l'hora de realitzar un projecte, la planificació en el temps. Per això és necessari establir totes les tasques que el componen. D'aquesta manera es pot organitzar segons la seva importància i les que necessiten estar completades abans de començar una altra. Al A.1. es mostra el % del treball realitzat.

Per dur a terme això, s'ha utilitzat el programa *Gantt Project*. En aquesta planificació s'ha de plasmar tota la feina a fer i les revisions de les tasques que s'han d'anar realitzant.

Tot seguit, en la figura 2.1 es mostra la planificació d'aquest projecte.

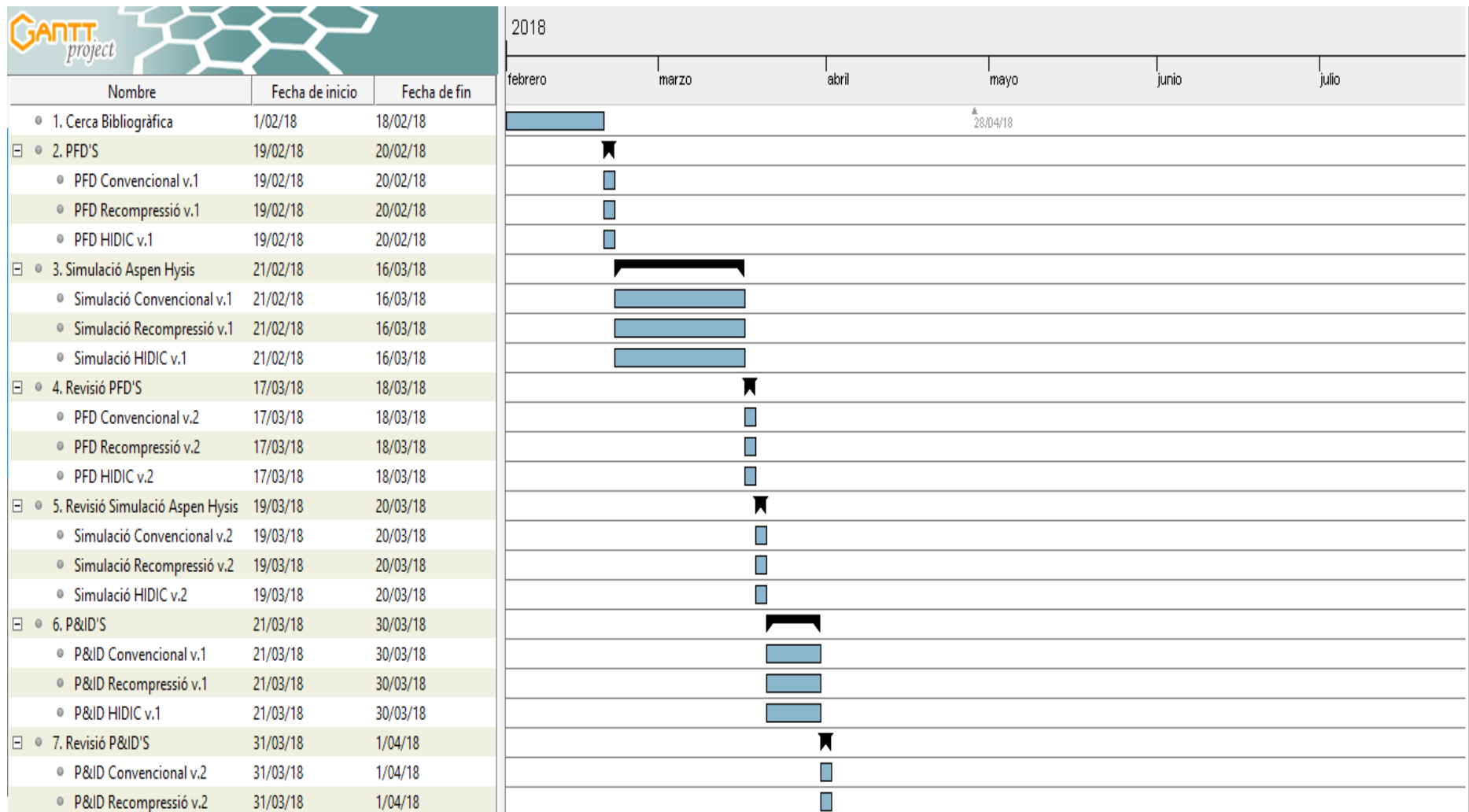


Figura 2.1. Diagrama de *Gantt* amb la planificació del projecte.

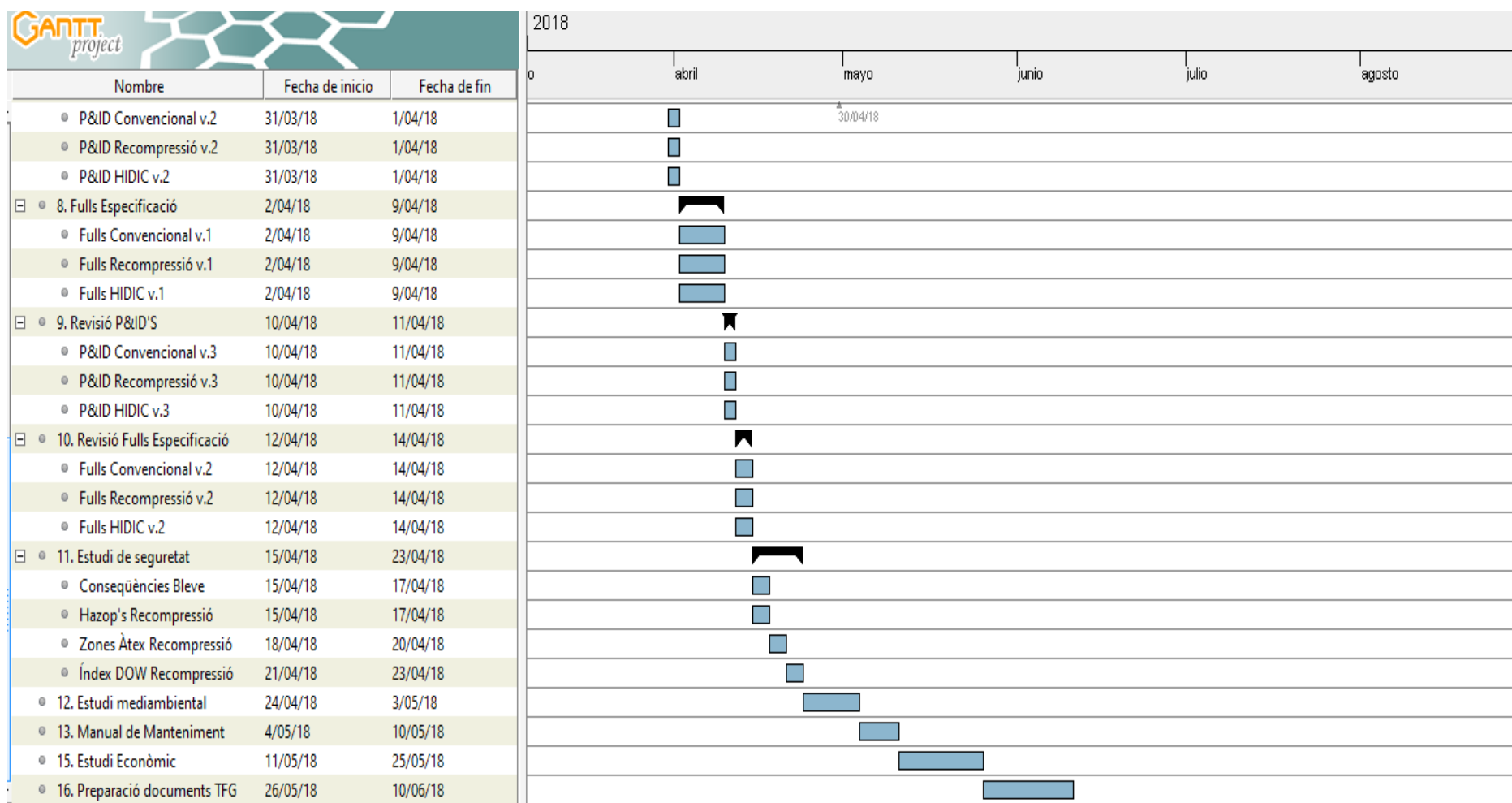


Figura 2.1. Diagrama de Gantt amb la planificació del projecte.

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

En aquest apartat es descriurà tot el que envolta el desenvolupament del projecte.

3.1. Descripció dels processos

Primerament, cal definir correctament el funcionament de cadascun dels processos a dissenyar.

3.1.1. Columna convencional

Aquest tipus de columna ha sigut la més utilitzada al llarg de la història en el sector químic, ja que és la més senzilla a l'hora de dissenyar. Està composta principalment per tres parts: la columna on es realitza la destil·lació, el condensador i el *reboiler*.

El seu funcionament consisteix en un corrent d'alimentació que entra a un plat de la columna, i per diferència de volatilitats es van separant poc a poc els diferents compostos. Els més pesats aniran pel fons de columna, com és el cas del propà, i els més volàtils pel cap, com el propilè. El corrent de cap es dirigeix a un condensador per tal de dur a terme la condensació i fer així la possibilitar el retorn a la columna d'un corrent líquid anomenat reflux i un altre serà la sortida del procés anomenat destil·lat. Però, primer aquest corrent condensat es dirigeix a un acumulador de reflux per tal d'assegurar sempre el corrent de retorn a la columna.

Pel fons hi surten dos corrents, un que serà la sortida del procés per la part de sota, mentre que l'altre corrent es dirigeix a un *reboiler* per dur a terme el canvi de fase de líquid a vapor. Aquest corrent és retornat a la columna.

Per últim, el corrent de sortida de fons es dirigeix a un evaporador per tal d'evaporar el propà i poder estar disponible per a altres tipus d'usos.

3.1.2. Columna amb recompressió del vapor

Per altra banda, una columna amb recompressió del vapor és un tipus que s'ha posat molt de moda en els últims anys perquè s'ha confirmat una millora energètica en el funcionament de la columna. Aquesta millora permet també disminuir els costos en el serveis i fent així augmentar els guanys.

El seu funcionament és molt similar al d'una columna convencional: té una alimentació, una sortida per cap i una altra per fons. Però, la sortida de cap es dirigeix a un compressor per tal d'augmentar la temperatura del corrent, per després amb un primer *cooler* refredar-lo fins al seu punt de bombolla. Això es fa perquè seguidament aquest corrent es condensa al *reboiler* duent a terme una transferència de calor amb el corrent de fons de la columna. Gràcies a això, tota l'energia externa que és requereix al *reboiler* és zero. El corrent condensat es dirigeix a un acumulador de reflux, una part serà el reflux de retorn a la columna i l'altra el destil·lat.

També s'evapora el corrent de sortida, majoritàriament propà, mitjançant un evaporador.

3.1.3. Columna amb integració interna de la calor (HIDiC)

Aquesta columna superfraccionadora (HIDiC) és la nova tecnologia de la separació de dos components amb temperatures d'ebullició molt semblants, com és el cas del propà i el propilè. Actualment, ja és posada en marxa a una empresa japonesa. El principal avantatge és la rendibilitat econòmica i energètica obtinguda en el seu funcionament.

Es caracteritza principalment per la combinació entre la recompressió del vapor, i l'operació adiabàtica que es realitza amb la integració interna de calor. És a dir, enlloc d'utilitzar els dos intercanviadors més grans com són el condensador i el *reboiler*, el que fa és combinar corrents d'energia de la part d'esgotament cap a la rectificació, i a la inversa, fent així que s'aporti l'energia suficient com perquè es produeixi la transferència de calor necessària per separar els dos components. D'aquesta manera, s'estalvia l'ús dels equips esmentats i conseqüentment el seu cost.

3.2. Bases de disseny

A continuació es descriuran les especificacions, cabals i tota la resta d'informació de les entrades i sortides del procés de separació propà-propilè.

3.2.1. Especificacions de l'alimentació

En la taula 3.1. es mostren els diferents paràmetres de l'alimentació en estat líquid del procés.

Taula 3.1. Paràmetres de l'alimentació (ref. 4).

Components	Cabals (kg/h)	Fracció Màssica
Etilè	0.050	2.98E-05
Età	0.180	1.07E-04
Propilè	1560	0.930
Isopropanol	7.95	4.73E-03
Propà	108	6.42E-02
Heptà	5.68	3.38E-03

La temperatura del corrent és de 74°C i la pressió de 33 barg.

Tal i com es pot observar, els components majoritaris són el propilè i propà. Per tant, en els balanços només es tindrà en compte aquests dos compostos perquè més del 99% de la mescla es basa en aquests dos.

3.2.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei

La capacitat d'operació del procés és la producció de polipropilè de 22500 tones/any durant unes 8000 h/any, amb una flexibilitat dels equips de $\pm 20\%$ en el cabal d'alimentació. També, amb una capacitat de treballar durant 7 dies sense cap càrrega i descàrrega de matèries primes.

3.2.3. Especificacions dels productes

Uns dels objectius del projecte, tal i com s'ha esmentat anteriorment, és millorar el percentatge de propilè del corrent d'alimentació, ja que al ser més pur el seu preu de mercat serà més alt.

Una de les especificacions marcades és obtenir com a mínim una fracció molar de propilè del 99.5% per destil·lat. En canvi, també s'ha d'assegurar que no superi més d'un 24.5% de propilè per fons de columna, ja que serien unes pèrdues massa elevades.

Aquestes dues serien les dues úniques especificacions requerides presents en els productes.

3.3. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

Es descriuran tots els serveis que es requereixen per tal d'assegurar el correcte funcionament del procés.

3.3.1. *Utilities disponibles*

- Vapor d'aigua: s'utilitza en el *reboiler* per tal d'evaporar el líquid de fons de columna que ha de tornar com a reflux. Les condicions seran de 265 °C i 35 barg per al d'alta pressió, i de 170°C i 5.5 barg per al de baixa pressió.
- Aigua de refrigeració: aquesta s'utilitza en el condensador per passar la fase vapor de cap de columna a líquid. Les condicions d'entrada són de 27 °C i 5 bars i de 37 °C de sortida. Amb un pH entre 8-8.5, una duresa de 25 meq/l, 350 mg/l màxima de clorurs i un *fouling* de 0.0004 m²·K/W.
- Aigua bruta: Una pressió de subministrament de 8 barg a temperatura atmosfèrica, un pH entre 7-8, duresa de 500 meq/l màxima, de 120 mb/l de Ca, <20 mb/l de nitrats, 200 mg/l de sulfats i un conductivitat de 1500µS/cm.
- Aigua desnaturalitzada: Una pressió de subministrament 11 barg i 13 barg de disseny amb temperatura atmosfèrica. Un pH de 6.5-7 i conductivitat de 0.3µS/cm.
- Energia elèctrica: Es tindrà contractat voltatges de 6000V, 690V i 380V, amb una freqüència de 50 Hz i un subministrament de 25 kV de la xarxa.

La taula 3.2 mostra informació sobre l'energia contractada.

Taula 3.2. Informació de l'energia elèctrica contractada.

Servei	Potència (kW)	Voltatge (V)	Fases
Motor	45 kW	400	3
	>45 i < 4000	690	3
	>4000	6000	3
Il·luminació		230	1
DCS, instrumentació		24 DC	1
		230AC	

- Nitrogen: té la funció de netejar els equips i les canonades. Es subministra a una temperatura de 20°C i una pressió de 18 barg.
- Aire instruments: aquest s'utilitza per als instruments i controladors que hi ha en el procés. Es subministra a una temperatura de 20°C i a una pressió de 7 barg. Té una temperatura de rosada de -40°C i un *Holdup* en emergència de 15 min.
- Fuel gas per a torxa: té una pressió normal de 5 barg, una temperatura normal de 30°C i un poder calorífic de 38757-42939 kJ/kg.

3.3.2. Preus de les energies

En la següent taula 3.3 es mostren els preus de les diferents energies que poden estar presents en el procés, aquestes dades han sigut facilitades per l'equip docent de l'assignatura.

Taula 3.3. Preus de les energies.

	Unitat	€
Aigua bruta	m ³	0.56
Aigua desgasificada	m ³	4.50
Aigua desmineralitzada	m ³	1.35
Aigua pretractada	m ³	0.63
Aigua de refrigeració	m ³	0.56
Condensat	m ³	3.30
Vapor d'alta	Tona	27.30
Vapor de mitja	Tona	21.90
Vapor de baixa	Tona	16.30
Electricitat	kW-h	0.08
Aire instrumentació	Nm ³	0.02
Nitrogen	Nm ³	0.07

3.3.3. Dades de l'emplaçament

L'alternativa del procés seleccionada es trobarà ubicada on hi ha situada una empresa que actualment utilitza dos dels mètodes de separació que s'estudiaran pròximament, la convencional i la recompressió de vapor. Concretament, es troba a la N-340, km 1156, 43006 Tarragona. Al punt vermell s'emplaçarà la columna.

Figura 3.1. Localització de la columna *splitter* propà-propilè.

3.3.4. Normes i codis de disseny

El material que s'utilitzarà per la construcció de les canonades és el A671CB-60, que segons el codi ASME és un acer al carboni. S'utilitza aquest material ja que treballa perfectament dins del rang de temperatures en les que es troba el procés, i no té cap sensibilitat amb els productes que hi ha.

També, s'utilitzarà un acer al carboni, A515-65, per a la columna i un A515-60 per a la resta dels equips.

Per altra banda, l'aïllament que es farà servir per tal de mantenir la calor dels corrents i protegir-los de la corrosió atmosfèrica serà la llana de roca, perquè pot treballar a altes temperatures i absorbeix l'aigua.

El gruix de l'aïllament varia en funció del diàmetre nominal i de la temperatura de disseny per tal d'assegurar correctament les canonades. Els valors de cada gruix d'aïllament per cada línia estan tabulats mitjançant taules (ref. 5).

Les normes i codis de disseny que s'utilitzaran per a la realització del projecte seran els següents:

- Per als bescanviadors: TEMA R.
- Per a les canonades: ASME B31.3.
- Sistemes a pressió: API 510, RD 2060/2008.

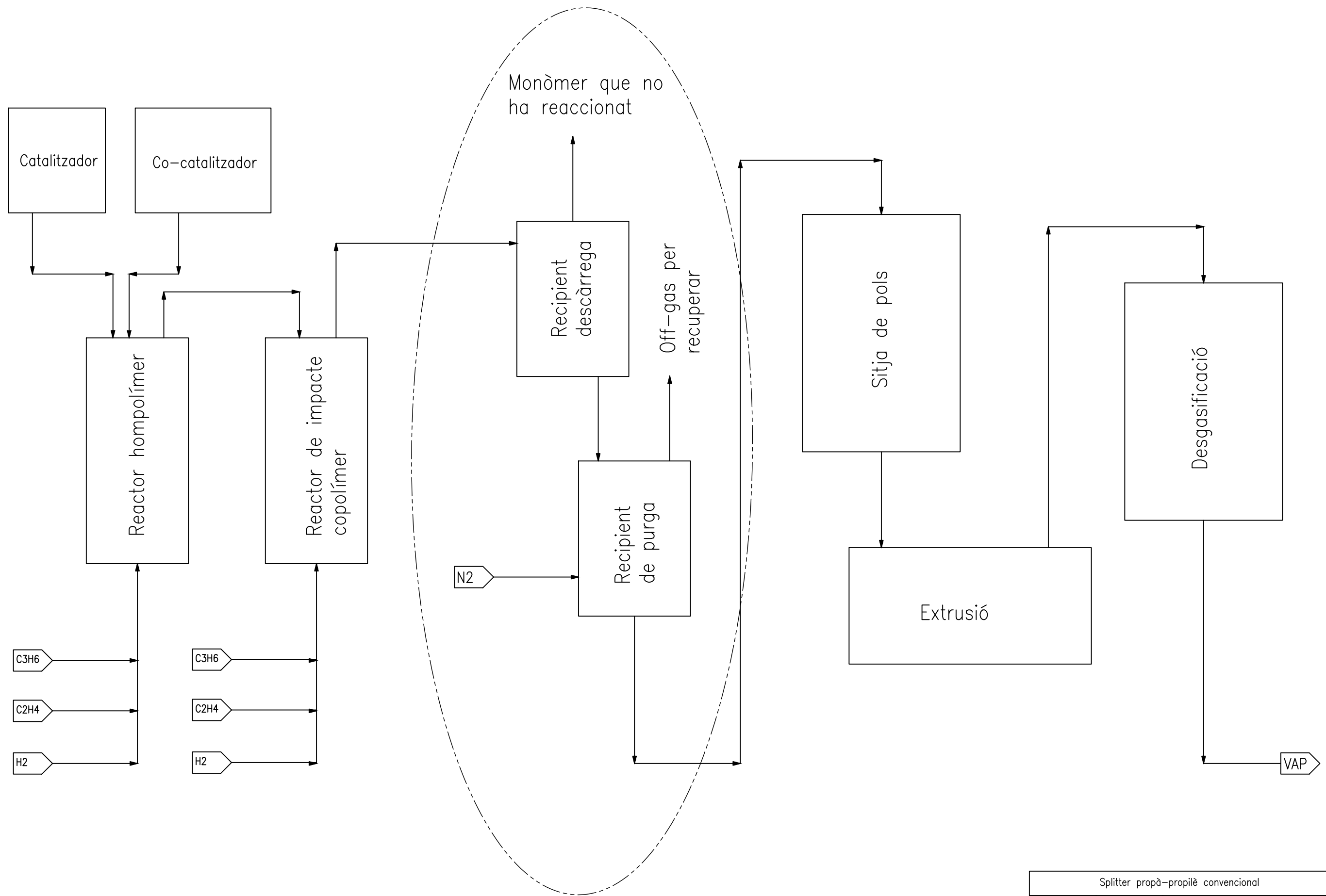
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de diagrames

En aquest apartat es mostraran els diferents diagrames, tant de procés com de control de cadascuna de les alternatives.

4.1.1. De blocs: disseny conceptual

El següent diagrama mostra una visió general d'on se situaria la part del procés que s'ha dut a terme l'estudi.



Splitter propà-propilè convencional

<i>Data</i>	<i>Informe</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
19/11/2017		
Diagrama de blocs		<i>Treball fi de grau</i>

Domènec Estorach Ruedas
Josep Maixé Lozano
Aleix Martí Estepa

Nº 101

4.1.2. Estudi de simulació

Una de les parts més importants del projecte és la simulació del procés. Això ens donarà una idea molt real de com seria el seu funcionament un cop implementat a la realitat. Per poder dur a terme això s'ha utilitzat el programa *Aspen Hysys*.

A continuació, es mostraran els diferents processos simulats i totes les suposicions i/o aclariments que s'han tingut en compte.

4.1.2.1. Simulació columna convencional

La simulació d'una columna convencional ha sigut la primera de totes. Per dur a terme la tasca s'ha utilitzat el model de columna *Distillation column sub-flowsheet*.

Els paràmetres que s'han introduït al simulador es mostren en la taula 4.1:

Taula 4.1. Paràmetres per a la simulació de la columna convencional.

Paràmetres	Valor
Número de plats	115
Plat alimentació	52.0
Pressió cap (barg)	17.0
Pressió fons (barg)	18.0
Reflux columna	25.0
Composició fons propilè	0.24

Tots aquests paràmetres han vingut determinats per l'estudi previ que s'ha realitzat de la columna. Tot i això, les pressions de cap i fons venen donades per la temperatura de retorn de l'aigua de refrigeració, ja que no es viable econòmicament retornar-la a més de 37°C. Com que en l'intercanvi de temperatura en el condensador ha d'haver un mínim de 5°C de diferència entre les temperatures de sortida dels dos corrents, això fixa que, a 42°C, la pressió a la que condensa el propilè és de 17 barg. La pressió de fons ve determinada per la pèrdua de pressió que hi ha a cada plat de la columna. Mitjançant el càlcul s'ha agafat com a pèrdua de pressió total aproximada de 1 barg, així la pressió de fons és de 18 barg.

El model termodinàmic que s'ha utilitzat per a dur a terme la simulació ha estat el de *Peng-Robinson*. S'ha seleccionat aquest ja que és el que tracta millor l'equilibri binari propà-propilè.

A continuació la figura 4.1 es mostra el diagrama de simulació del procés al *Aspen Hysys*.

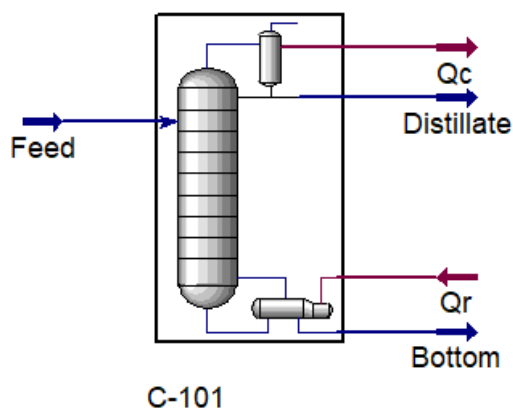


Figura 4.1. Simulació de la columna convencional.

La dificultat de simular aquesta columna ha estat principalment saber fer servir el simulador, ja que no es tenen uns coneixements previs suficientment elevats del programa. Tot i això, amb l'ajuda de tutories i el professor de simulació s'ha pogut continuar endavant.

Tot i que, segons el preestudi bibliogràfic que s'ha realitzat el plat òptim era el 50, el plat d'alimentació seleccionat ha estat el 52 per tal de poder complir amb les restriccions establertes del projecte.

4.1.2.2. Simulació columna amb recompressió del vapor

La simulació d'una columna amb recompressió del vapor és l'alternativa utilitzada en l'àmbit de la destil·lació pel seu benefici energètic. Per fer la simulació s'ha utilitzat el model de columna *Reboiled Absorber column sub-flowsheet*, ja que aquesta no té condensador propi, només *reboiler*.

Els paràmetres que s'han introduït al simulador es mostren a la taula 4.2:

Taula 4.2. Paràmetres per a la simulació de la columna amb recompressió.

Paràmetres	Valor
Número de plats	115
Plat alimentació	42.0
Pressió cap (barg)	11.8
Pressió fons (barg)	12.9
Composició cap propilè	0.996

En aquest cas, les pressions de cap i fons ja no venen determinades per l'aigua de refrigeració, ja que no hi és present directament a la columna com ho era en el cas de la columna convencional. Per tant, les pressions se seleccionen fent que la temperatura del cap estarà al voltant dels 25°C. Això fa que la pressió de vapor del propilè a aquesta temperatura sigui de 11.8 barg, i amb les pèrdues que haurà a la columna, la pressió del fons serà de 12.9 barg.

Novament, el model termodinàmic utilitzat ha estat *Peng-Robinson*, tal i com a l'anterior alternativa.

L'increment de pressió que dona el compressor serveix per poder donar la màxima transferència de calor al *reboiler* de la columna, i es tracta de 5.5 bar. A continuació es mostra el diagrama de simulació del procés al *Aspen Hysys*, figura 4.2.

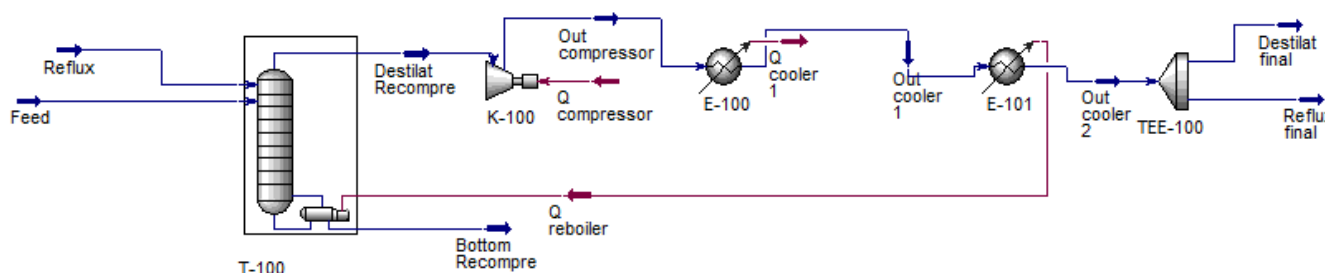


Figura 4.2. Simulació columna amb recompressió del vapor.

La dificultat principal que ha sorgit en la simulació d'aquesta columna ha sigut la convergència, ja que calia introduir un reflux cap a la columna fictici per tal d'obtenir algun resultat. El cabal del reflux fictici que es va agafar per poder començar la simulació va ser el que utilitzava la columna convencional per funcionar. Tot i això, la columna no convergia i es

va anar introduint més reflux fins aconseguir-ho. Un cop el simulador ja donava els primers valors del corrent de reflux final, calia introduir les mateixes condicions d'aquest corrent al reflux fictici, és a dir, iterant. Cada cop la diferència entre aquests dos es va anant fent més petita, fins el punt que ja la diferència entre ells era menyspreable. A més a més, es va aconseguir complir les restriccions de qualitat que requeria el projecte.

Tot i això, no es va poder connectar el corrent de reflux final amb la columna ja que el simulador no guarda la iteració anterior i no deixa dur a terme correctament aquest pas. En la següent figura, 4.3, es mostra l'exemple de com es va anar reduint la diferència entre el cabal del corrent de reflux fictici i el corrent real, o "reflux final".

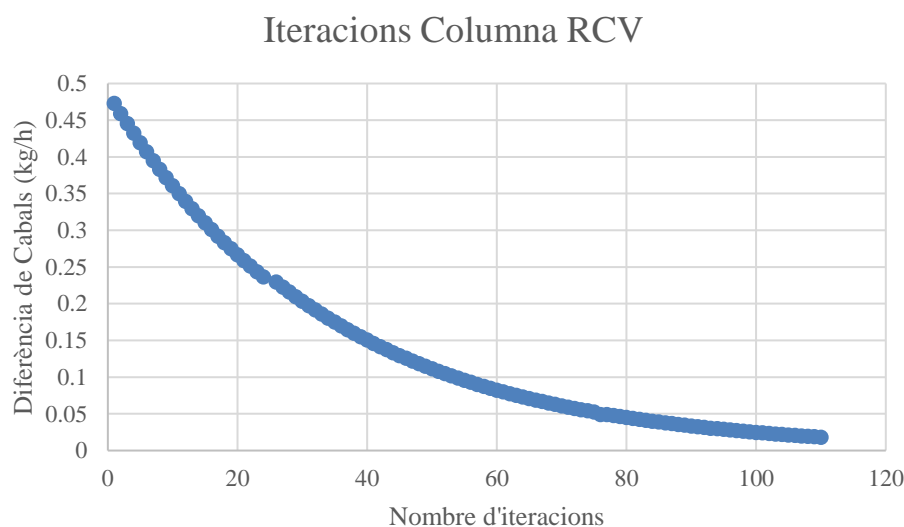


Figura 4.2. Iteracions columna RCV.

4.1.2.3. Simulació columna amb integració interna de la calor

La simulació d'una columna amb integració interna de la calor (HIDiC) és la nova tecnologia que s'està estudiant els últims anys. El seu funcionament és molt complex, tal i com s'ha detallat anteriorment, però s'ha dut a terme una simulació per tal de poder comparar-la amb les altres alternatives i poder triar la més sostenible.

Idealment la tecnologia HIDiC consisteix en dues columnes concèntriques on la calor es intercanviada entre els plats equivalents de cada part de la columna, esgotament i rectificació. Aquesta distribució no es pot dissenyar a l'*Aspen*, a més la seva sortida industrial no coincideix amb aquesta distribució de les columnes. Per tant, s'ha optat per un disseny on la part de rectificació forma part d'una columna diferent a la zona d'esgotament. L'intercanvi de calor entre les dues columnes es realitza mitjançant un determinat nombre de corrents. Aquests aniran des de la part de rectificació a la d'esgotament per dur a terme l'intercanvi de calor i retornant al seu mateix plat. Així doncs, aconseguim que els corrents de cap es refredin i al mateix els de fons s'escalfin, amb la finalitat de realitzar la separació dels components d'una manera energèticament més eficient.

Per dur a terme la simulació s'ha utilitzat el model de columna *Reboiled Absorber column sub-flowsheet* i *Distillation column sub-flowsheet*, ja que la columna està separada en dos i una no té condensador i l'altra sí. Els paràmetres que s'han hagut d'introduir al simulador han estat els següents:

Taula 4.3. Paràmetres per a la simulació de la columna amb integració interna de la calor.

Paràmetres	Valor
Número de plats*	86.0-86.0
Plat alimentació	85.0
Pressió rectificació 1 (barg)	12.2
Pressió esgotament 1 (barg)	13.5
Composició fons 1 propilè	0.245
Pressió rectificació 2 (barg)	18.0
Pressió esgotament 2 (barg)	19.3
Flux Fons (kg/h)	80600

*El número de plats es cadascun per una columna.

Aquesta vegada, els paràmetres han vingut marcats per la pròpia simulació, ja que són les úniques condicions a les quals s'ha aconseguit convergir la columna. També, es va suposar un reflux fictici per a la primera part de la columna, com en el cas de la simulació de la RCV, per poder fer que el simulador donés els primers resultats. El valor inicial d'aquest reflux és el mateix que el de la RCV, però per poder obtenir l'especificació de com a màxim un 0.245 de composició de propà per fons de columna, es va haver d'augmentar bastant la pressió i el cabal del reflux fictici degut a les condicions de treball de la columna. En aquest cas, treballa a pressions més elevades que l'anterior alternativa.

Per altra banda, per la segona part de la columna també van sorgir problemes per poder obtenir la especificació requerida de 0.95 mínim de composició de propilè i al mateix temps iterar els corrents de reflux. Per poder dur a terme això, es va fixar el cabal de sortida de fons per tal que fos igual que el fictici que introduïm a la primera part. Degut a aquest canvi, i fent que el fons de la columna treballés a la mateixa pressió que el corrent de reflux, només va caldre introduir la temperatura de sortida del reflux real al fictici.

Un cop aconseguit tenir els paràmetres requerits en els productes i tenint al simulador la columna convergida, es va dur a terme la integració energètica. Això es va fer introduint *Pumps-around* en els plats de la part de rectificació de la segona columna. Aquest bescanviadors simulen l'intercanvi de calor que hi ha entre corrents de la part de rectificació de la segona part de la columna amb la part d'esgotament de la primera part. Aquesta és la principal característica de la tecnologia HIDiC, que intenta reduir el màxim possible la calor requerida en el condensador i *reboiler*.

Per la part de reducció d'energia, només es va poder aconseguir una reducció de 200 kW introduint un total de 12 *Pumps-around*. La HIDiC utilitza cada plat de la primera columna per intercanviar calor amb el plat equivalent de l'altra part. Si s'hagués pogut aconseguir això, l'estalvi energètic hagués sigut superior i hagués fet més viable encara aquesta alternativa.

Per altra banda, l'increment de pressió que dona el compressor fa possible transferir la màxima quantitat de calor al *reboiler* de la columna. La pressió augmenta 7 bars a través del compressor.

Teòricament, aquest tipus de columna no hauria de tenir ni *reboilers* ni condensadors, però no s'ha trobat cap manera d'aconseguir convergència al model per dur a terme la simulació així. Llavors s'ha intentat que aquest fossin els més petits possibles per no afectar al disseny del procés. La qual cosa, el *reboiler* que fa l'intercanvi de calor en la primera columna no es tindrà en compte per l'avaluació econòmica. A continuació es mostra el diagrama, figura 4.4, de simulació del procés a l'*Aspen Hysys*.

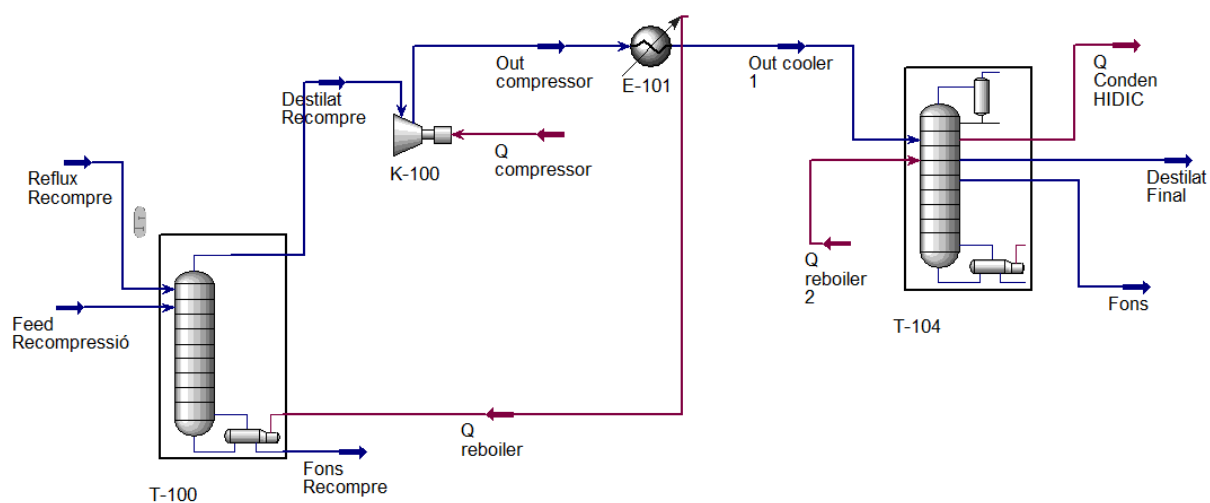
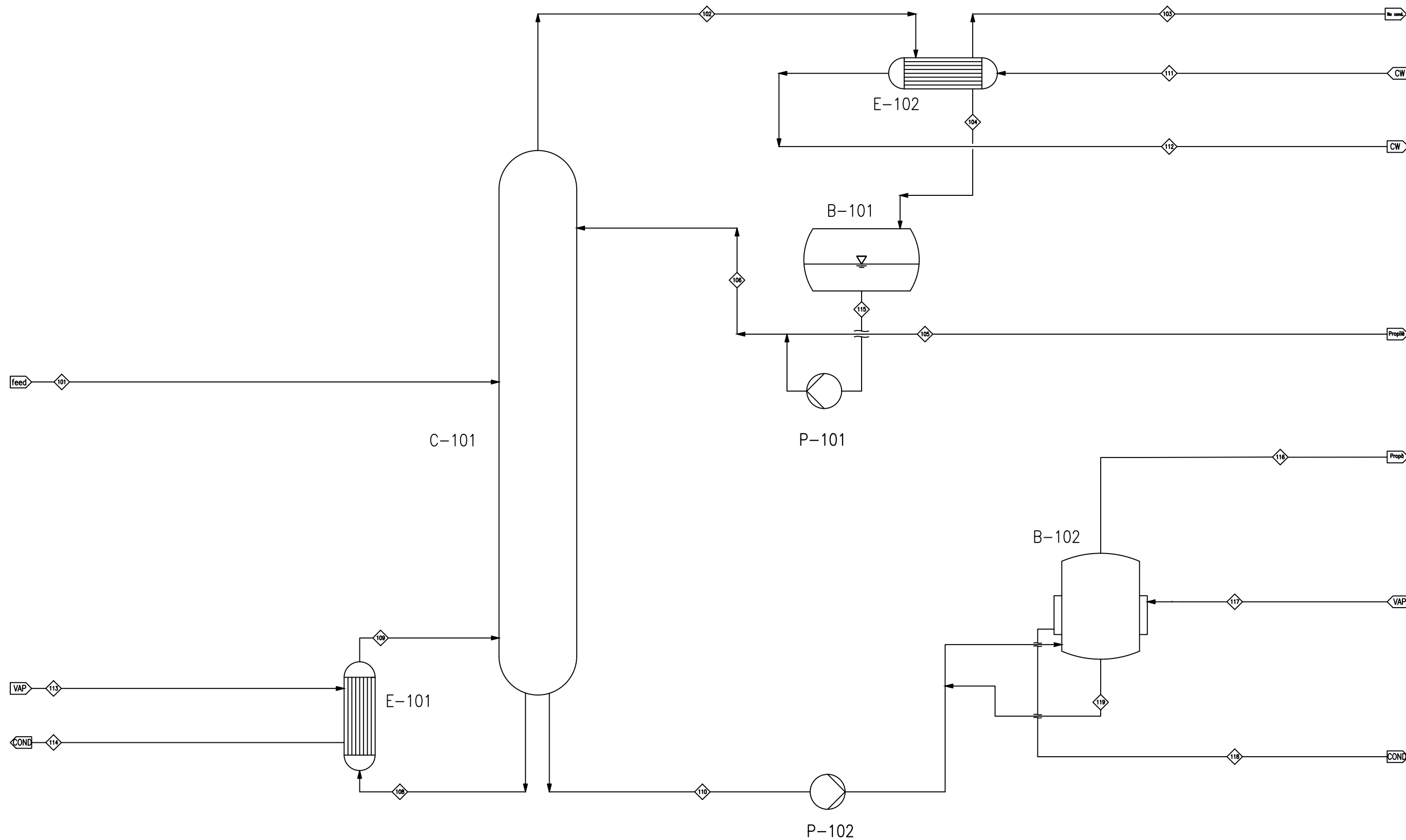


Figura 4.4. Simulació de la columna HIDiC.

Les dificultats de la simulació aquest cop han sigut molt grans, ja que no es coneixia gairebé el funcionament ni tampoc les condicions d'operacions. Per exemple, fer que cada plat de la columna intercanviés calor amb l'altre plat equivalent de l'altra no s'ha pogut fer, tot i que aquesta és la disposició ideal.

4.1.3. De flux de procés (PFD)

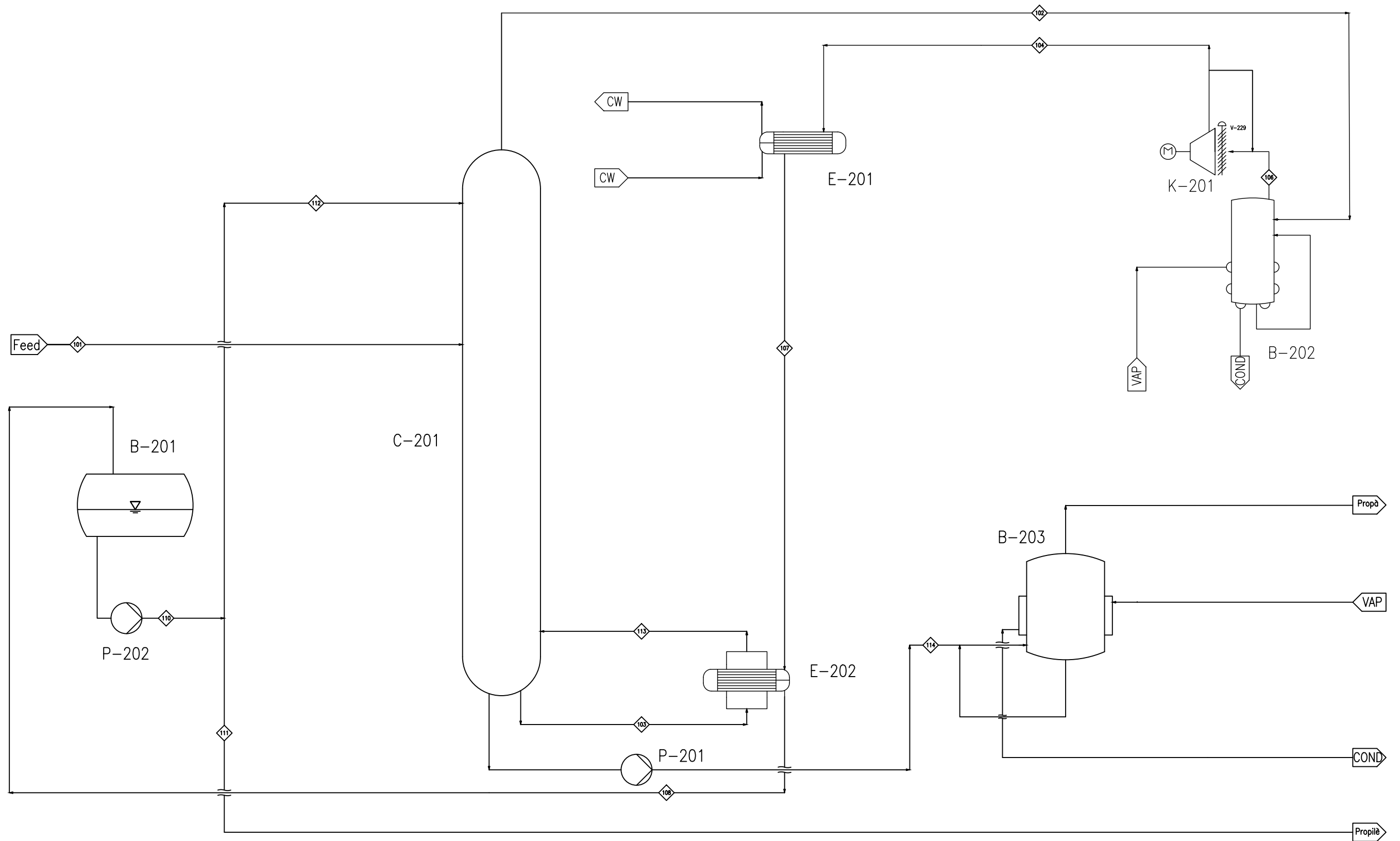
Els següents diagrames mostren el funcionament dels processos i els equips que intervenen.



Número de corrent	101	102	108	105	110	106	109	111	112	113	114	104	115	116	117	118
Temperatura (°C)	73.93	41.47	49.51	41.44	49.77	41.44	49.77	27	37	170	99.93	41.44	41.44	50.8	170	150
Pressió (kPa)	3410	1702	1800	1701	1800	1701	1800	500	458.9	550	547.132	1701	1701	1790	8	7.9
Cabal màssic (kg/h)	1665	40120	42500	1543	121.4	38580	42380	296360	296360	1725	1725	40123	40123	121	18	18
Composició propilè	0.938	0.996	0.235	0.996	0.2108	0.996	0.2351	0	0.9407	0	0	0.996	0.996	0.2108	0	0
Composició propà	0.062	0.004	0.765	0.004	0.7892	0.004	0.7649	0	0.0593	0	0	0.004	0.004	0.7892	0	0
Densitat (kg/m³)	396.9	36.96	452.5	476.8	451.7	476.8	40.81	997.94	995.51	2.76	961.42	476.8	476.8	39.06	4.05	916.99
Cabal (m³/h)	4.20	1085.50	93.92	3.24	0.27	80.91	1038.47	296.97	297.70	625.00	1.79	77.02	77.02	3.10	4.44	0.02

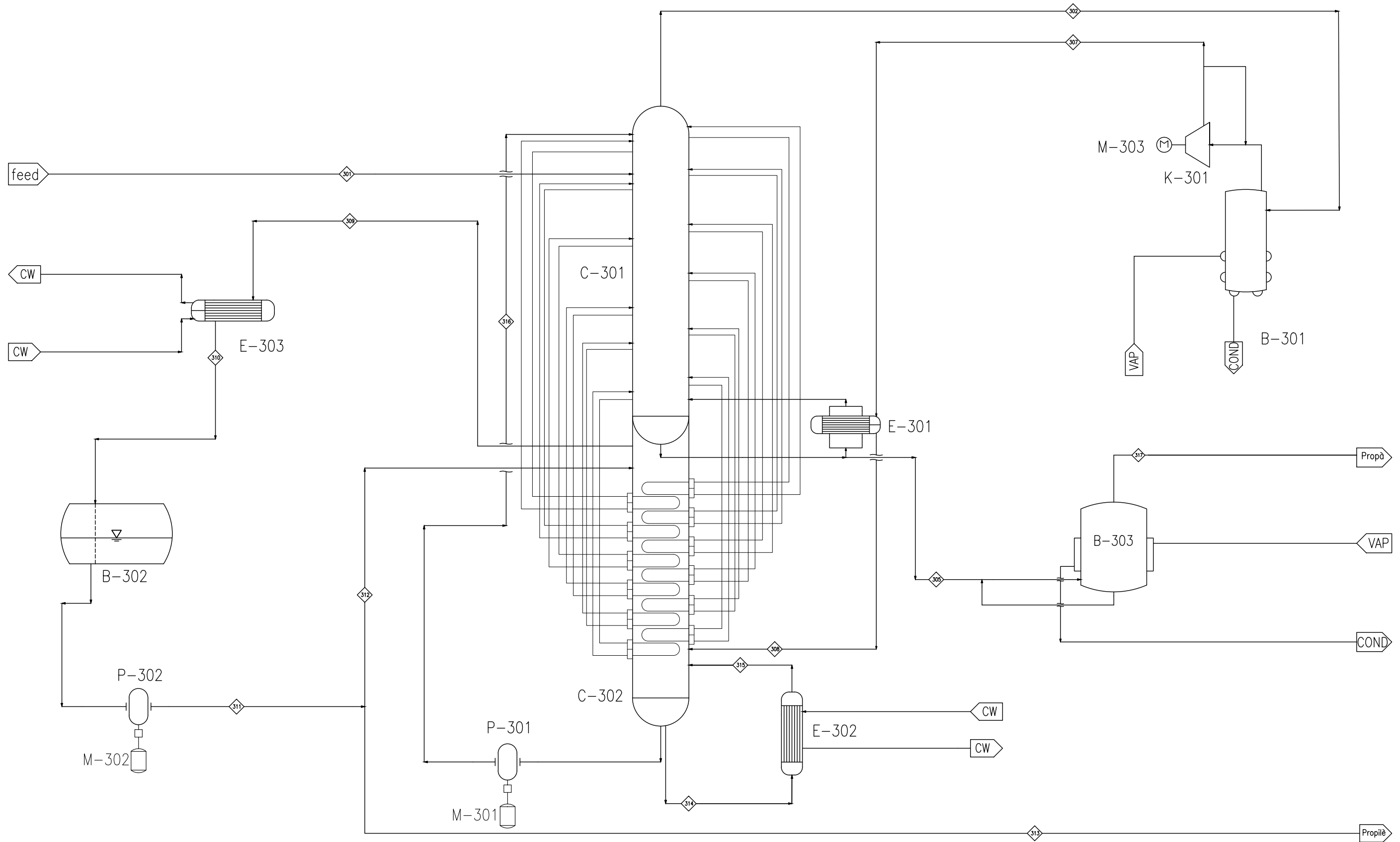
Splitter propà-propilè convencional

Data	Informe	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI <i>Treball fi de grau</i>
19/11/2017		
PFD		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 102



Número de corrent	101	102	103	104	106	107	108	110	111	112	113	114	115
Temperatura (°C)	73.93	26.07	35.32	49.12	49.12	42.18	41.92	41.92	42	42	37.32495771	37.32	37.33
Pressió (kPa)	3410	1180	1230	1730	1730	1730	1730	1730	1730	1730	1290	1230	1230
Composició propilè	0.9407	0.996	0.002	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.002	0.002	0.002
Composició propà	0.0593	0.004	0.998	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.998	0.998	0.998
Densitat (kg/m ³)	396.9	24.86	475.7	35.8	35.8	39.36	475.9	475.9	475.9	475.9	28.37	472.3	26.96
Cabal (m ³ /h)	4.20	2103.38	99.01	1460.61	1460.61	1328.51	109.88	109.88	3.30	106.58	1660.20	0.20	3.59
Cabal màssic (kg/h)	1665	52290	47100	52290	52290	52290	52290	52290	1569	50720	47100	96.78	96.78

Splitter propà-propilè amb recompressió del vapor		
Data	Informe	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Treball fi de grau
08/05/2018		
PFD		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 201



Número de corrent	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317
Temperatura (°C)	73.93	29.77	36.46	36.77	36.77	29.77	56.93	47.57	43.94	43.94	43.94	43.94	43.94	47.03	47.03	47.03	36.8
Pressió (kPa)	3411	1250	1349	1350	1350	1250	1950	1950	1800	1800	1800	1800	1800	1927	1927	1927	1350
Composició propilè	0.941	0.995	0.270	0.270	0.240	0.995	0.995	0.995	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.995	0.996	0.995	0.240
Composició propà	0.059	0.005	0.730	0.730	0.760	0.005	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.004	0.005	0.760
Densitat (kg/m ³)	396.91	26.19	476.19	28.40	476.19	26.19	40.17	235.93	39.37	471.83	471.83	471.83	471.83	465.47	42.59	465.47	476.19
Cabal (m ³ /h)	4.19	3137.96	153.29	2565.30	0.30	3137.96	2045.71	348.28	39.91	3.33	3.33	0.10	3.23	2.48	27.07	173.25	0.30
Cabal màssic (kg/h)	1664.55	82168.11	72995.93	72854.61	141.31	82168.11	82168.11	82168.11	1571.29	1571.29	1571.29	46.30	1524.98	1152.80	1152.80	80643.12	141.31

Splitter propà-propilè amb integració interna de calor (HIDiC)

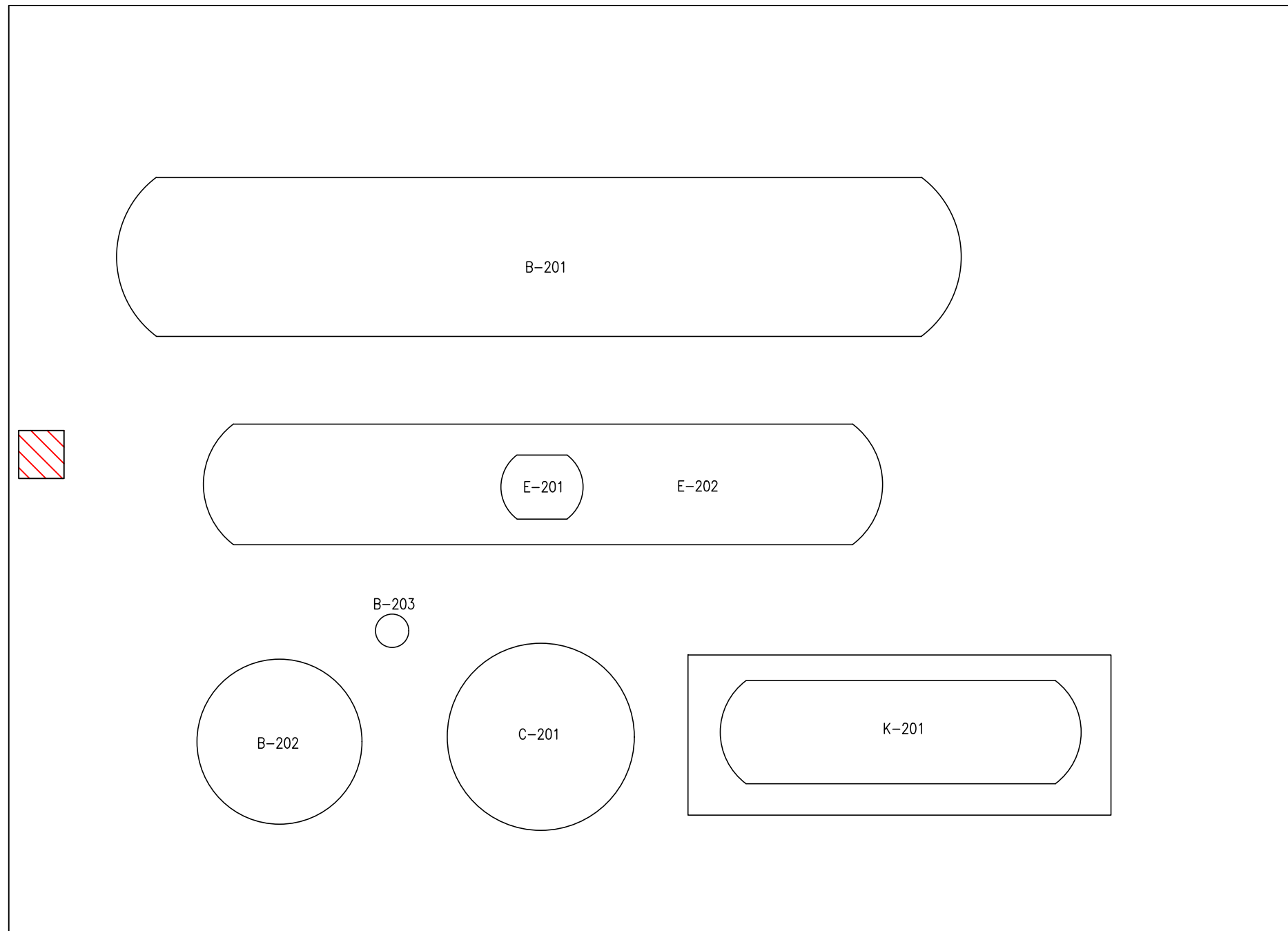
Data	Informe	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
6/05/2018		
PFD		Treball fi de grau

Domènec Estorach Ruedas
Josep Maixé Lozano
Aleix Martí Estepa

N^o 301

4.1.4. D'implantació (PLOT PLAN)

Per poder tenir una idea més real del procés s'ha dibuix el plot plan. El dibuix s'ha fet només sobre la columna de recompressió del vapor, però és extrapolable a les altres columnes

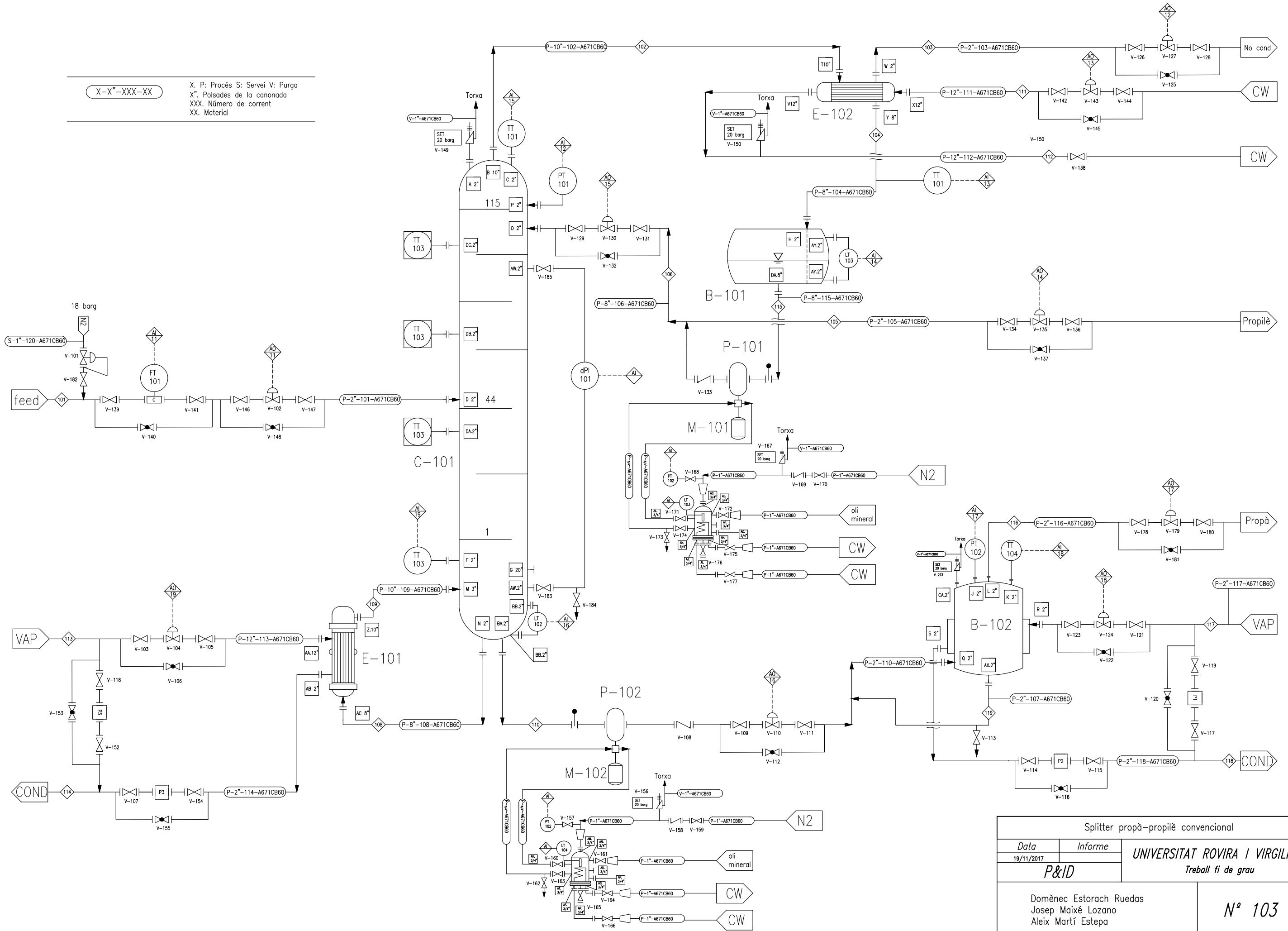


Plot Plant Splitter propà-propilè amb recompressió de vapor		
<i>Data</i>	<i>Informe</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI <i>Treball fi de grau</i>
08/05/2018		
Escala 1:100		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 203

4.1.5. De canonades i instruments (P&ID)

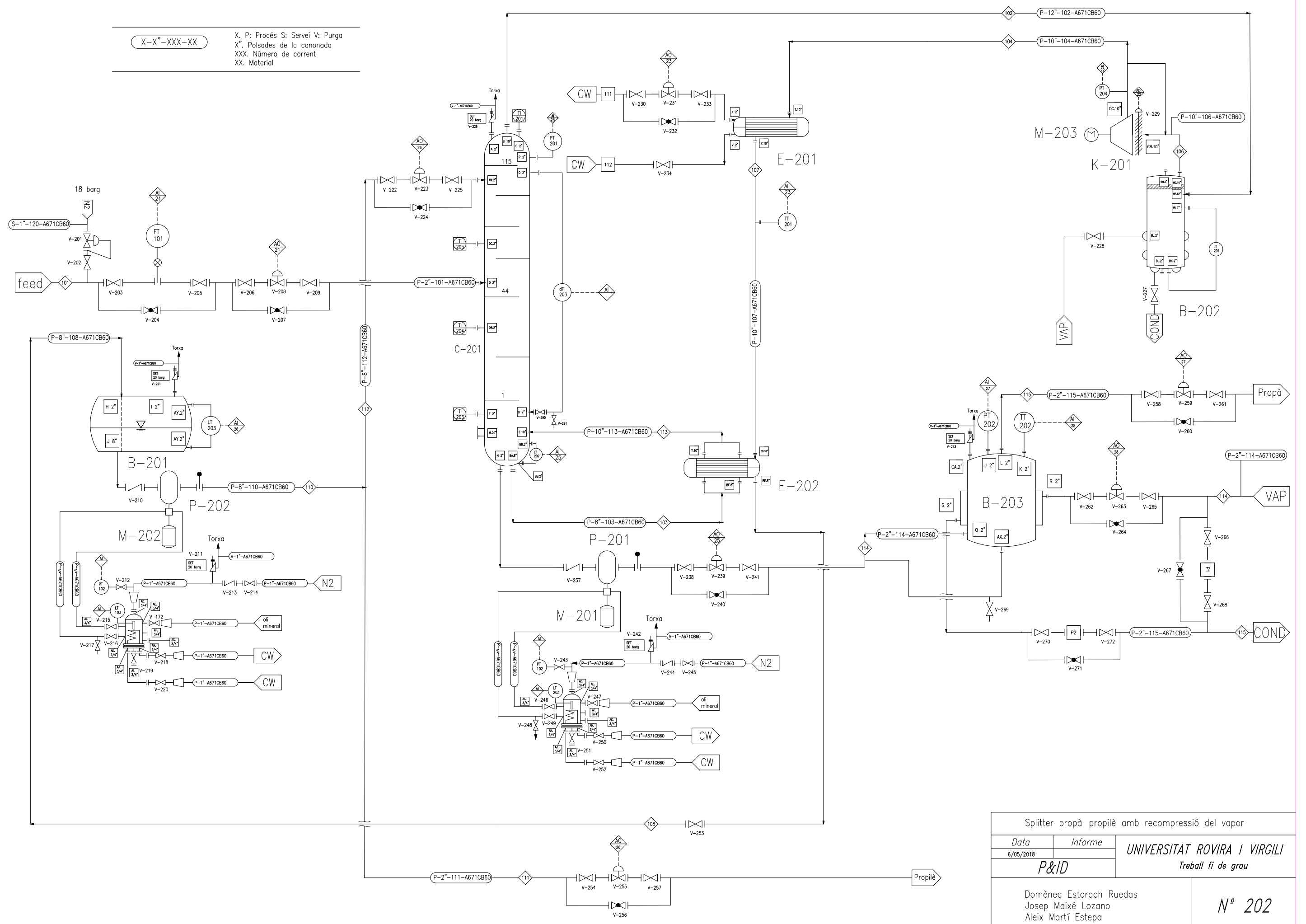
Una de les parts també molt importants és la implementació del control que tindrà el procés. Ja que aquest farà que cada variable important sigui regulada i controlada per controladors automàtics. Els següents P&ID's mostren el control de cadascuna de les columnes i equips que l'acompanyen.

X-X"-XXX-XX
 X. P. Procés S: Servei V: Purga
 X". Polsades de la canonada
 XXX. Número de corrent
 XX. Material



Splitter propà-propilè convencional		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Treball fi de grau
Data	Informe	
19/11/2017		
P&ID		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 103

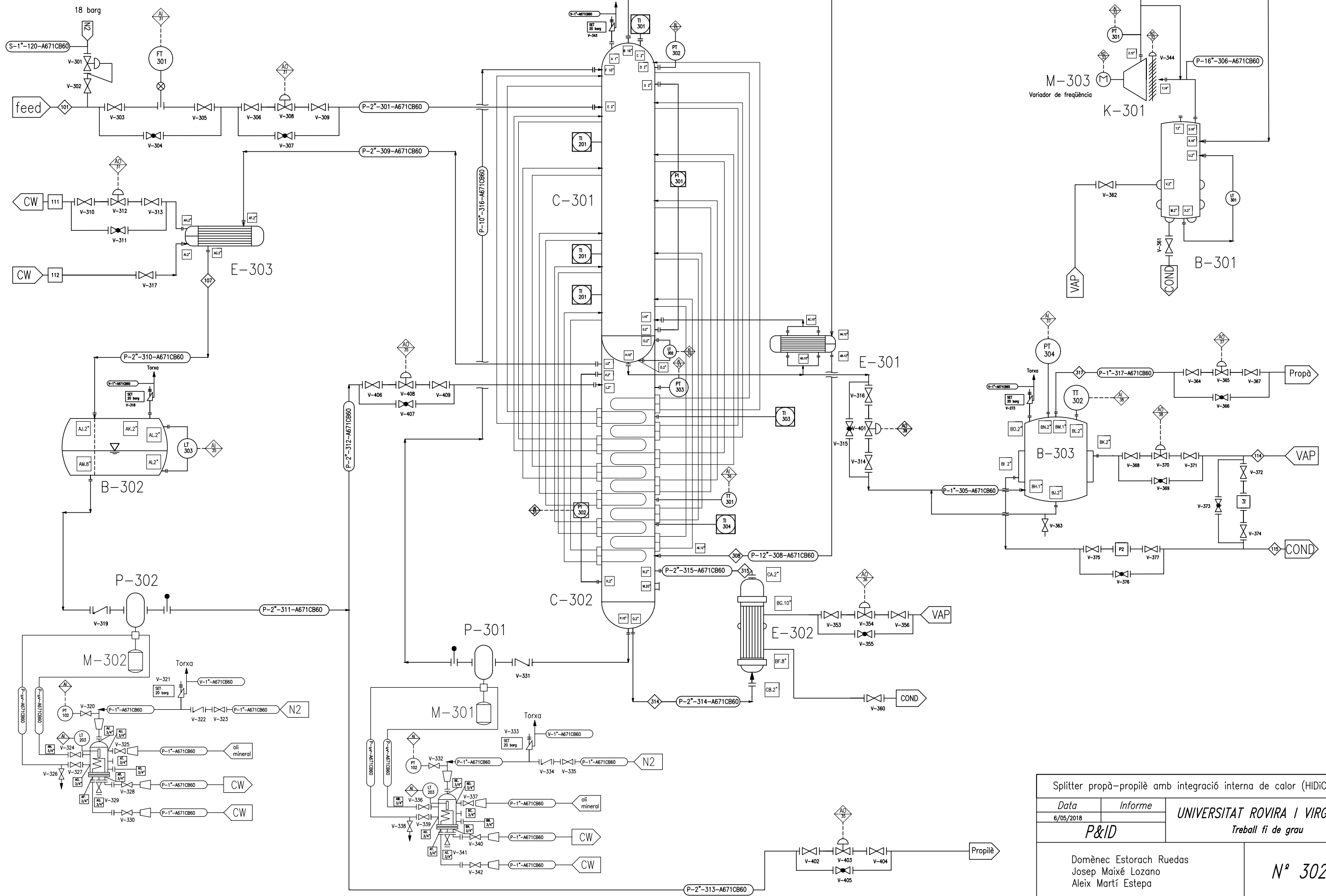
X-X"-XXX-XX X. P: Procés S: Servei V: Purga
 X". Polsades de la canonada
 XXX. Número de corrent
 XX. Material



Splitter propà-propilè amb recompressió del vapor		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Data	Informe	
6/05/2018		Treball fi de grau
P&ID		Nº 202
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		

X-X"-XXX-XX

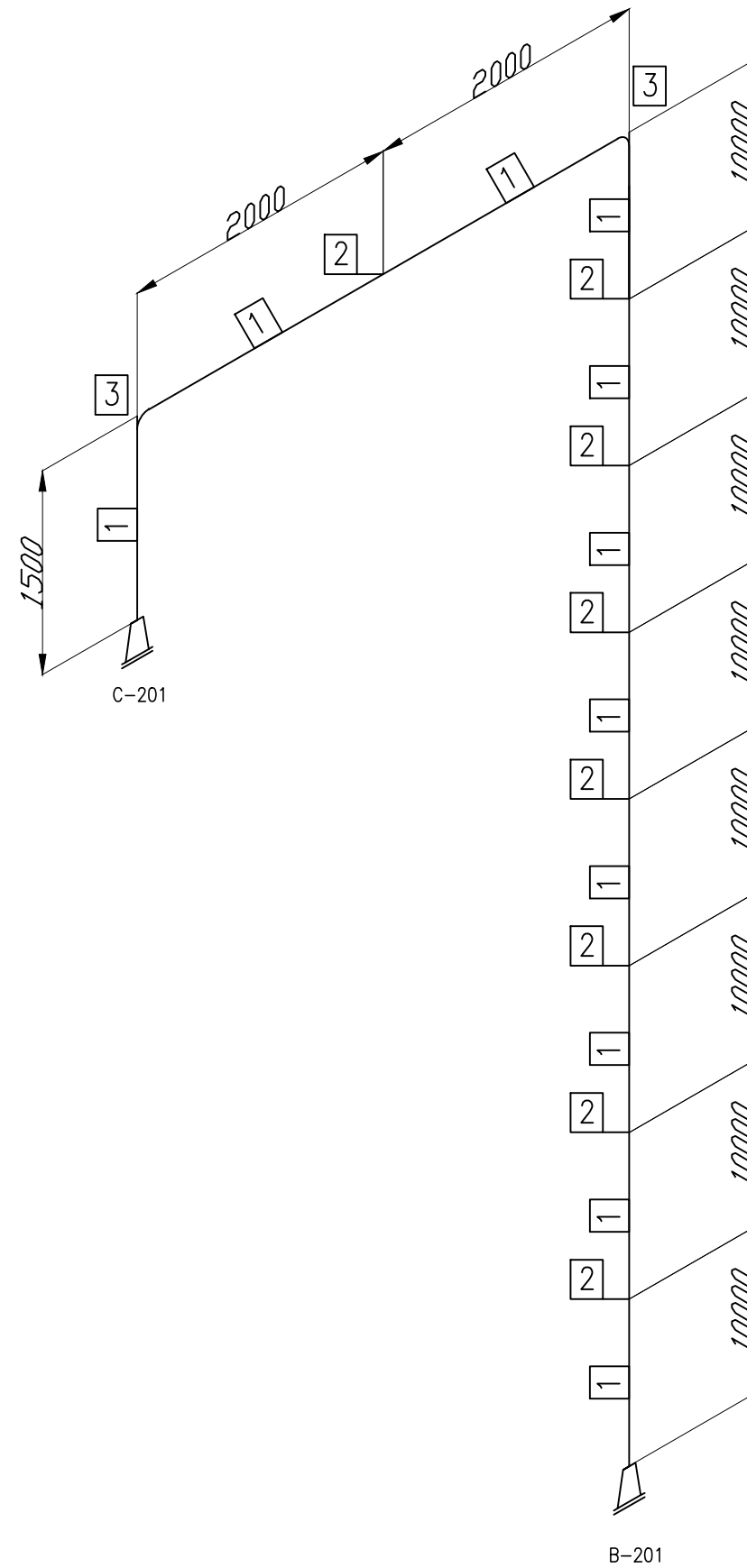
X. P: Procés S: Servei V: Purga
 X". Polsades de la canonada
 XXX. Número de corrent
 XX. Material



Splitter propà-propilè amb integració interna de calor (HIDiC)		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Treball fi de grau
Data	Informe	
6/05/2018		
P&ID		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 302

4.1.6. Isomètrics

També s'ha realitzat un isomètric de la canonada provinent del cap de columna C-201 fins arribar al compressor K-201. La línia és la P-12"-102-A671CB60.



IT	DESCRIPCIÓ	Pulg	QTY
1	Línia PN 40 A51565	12	85500mm
2	250x600 Guide Bracket UN 3789-01 HE-B	12	8
3	Colze 90° PN 63 A671CB60	12	2

Línia: Plànol 202 P-12"-102-A671CB60		
Splitter propà-propilè amb recompressió del vapor		
<i>Data</i>	<i>Informe</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI <i>Treball fi de grau</i>
08/05/2018		
Isomètrica		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 204

4.2. Disseny bàsic

4.2.1. Disseny de canonades

Primerament, calia saber els diferents corrents que hi ha presents en cadascun dels processos, la quantitat i el tipus de substància que era. Per la qual cosa, la simulació era una de les tasques prioritàries.

Un cop obtinguts els cabals i les característiques dels corrents, es va dur a terme el disseny de les canonades. És a dir, calcular el diàmetre mínim que es necessita per cada corrent.

Del balanç de matèria de la simulació agafem el cabal volumètric que hi passa per cada corrent, i suposen unes velocitats del fluid, segons si es tracta de líquid o de gas. La velocitat per a un corrent líquid s'ha estimat de 3 m/s i per un gas, de 20 m/s.

Tot seguit només cal utilitzar l'equació X.1 per trobar la mínima àrea que hi ha d'haver:

$$\text{Cabal} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \text{velocitat} \left(\frac{m}{s} \right) \cdot \text{Àrea} (m^2) \quad (4.1)$$

Un cop obtinguda l'àrea, cal utilitzar la fórmula d'una circumferència, equació (4.2):

$$\text{Àrea} (m^2) = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} \right) \quad (4.2)$$

I finalment, passar el diàmetre obtingut a polsades i agafar sempre un valor per sobre o més del que s'ha obtingut, el comercial, per tal de no estar treballant al 100% de capacitat de la canonada i estar preparats per futurs augments de producció.

A continuació, a la taula 4.4, es mostra el llistat de línies del procés de destil·lació amb columna convencional.

Taula 4.4. Llistat de canonades columna convencional.

LLISTAT D'EQUIPS											
TAG	P&ID	Descripció	Producte	Funció	Material	Estat	Temperatura d'operació	Temperatura disseny	Pressió d'operació	Pressió de disseny	
							°C	°C	bar g	bar g	
1	C-101	101	Columna destil·lació	Propà + propilè	Separar propà i propilè	A515-65	L	38	58	14.6	20.0
2	E-102	101	Condensador (tubs / carcassa)	Propilè + aigua	Condensar vapor cap de columna C-101	A515-60	L/G	37 / 13	57 / 33	5.5	8.0 / 20.0
3	B-101	101	Acumulador de reflux	Propilè	Acumular líquid condensat del E-102	A515-60	L	13	33	5.5	20.0
4	E-101	101	Reboiler (tubs / carcassa)	Propà + vapor	Evaporar i recircular líquid fons de columna C-101	A515-60	L/G	41 / 156	61 / 236	6 / 5.5	20.0 / 8.0
5	P-101	101	Bomba	Propilè	Impulsar corrent propilè líquid	A515-60	L	13	33	5.5	7.0
6	P-102	101	Bomba	Propà	Impulsar corrent propà a vaporitzador B-102	A515-60	L	8	28	6.0	7.5
7	B-102	101	Vaporitzador (propà / vapor)	Propà + vapor	Evaporar propà líquid fons de columna C-101	A515-60	L/G	41 / 140	61 / 220	5.0 / 5.5	20.0 / 8.0
8	M-102	101	Motor bomba P-102	Propà	Accionar la bomba P-102	A515-60	L	8	28	6.0	7.5
9	M-101	101	Motor bomba P-101	Propilè	Accionar la bomba P-101	A515-60	L	13	33	5.5	7.0

4.2.2. Disseny de la instrumentació i control

A la taula 4.5 es mostra el llistat d'instruments de la columna convencional.

Taula 4.5. Llistat d'instruments.

Llistat d'instruments														
TAG	P&ID	Descripció	Producte	Línia o equip	Senyal	Material	Diàmetre	Tipus d'instrument	Fabricant	Model	Estat	Temperatura d'operació	Pressió d'operació	
							in					°C	bar g	
1	FT-101	101	Transmissor de cabal	propà + propilè	P-2"-101-A671CB60	Analògica	A671CB-60	2	Coriolis	Emerson	Micro Motion Fseries	L	74	24
2	TT-101	101	Transmissor de temperatura	propà + propilè	C-101 (cap)	Analògica	A671CB-60	2	RTD	Emerson	Rosemount 214C	L	24	11.5
3	TT-102	101	Transmissor de temperatura	propilè + CW	P-8"-104-AC671CB60	Analògica	A671CB-60	2	RTD	Emerson	Rosemount 214C	L	13	5.5
4	LT-101	101	Transmissor de nivell	propilè	B-101	Analògica	A671CB-60	2	flotador	Emerson	T20&21	L	14	5.5
5	TT-103	101	Transmissor de temperatura	propà + vap.	C-101 (fons)	Analògica	A671CB-60	2	RTD	Emerson	Rosemount 214C	L	8	6
6	PT-102	101	Transmissor de pressió	propà	B-102	Analògica	A671CB-60	2	diafragma	Emerson	Rosemount 2051	L	41	5
7	TT-104	101	Transmissor de temperatura	propà	B-102	Analògica	A671CB-60	2	RTD	Emerson	Rosemount 214C	G	41	5
8	PT-101	101	Transmissor de pressió	propilè	C-101 (cap)	Analògica	A671CB-60	2	diafragma	Emerson	Rosemount 2051	G	24	11.5
9	LT-102	101	Transmissor de nivell	propà	C-101 (fons)	Analògica	A671CB-60	2	flotador	Emerson	T20&21	L	8	6
10	TT-103	101	Transmissor de temperatura	propà + propilè	C-101	Analògica	A671CB-60	2	RTD	Emerson	Rosemount 214C	L	8	6

Per al sistema de control s'ha seguit el llibre de la ref. 6.

Per tal de seguir correctament el funcionament de cadascun dels controladors es recomana tenir a la vista els diagrames P&ID's. Tots els equips numerats del 100 fins al 199 corresponent a la columna convencional, del 200 al 299 a la de recompressió i del 300 al 399 a la HIDiC.

4.2.2.1. Sistema de control de caps

A continuació s'explica el control de caps de la columna C-101. Aplicant el mètode de càlcul de guanys relatius en estat estacionari, s'observa que en les columnes superfraccionadores, la variable manipulada per a controlar la composició de cap és la pendent de la zona de rectificació en les seves diferents variants, és a dir, alguna de les relacions L/V , D/V o L/D , totes elles vàlides.

Se situa un controlador de nivell L-103 en l'acumulador de reflux B-101, perquè qualsevol variació en la quantitat de vapor per caps produirà una alteració en el nivell, que a la seva vegada es traduirà en una variació en el cabal de destil·lat D.

La pressió del cap de columna PT-101 és controlada amb el cabal de condensables mitjançant la vàlvula V-127, provinent del condensador E-102. La temperatura del cap de columna TT-101 és regulada pel reflux, referent a la vàlvula V-130.

Pel que fa a la columna C-201 la pressió presa per PT-201 està en un control amb cascada pel cabal de refrigerant de E-201, V-231, i per la temperatura del corrent de sortida de E-201, TT-201.

La columna C-301, està controlada per caps de la següent manera: la pressió al cap de columna està controlada pel motor del compressor K-301 amb variador de freqüència M-303.

Finalment, la columna C-302 queda controlada per un control de ratis amb el nivell LT-203 del acumulador de reflux B-302 amb les vàlvules V-406 i V-403 que són l'entrada de reflux i la sortida de propilè respectivament.

4.2.2.2. Sistema de control de fons

En aquest tipus de columnes existeix la dificultat de controlar el nivell de fons ja que la diferència de temperatura entre plats pot ser de l'ordre de 0.02 a 0.1°C, el que implica que cap sensor de temperatura és capaç d'apreciar aquestes diferències. Degut a que ens trobem a l'equilibri pot significar un canvi de 0 a 100 en el nivell de fons. En aquests casos s'opta per un control de nivell amb 2 preses de control LT-102. La variable regulada serà el cabal de fons amb la vàlvula V-110. La temperatura de fons TT-103 serà regulada per la vàlvula V-104, que correspon al cabal de vapor d'entrada al *reboiler* E-101.

Ex. En el cas que el nivell de fons estigui per sobre del punt de consigna, la vàlvula V-110 quedarà oberta.

4.2.2.3. Sistema de control de l'evaporador

Els evaporadors B-102, B-203 i B-303 estan controlats de la mateixa manera. A continuació s'explica el control de l'evaporador B-102. Al tractar-se d'un recipient a pressió és indispensable la PSV-273 tarada a 20barg. El control de la pressió, mesurada per PT-102, es duu a terme mitjançant el llaç amb el cabal de evaporat de propà, vàlvula V-179. Per altra banda la temperatura es regula mitjançant el cabal de vapor d'entrada a la camisa, vàlvula V-124 i amb el transmissor TT-104.

Ex. En el cas que la temperatura dins el recipient B-203 sigui superior al *set point*, la vàlvula V-124 quedarà tancada per tal que entri menys vapor i consegüentment la temperatura dins el recipient no sigui tant elevada. Si en canvi, la pressió és superior al *set point*, la vàlvula V-179 del corrent de sortida del propà evaporat quedarà oberta per tal que alliberi pressió dins el recipient.

4.2.2.4. Sistema de control del compressor centrífug

Tant en la columna de recompressió de vapor com la columna referent a la tecnologia HIDiC, és necessari un compressor K-201 i K-202 a la sortida de caps de la columna. A continuació s'explica el sistema de control del compressor K-201.

Per tal d'assegurar que la pressió a la sortida del compressor és més elevada que a l'entrada i evitar el bombeig, el transmissor PT-104 obre o tanca els àleps del compressor mitjançant la vàlvula V-229

Ex. En el cas que la pressió a la sortida sigui més elevada que a l'entrada, la vàlvula V-229 quedarà oberta.

4.2.3. Disseny d'equips

A continuació a la taula 4.6 s'adjunta el llistat d'equips per la columna de destil·lació convencional. El llistat de les altres dues columnes seria igual, però amb algun equip afegit segons els PFD corresponents.

Taula 4.6. Llistat d'equip al procés de la columna convencional.

LLISTAT CANONADES															
Nº de línia	DN	Schedule	Nom	De	A	Fluid	Fase	Cabal	Tº normal d'operació	Tº de disseny	P normal d'operació	Pressió de disseny	Pressió a prova hidràulica	Material aïllament	Guix aïllament
	in							kg/h	°C	°C	bar g	bar g	bar g		mm
101	2	40	P-2"-101-A671CB60	LB	Columna C-101	propà-propilè	L	1665	74	94	34.1	37.5	53.7	Llana roca	40
102	10	40	P-10"-102-A671CB60	Cap de columna C-101	Condensador E-102 costat carcassa	propilè	G	40120	41	61	17.0	20.0	28.6	Llana roca	50
104	8	40	P-8"-104-A671CB60	Condensador E-102 costat carcassa	Acumulador de reflux B-101	propilè	L	40123	41	61	17.0	20.0	28.6	Llana roca	40
105	2	40	P-2"-105-A671CB60	Divisió línia 115	Altre procés	propilè 99.95%	L	1543	41	61	17.0	20.0	28.6	Llana roca	30
106	8	40	P-8"-106-A671CB60	Divisió línia 115	Cap de columna C-101	propilè	L	38580	41	61	17.0	20.0	28.6	Llana roca	40
108	8	40	P-8"-108-A671CB60	Fons de columna C-101	Reboiler E-101 costat tubs	propà	L	42500	50	70	18.0	20.0	28.6	Llana roca	40
109	10	40	P-10"-109-A671CB60	Reboiler E-101 costat tubs	Fons de columna C-101	propà	G	42380	50	70	18.0	20.0	28.6	Llana roca	50
110	2	40	P-2"-110-A671CB60	Fons de columna C-101	Vaporitzador B-102	propà	L	121.4	50	70	18.0	20.0	28.6	Llana roca	30
111	12	40	P-12"-111-A671CB60	Entrada servei CW	Condensador E-102 costat tubs	Aigua	L	296360	27	47	5.0	8.0	11.4	Llana roca	60
112	12	40	P-12"-112-A671CB60	Condensador E-102 costat tubs	Sortida servei CW	Aigua	L	296360	37	57	5.0	8.0	11.4	Llana roca	60
113	12	40	P-12"-113-A671CB60	Entrada servei vapor	Reboiler E-101 costat carcassa	Vapor	G	1725	170	245	5.5	8.0	11.4	Llana roca	80
114	2	40	P-2"-114-A671CB60	Reboiler E-101 costat carcassa	Sortida servei vapor	Vapor	G	1725	100	236	5.5	8.0	11.4	Llana roca	50
115	8	40	P-8"-115-A671CB60	Acumulador de reflux B-101	Divisió línia 115 segons L/D	propilè	L	40123	41	61	17.0	20.0	28.6	Llana roca	40
116	2	40	P-2"-116-A671CB60	Vaporitzador B-102	Altre procés	propà	G	121	51	71	17.9	20.0	28.6	Llana roca	40
117	1	40	P-1"-117-A671CB60	Entrada servei vapor	Camisa Vaporitzador B-102	Vapor	G	18	170	245	8.0	8.0	11.4	Llana roca	60
118	1	40	P-1"-118-A671CB60	Camisa Vaporitzador B-102	Sortida	Condensat	L	18	150	220	7.9	8.0	11.4	Llana roca	50

Tot seguit es descriu com s'han dissenyat els diferents equips del procés, amb els respectius fulls d'especificació adjuntats.

4.2.3.1. Columnes de destil·lació

4.2.3.1.1 Nombre de plats

La columna de destil·lació superfraccionadora, o *splitter*, és l'equip més important de tot el procés, on s'hi dona lloc la separació del propà i el propilè. El principal requeriment de la columna és aconseguir una puresa com a mínim del 99.5% de propilè que surt pel cap de columna, com a destil·lat. Per fons, en sortirà un 24.5%, com a màxim (percentatge en pes).

Per realitzar un càlcul rigorós de la columna, s'ha procedit a seguir el mètode *short cut*, anomenat mètode FUG. Cada sigla correspon a les diferents parts del procediment:

- Fenske: nombre mínim d'etapes.
- Underwood: reflux mínim.
- Gilliland: nombre d'etapes i relació de reflux.

Per al càlcul rigorós de columnes es fixen una sèrie de condicions o variables abans de passar al càlcul.

- El cabal, composició i temperatura de totes l'alimentació.
- La pressió d'operació.
- Fixar dues especificacions de producte, que en aquest cas són les dues recuperacions, o percentatges del cabal alimentat de propilè que surt per cap i fons.

Les tres alternatives de columnes de destil·lació estudiades tenen la mateixa alimentació, i els mateixos requeriments de puresa en cap i fons de columna. Aquestes dades són facilitades per l'empresa i són mostrades a la taula 3.1 (apartat d'especificacions de l'alimentació). Però, s'ha decidit incloure només el propà i propilè com a *feed* de la columna, donat que els altres components de l'alimentació apareixen en unes concentracions molt baixes i per tant, prescindibles. Es mostren els valors a la taula 4.7.

Taula 4.7. Cabals i fraccions màssiques i molars d'alimentació.

	PM (g/mol)	Cabal màssic (kg/h)	Fracció màssica	Cabal molar, F (kmol/h)	Fracció molar, z_i
Propilè (C ₃ H ₆)	42.08	1556.73	0.935	36.99	0.938
Propà (C ₃ H ₈)	44.1	107.82	0.065	2.44	0.062

La pressió i temperatura d'operació són, respectivament, 33.1 barg i 73.93°C.

Per tant, el procediment (ref. 7) seguit seria el mateix per les tres, obtenint els mateixos valors en quant a nombre d'etapes, etapa d'alimentació, relació de reflux, etc. No obstant, el disseny de la columna HIDiC difereix de les altres dues, degut a que es planteja com a dues columnes consecutives i no com a solament una columna, i per tant, s'obtenen diferents resultats. Els resultat d'aquest apartat per les columnes convencional i RCV es mostren a la taula següent 4.8.

Taula 4.8. Nombre d'etapes teòriques columnes de destil·lació convencional i recompressió de vapor.

Paràmetre	Valor
Nombre d'etapes mínimes	90
Etapes mínimes de rectificació	51
Relació de reflux mínima	9.4
Relació de reflux R/D	14
Etapa d'alimentació	82
Nombre d'etapes	144

Tot i això, per realitzar els disseny dels plats i la seva eficàcia, s'ha utilitzat el nombre d'etapes obtingut de l'ASPEN, que és de 115 en les columnes convencional i RCV, i 172 pel que fa a la HIDiC.

4.2.3.1.2. Disseny i operació de plats

Els plats de flux creuat són el tipus més comú utilitzat en columnes de destil·lació i absorció. El líquid es transfereix de plat a plat a través de canals verticals anomenats baixants (*downcomers*). Una part del líquid és retingut i es manté al plat per un abocador de sortida.

S'utilitzen tres tipus principals de plats de flux creuat, classificats segons la manera en què hi contacten el líquid i el vapor: els plats de tamís, on el vapor puja a través dels forats del plat i el líquid hi és retingut; els de campana (*bubble-cap*), en què el vapor puja per mitjà de tubs petits; i els de vàlvules, que seran els que s'utilitzaran en aquesta columna. La imatge següent és el d'un plat de vàlvula.

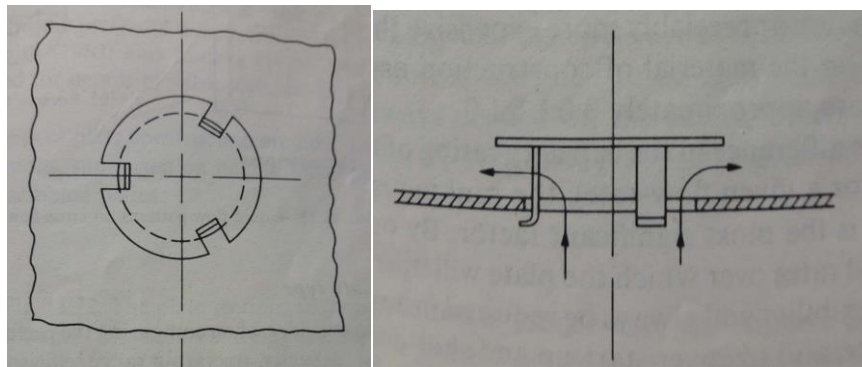


Figura 4.4. Vàlvula simple (ref. 8).

Els plats de vàlvules són com els de tamís amb forats de diàmetre més grans coberts per tapes mòbils, i operen amb una eficiència més elevada per fluxos menors que en els de tamís. Aquesta és la propietat que destaca en els plats de vàlvules: el tancament de les vàlvules per a cabals de vapor petits.

Els requeriments bàsics per una etapa de contacte entre plats són que hi hagi un bon contacte entre líquid i vapor i una retenció de líquid suficient per una bona transferència de massa (alta eficàcia), tenir un espai i àrea entre plats suficients per mantenir l'arrossegament i la caiguda de pressió entre els límits acceptables, i tenir una àrea de baixant suficient per al líquid per tal que flueixi lliurement de plat a plat.

S'ha realitzat un disseny acurat dels plats de la columna (ref. 8) per tal de fer-ne un dimensionament i saber els valors dels principals paràmetres com el diàmetre de la columna, la caiguda de pressió, les àrees que formen l'interior dels plats o el nombre de forats, entre d'altres. Els càlculs s'han seguit com si es tractés de plats perforats, i el procediment és el següent, tenint en compte que s'han agafat com a dades els plats primer (*top*) i últim (*bottom*):

- 1) Calcular els cabals màxim i mínim de líquid i vapor.
- 2) Estimació de les propietats físiques del sistema.
- 3) Escollir un espai entre plats.
- 4) Calcular el diàmetre de la columna, basat amb les consideracions d'inundació.
- 5) Decidir el nombre de passos per plat segons el flux de líquid i el diàmetre.
- 6) Realitzar un esquema del plat: àrees de la baixant, activa, del forat i altura de l'abocador.
- 7) Calcular la taxa de goteig del líquid.
- 8) Establir la caiguda de pressió de plat a plat, i la total per al nombre de plats reals.
- 9) Conèixer quin és el temps de residència a la baixant.
- 10) Decidir els detalls de l'esquema dels plats: zones calmades, àrees no perforades.
- 11) Recalculer el percentatge d'inundació basat amb el diàmetre de la columna.
- 12) Comprovació de l'arrossegament, segons també la fracció d'inundació.
- 13) Disseny final: reproduir un esquema del plat i les seves especificacions principals.

La taula 4.9 presenta els cabals i composicions massiques per als plats de cap i fons de columna, i algunes de les propietats físiques.

Taula 4.9. Dades del balanç de matèria i propietats físiques.

	Top (plat 115)			Bottom (plat 1)		
	Conv.	RCV	HIDiC	Conv.	RCV	HIDiC
Cabal líquid (kg/h)	38590	43810	1070	42500	46190	73000
Cabal vapor (kg/h)	40120	52290	1550	42330	46360	72760
Comp. propilè líq.	0.9957	0.9956	0.9971	0.2350	0.0020	0.2700
Comp. propà líq.	0.0043	0.0044	0.0029	0.7650	0.9980	0.7300
Comp. propilè vap.	0.9960	0.9960	0.9973	0.2570	0.0023	0.2971
Comp. propà vap.	0.0040	0.0040	0.0027	0.7430	0.9977	0.7029
Pressió (barg)	17.02	11.80	18.00	18.00	12.30	13.50
Temperatura (°C)	41.47	26.07	43.98	49.51	35.32	36.46
Densitat líq. (kg/m ³)	476.8	476.8	468.9	452.5	452.5	483.9
Densitat vap. (kg/m ³)	36.93	24.86	39.39	40.77	26.89	43.48
Tensió superf. (N/m)	4.742E-03	6.774E-03	4.402E-03	4.067E-03	5.708E-03	5.276E-03

Es poden observar les diferències de cabal entre *top* i *bottom* de la columna HIDiC, degut a que s'han simulat com si fossin dues columnes independents interconnectades. Per aquest motiu, s'ha considerat com si fossin una columna per la realització del seu disseny, només tenint en compte els cabals que surten pel plat 1 ja que el cabal del plat 115 és molt escàs.

Un cop haver seguit el procediment, que està explicat amb tot el detall a l'annex A.2.1.2, els principals resultats obtinguts són els que es mostren a continuació a la taula 4.10:

Taula 4.10. Disseny de plats de vàlvules de la columna.

Especificació dels plats	Convencional	RCV	HIDiC
Espai entre plats (m)	0.6	0.6	0.6
Diàmetre columna (m)	1.73	1.83	2.28
Nombre de passos per plat	1	1	1
Àrea transversal columna (m ²)	2.35	2.63	4.07
Àrea de la baixant (m ²)	0.282	0.316	0.488
Àrea neta (m ²)	2.07	2.32	3.58
Àrea activa (m ²)	1.79	2.00	3.09
Àrea de forat (m ²)	0.181	0.200	0.309
Longitud abocador (m)	1.31	1.39	1.73
Altura abocador (mm)	50.0	50.0	50.0
Diàmetre forat (mm)	5.00	5.00	5.00
Grossor plat (mm)	5.00	5.00	5.00
Velocitat mín. vapor a través de forats (m/s)	1.13	2.04	1.55
Caiguda de pressió de la columna (bar g)	1.89	2.00	3.05
Temps de residència de la baixant (s)	3.19	3.72	3.89
Vora del plat sense perfora (mm)	50.0	50.0	50.0
Zona ampla calmada (mm)	50.0	50.0	50.0
Àrea d'un forat (mm ²)	19.6	19.6	19.6
Nombre de forats	9096	10195	15737

La figura següent mostra l'esquema del plat utilitzat.

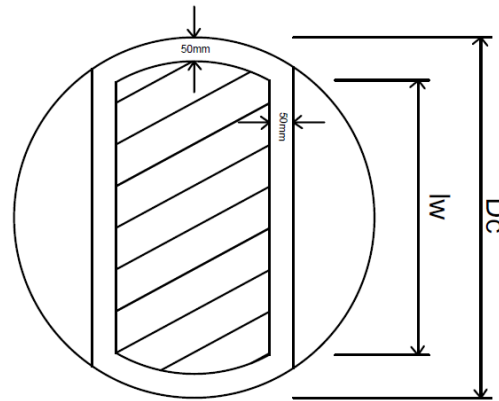


Figura 4.5. Esquema del plat.

On D_c és el diàmetre de la columna i l_w la corda de la baixant.

4.2.3.1.3. Eficàcia de plats

El concepte d'eficàcia de plats s'utilitza per relacionar les etapes de contacte entre plats pràctica amb les etapes teòriques d'equilibri. S'empren tres definicions d'eficàcia de plat:

- L'eficàcia de plat de Murphree, definida en termes de composicions de vapor.

$$E_{mV} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_e - y_{n-1}} \quad (4.3)$$

On y_e és la composició de vapor que seria en l'equilibri amb el líquid del plat següent. Així doncs, l'eficàcia de Murphree se basa en la relació de l'actual separació aconseguida amb aquella que estaria ara com a etapa d'equilibri.

- Eficàcia puntual de Murphree, on les composicions de líquid i vapor són agafades com al punt corresponent del plat. S'aplica de la mateixa manera que a la 4.3.
- Eficàcia general de la columna, sovint un terme confós per l'eficàcia general del plat.

S'usa la següent expressió:

$$E_O = \frac{n^{\circ} \text{ etapes ideals}}{n^{\circ} \text{ etapes reals}} \quad (4.4)$$

Per situacions idealitzades on les línies d'equilibri i d'operació són rectes, l'eficàcia general de la columna i la de plat de Murphree van relacionades per l'equació de Lewis:

$$E_O = \frac{\ln[1 + E_{mV}(\lambda - 1)]}{\ln \lambda} \quad (4.5)$$

Per la majoria de propostes del càlcul d'eficàcia de plats, una mitjana senzilla d'entre els punts top i bottom serà suficient com per donar-ho com a vàlid (ref. 8).

S'ha procedit al càlcul de l'eficàcia dels plats de les columnes de destil·lació mitjançant dos mètodes. Un és l'empíric, que per la correlació d'O'Connell (ref. 8), s'obté l'eficàcia en funció de només dos paràmetres, la viscositat molar mitjana de l'alimentació i de la volatilitat relativa. És força útil per sistemes d'hidrocarburs.

L'altre, molt més complex, és el mètode AIChE (ref.8), basat amb la majoria de factors coneguts que poden afectar l'eficàcia dels plats, com les característiques de transferència de massa en les fases líquida i vapor, els paràmetres de disseny dels plats, els cabals de líquid i vapor, el grau de mescla al plat. En aquest cas, doncs, s'han agafat les dades dels plats de cap, i de fons, que ja s'havien especificat en l'apartat del disseny de plats.

El desenvolupament dels càlculs per arribar a conèixer l'eficàcia dels plats està explicat en detall a l'annex A.2.1.3. S'ha seguit el mateix procediment per les tres alternatives de columnes de destil·lació, i per tant, s'obté una eficàcia diferent per cadascuna.

Per la columna de destil·lació convencional, l'eficàcia del plat obtinguda és, segons el mètode empíric, del 89.65%. Segons l'AIChE, en canvi, $EOC = 85.11\%$, resultant de la mitjana d'entre les eficàcies dels plats primer i últim de la columna.

Pel que fa a la RCV, s'obté una major eficàcia de plats una mica major, també pel model AIChE, $EOC = 89.70\%$. D'altra banda, a la columna HiDiC han hagut dificultats pel que fa al càlcul de l'eficiència, degut a que com s'havia dit a l'apartat del disseny de plats, els cabals de cap de columna són molt petits i no s'han pogut extraure una mitjana d'eficiència vàlida entre els corrents de cap i fons.

4.2.3.1.4. Disseny mecànic

S'ha realitzat també el disseny mecànic de les columnes per completar els respectius fulls d'especificació, i els resultats es mostren a la taula 4.11.

Taula 4.11. Disseny mecànic columnes de destil·lació.

Dimensió	Convencional	RCV	HiDiC
Radi (m)	0.86	0.92	1.14
Gruix carcassa cilíndrica (mm)	12.0	12.0	12.0
Gruix fondos (mm)	8.00	8.00	8.00
Altura carcassa cilíndrica (m)	76.2	76.2	110.
Pes columna buida (kg)	39300	41700	74500
Pes total (kg)	45500	48900	91400

A més a més, s'ha dissenyat mecànicament la columna RCV tenint en compte que hi hagués un vent amb una velocitat de 120 km/h (ref. 9), per tal de veure com afecta amb el gruix al fons de la columna.

Per això, primer es calcula la pressió de disseny del vent a intervals d'altura de la columna de 20 ft (veure annex A.2.1.4), i després el gruix requerit total del fons, és a dir, el corresponent al vent més el de la pressió interna. Si aquest és superior al de la carcassa de la columna, que és de 0.234 in, s'aplica aquest valor de gruix requerit total del fons per al fons de columna.

El gruix requerit calculat amb la resistència de la costura inferior de la pressió del vent més la pressió interna del recipient és de 0.104 in. Com que és menor que el gruix calculat amb la resistència de la costura longitudinal (només sotmès a pressió interna), que és el del cilindre de la columna, serà aquest el que s'utilitzarà com a vàlid, i és de 0.234 in, que comercialment és de $t=12$ mm.

A les pàgines següents es mostren els fulls d'especificació.

4.2.3.2. Acumulador de reflux

L'acumulador de reflux de procés s'utilitza per emmagatzemar temporalment el líquid que surt del condensador, o condensador-reboiler pel cas de RCV. Aquest dipòsit és necessari per poder controlar la relació de reflux de la columna de rectificació i per assegurar que tot el destil·lat recirculat a la columna es trobi en fase líquida i sigui continu. L'altra part que no torna a la columna, surt en forma de destil·lat, amb una composició del 99.5% de propilè.

Aquest tanc d'emmagatzematge és un dipòsit en forma horitzontal, en concret es considera com a separador líquid-vapor (Reflux Drum). El material pel que està compost és l'acer A515-60 i l'aïllament, de llana de roca. S'ha dissenyat seguint el procediment (ref. 10) que s'explica a l'annex A.2.2.

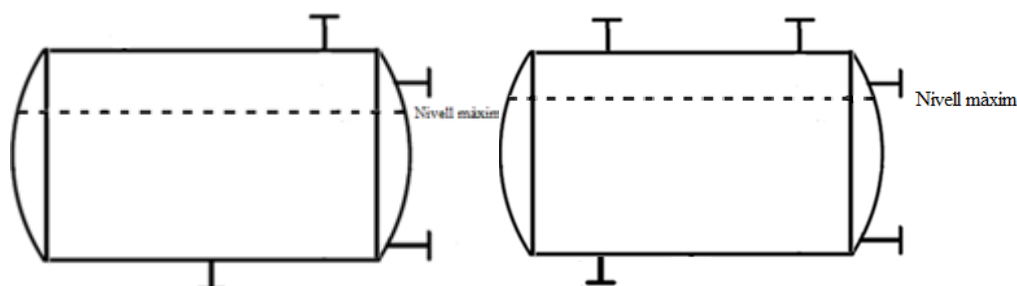


Figura 4.6. Acumulador de reflux de la columna convencional (esquerra), i de la RCV i HIDiC (dreta).

La capacitat de l'acumulador de reflux es realitza en base a una estimació del temps d'operació que hauria de ser capaç de cobrir. Per conèixer el volum de tanc s'ha utilitzat el cabal de reflux amb un temps d'operació de 5 minuts per les columnes convencional i de recompressió de vapor, i el corrent de destil·lat amb un temps d'operació de 15 minuts per la HIDiC. Aquest volum es sobredimensionarà amb un 10% per sobre per recomanacions econòmiques (ref. 11).

També s'ha realitzat un disseny mecànic de l'equip, obtenint els gruixos de les diferents parts, els diàmetres de les toveres que conté, i el pes de tanc. S'ha definit que els fons de l'acumulador són toriesfèrics, i de tipus Klopper (ref. 12), degut als rangs de pressió i temperatura de disseny i operació en que es troba l'equip. Les dades d'operació i de disseny es mostren als fulls d'especificació corresponent.

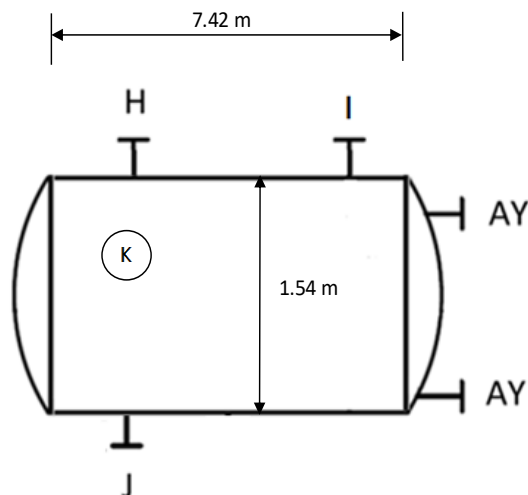
El recipient s'ha dissenyat mecànicament segons el codi ASME, secció VIII Div.I, i d'aquest s'obtenen els resultats següents. Després s'adjunten els fulls d'especificació.

Taula 4.12. Resum de les característiques de l'acumulador de reflux.

Dimensió	Convencional	RCV	HIDiC
Volum (m ³)	6.79	8.96	0.89
Volum de líquid (m ³)	5.43	7.17	0.71
Diàmetre (m)	1.40	1.53	0.71
Longitud (m)	6.17	7.42	1.59
Nivell màxim de líquid (m)	1.12	1.22	0.57
Espessor carcassa cilíndrica (mm)	16.0	16.0	8.00
Espessors fonsos (mm)	12.0	8.00	8.00
Pes tanc buit (kg)	3510	4680	239
Pes total (kg)	5960	7960	575

1	GENERAL				Manufacturer:			
2	Item: B101							
3	Description: Acumulador de reflux B-101				Position:		<input checked="" type="checkbox"/> Horiz.	<input type="checkbox"/> Vertical
4	OPERATING				Product: propà-propilè			
5	Operating Pressure (eff.)				17.01	barg		
6	Operating Temperature				41.44	°C		
7	Liquid Density				452.04	kg/m ³		
8	DESIGN DATA				Design Pressure (eff.)			
9	Design Temperature				20	barg		
10	Hydrostatic Test (eff.)				56.44	°C		
11	Corr. Allow. Shell / Heads				28.6	barg		
12	Joint Eff. Shell / Heads				3.18	mm		
13	Code: ASME Section VIII Div.1				0.8			
14	Radiograph:				Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
15	Stress Relieve:				Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
16	Seismic:				Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Wind Load: No aplicat				N/m ²			
18	Hydrostatic Test (eff.)				28.6	barg		
19	MATERIALS				Thickness			
20	Shell				16 mm	A515-60		
21	Heads				12 mm	A515-60		
22	Lining				mm			
23	Nozzle Necks							
24	Flanges							
25	CONSTRUCTION				Dia.			
26	Shell				1400 mm	L / H		Material
27	Heads				1400 mm			A515-60
28	Insulation: Llana de roca				Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
29	Fireproofing:				Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Sandblast:				Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
31	Paint:				Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
32	Wt. Empty:				3506 kg			
33	Wt. Full Liquid				5961 kg			
34	N	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating		
35	O	Entrada producte de E-102	H	1	8	300# RF		
36	Z	Controlador de nivell LT-103	AY	2	2	300# RF		
38	Z	Sortida producte de B-101	DA	1	8	300# RF		
39	L	Boca d'home	K	1	20	300# RF		
40	E							
41	S							
42	C							
43	H							
44	E							
45	D							
46	U							
47	L							
48	E							
49	E							
				NOTES:				
				UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI				
				Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química				
				Departament d'Enginyeria Química				
1	20/5/2018	Domènec Estorach Ruedas		Aleix Martí Estepa				
REV.	DATE	PREP.		APPR.				

1	GENERAL					Manufacturer:					
2	GENERAL					Item: B201					
3	GENERAL					Description: Acumulador de reflux B-201		Position: <input checked="" type="checkbox"/> Horiz.		<input type="checkbox"/> Vertical	
4	OPERATING					Product: propà-propilè					
5	OPERATING					Operating Pressure (eff.)		11.8 barg			
6	OPERATING					Operating Temperature		42 °C			
7	OPERATING					Liquid Density		475.7 kg/m ³			
8	DESIGN DATA					Design Pressure (eff.)		23 barg			
9	DESIGN DATA					Design Temperature		57 °C			
10	DESIGN DATA					Hidrostatic Test (eff.)		32.9 barg			
11	DESIGN DATA					Corr. Allow. Shell / Heads		3.18 mm			
12	DESIGN DATA					Joint Eff. Shell / Heads		0.8			
13	DESIGN DATA					Code: ASME Section VIII Div.1					
14	DESIGN DATA					Radiograph:		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
15	DESIGN DATA					Stress Relieve:		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
16	DESIGN DATA					Seismic:		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			
17	DESIGN DATA					Wind Load: No aplicat				N/m ²	
18	DESIGN DATA					Hidrostatic Test (eff.)		28.6 barg			
19	MATERIALS					Thickness		Mat'l Class			
20	MATERIALS					Shell 16 mm		A515-60			
21	MATERIALS					Heads 12 mm		A515-60			
22	MATERIALS					Lining mm					
23	MATERIALS					Nozzle Necks					
24	MATERIALS					Flanges					
25	CONSTRUCTION					Dia.		L / H		Material	
26	CONSTRUCTION					Shell 1540 mm				A515-60	
27	CONSTRUCTION					Heads 1540 mm				A515-60	
28	CONSTRUCTION					Insulation: Llana de roca		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
29	CONSTRUCTION					Fireproofing:		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			
30	CONSTRUCTION					Sandblast:		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
31	CONSTRUCTION					Paint:		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
32	CONSTRUCTION					Wt. Empty: 4684 kg					
33	CONSTRUCTION					Wt. Full Liquid: 7964 kg					
34	N					Service		Mark		Nº	
35	O					Entrada producte de E-102		H		1 8 300# RF	
36	Z					Purga		I		1 2 300# RF	
37	Z					Sortida producte de B-101		J		1 8 300# RF	
38	L					Boca d'home		K		1 20 300# RF	
39	E					Controlador de nivell LT-103		AY		2 2 300# RF	
40											
41											
42	S										
43	C										
44	H										
45	E										
46	D										
47	U										
48	L										
49	E										
NOTES:											
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química											
1	20/5/2018	Domènec Estorach Ruedas	Aleix Martí Estepa								
REV.	DATE	PREP.	APPR.								



1	GENERAL					Manufacturer:						
2	Item: B301											
3	Description: Acumulador de reflux B-301					Position:		x Horiz.		Vertical		
4	OPERATING					Product: propà-propilè						
5	Operating Pressure (eff.)					18 barg						
6	Operating Temperature					44 °C						
7	Liquid Density					471.9 kg/m ³						
8	DESIGN DATA					Design Pressure (eff.)					23 barg	
9	Design Temperature					59 °C						
10	Hydrostatic Test (eff.)					32.9 barg						
11	Corr. Allow. Shell / Heads					3.18 mm						
12	Joint Eff. Shell / Heads					0.8						
13	Code: ASME Section VIII Div.1											
14	Radiograph:					Yes	x	No				
15	Stress Relieve:					Yes	x	No				
16	Seismic:					Yes		No	x			
17	Wind Load: No aplicat							N/m ²				
18	Hydrostatic Test (eff.)					28.6 barg						
19	MATERIALS					Thickness		Mat 1 Class				
20	Shell					8 mm		A515-60				
21	Heads					8 mm		A515-60				
22	Lining					mm						
23	Nozzle Necks											
24	Flanges											
25	CONSTRUCTION					Dia.		L / H		Material		
26	Shell					711 mm				A515-60		
27	Heads					711 mm				A515-60		
28	Insulation: Llana de roca					Yes	x	No				
29	Fireproofing:					Yes		No	x			
30	Sandblast:					Yes	x	No				
31	Paint:					Yes	x	No				
32	Wt. Empty:					239 kg						
33	Wt. Full Liquid:					574 kg						
34	N					Service		Mark		Nº		
35	O					Entrada producte de condensador		AJ		1 2 300# RF		
36	Z					Purga		AK		1 2 300# RF		
37	Z					Sortida producte de B-101		AM		1 2 300# RF		
38	L					Boca d'home		BO		1 20 300# RF		
39	E					Controlador de nivell LT-103		AL		2 2 300# RF		
41												
42	S											
43	C											
44	H											
45	E											
46	D											
47	U											
48	L											
49	E											
NOTES:												
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química												
1	20/5/2018	Domènec Estorach Ruedas			Aleix Martí Estepa							
REV.	DATE	PREP.			APPR.							

4.2.3.3. Condensadors

En aquest apartat es descriuran els paràmetres més importants que es tenen en consideració per dur a terme el disseny dels condensadors que formen part de cadascun dels processos.

La funció d'un condensador és passar de la fase gas a líquid el corrent de sortida de cap d'una columna. El fluid extern més habitual per dur a terme aquest intercanvi de calor és aigua, tot i que també es poden utilitzar altres fluids.

A continuació es mostra una taula amb les dades més representatives del disseny del condensador E-102 de la columna C-101, tant pel mètode *Kern* (ref.13) com pel simulador *Aspen Exchanger Design and Rating*.

Taula 4.13. Paràmetres intercanviador E-102.

Paràmetres	Mètode Kern	Aspen Exhcanger
Calor intercanviada (kW)	3450	3470
Àrea (m ²)	231.0	173.0
U (W/m ² ·K)	2000	1480
Nombre de tubs	551.0	453.0

El procediment seguit per obtenir tots aquests resultats es poden observar a l'apartat A.2.3.

Per als altres condensadors ja s'ha dut a terme el disseny mitjançant el *Aspen Exchanger Design and Rating*. A la següent taula es mostren els paràmetres dels condensadors de cadascun dels diferents processos.

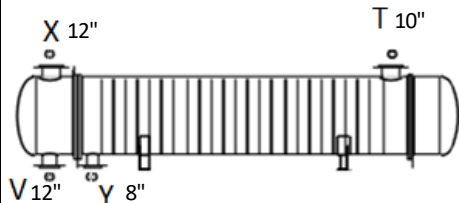
Taula 4.14. Paràmetres dels diferents condensadors

Paràmetres	E-102*	E-201	E-303
Calor intercanviada (kW)	3470	40.0	133.6
Àrea (m ²)	173.0	72.0	34
U (W/m ² ·K)	1480	1400	640
Nombre de tubs	453.0	186.0	72

*Cal destacar que l'intercanviador E-102 és el *cooler* que refreda fins la temperatura de rosada el corrent de sortida i no és un condensador total com els altres.

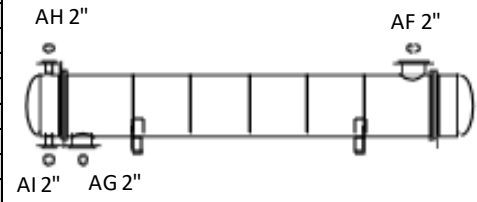

Seguidament es mostren els diferents fulls d'especificació de cada condensador dissenyat.

1	ITEM No.: E-102				
2	Service: Condensar producte de cap de columna C-101				
3	Type: Carcassa-Tubs	Position: Horizontal	Total surface / unit: 172.6	(m ²)	
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Cap columna C-101		Aigua de refrigeració	
9	Fluid total flow	40120		29636	
10	Vapour	kg/h	40120	0	0
11	Liquid	kg/h	0	40120	296360
12	Steam	kg/h	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	296360
14	Temperature	°C	41.9	41.1	27
15	Density (L/V)	kg/m ³	35.5	482.5	997.9
16	Viscosity (L/V)	cP	0.01	0.09	0.86
17	Vapour molecular weight		42.09		
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0.4237	0.7387	1
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0.02	0.08	0.52
20	Latent heat	kcal/kg	309.5/310.6		
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	17.4/17.2		5.1/4.6
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	2.5	6	2.1
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0.27	0.16	0.5
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0.0001		0.0001
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	2980500		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 1114	Clean: 1500		
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure	Barg	20	8	
30	Design temperature	°C	170	50	
31	No. of passes		1	4	
32	Stress relief		No	No	
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance	mm	3.18	3.18	
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Entrada Destil-lat	T	10"	#300 RF
37		Sortida Condensat	Y	8"	#300 RF
38		Entrada Servei	X	12"	#300 RF
39		Sortida Servei	V	12"	#300 RF
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	890	24	A51560	
48	Channel:		6	A51560	
49	Tubesheets:		24 mm	A51560	
50	Baffles: n° / mat.			A51560	
51	Baffles spacing:		890 mm.		
52					
53	Tubes:				
54	N°	453			
55	OD	25.4	mm.		
56	BWG				
57	Length	487.9	mm.		
58	Pitch:	36	mm		
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
1		10/04/2018	Aleix Martí	Josep Maixé	
REV		DATE	PREP.	APPR.	




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

1	ITEM No.: E-202				
2	Service: Condensar producte de cap de columna C-201				
3	Type: Carcassa-Tub	Position: Horizontal	Total surface / unit:	71.7 (m ²)	
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Cap columna C-201		Aigua de refrigeració	
9	Fluid total flow	52300		34380	
10	Vapour	kg/h	52300	49630	0
11	Liquid	kg/h	0	2670	34380
12	Steam	kg/h	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	34380
14	Temperature	°C	49.1	42.5	27
15	Density (L/V)	kg/m ³	/ 34.7	479.5 / 35.9	/ 997.9 / 995.5
16	Viscosity (L/V)	cP	/ 0.01	0.09 / 0.01	0.9 / 0.7 /
17	Vapour molecular weight		42.1	42.1	
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	/ 0.423	0.8/ 0.4	1
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/ 0.02	0.08 / 0.02	0.52
20	Latent heat	kcal/kg	73.5		
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	17.4 / 17.6		5.0 / 4.7
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	1.89	5.55	1.22
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0.31	0.09	0.51
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0.0002		0.0004
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	34400		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 718			Clean: 1405
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure	Barg	23	8	
30	Design temperature	°C	170	50	
31	No. of passes		1	8	
32	Stress relief		No	No	
33	Radiograph.				
34	Corrosion allowance	mm	3.18	3.18	
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Entrada Destil-lat	T	10"	#300 RF
37		Sortida Condensat	Y	10"	#300 RF
38		Entrada Servei	X	2"	#300 RF
39		Sortida Servei	V	2"	#300 RF
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell:	600	20	A51560	
48	Channel:		6	A51560	
49	Tubesheets:		24 mm	A51560	
50	Baffles: n° / mat.			A51560	
51	Baffles spacing:		600 mm.		
52					
53	Tubes:				
54	N°	186			
55	OD	25.4	mm.		
56	BWG	14			
57	Length	5000	mm.		
58	Pitch:	32	mm		
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
1		01/05/2018	Aleix Martí	Josep Maixé	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	

1	ITEM No.: E-303					
2	Service: Condensar producte de cap de columna C-301					
3	Type: BEM	Position: Vertical	Total surface / unit: 34 (m ²)			
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Cap columna C-301		Aigua de refrigeració	
9	Fluid total flow		1571		34378	
10	Vapour	kg/h	1571	0	0	0
11	Liquid	kg/h	0	1571	11476	11476
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	11476	11476
14	Temperature	°C	44.5	43.49	27	37
15	Density (L/V)	kg/m ³	/37.8	477.2/	/ 997.9	/ 995.5
16	Viscosity (L/V)	cP	/0.01	/0.088	/0.8561	/0.692
17	Vapour molecular weight		42.1	42.8	18	18
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	/ 0.428	0.748 /	1	1
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	/ 0.02	0.08 /	0.52	0.53
20	Latent heat	kcal/kg	72.3/72.3			
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	18.3		5.0	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	0.1	0.55	0.25	0.28
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0.28	0.02	0.51	0.05
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0.00047		0.00047	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	11480			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m².°C)	Fouled: 331	549			
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:		Shell side	Tube side		
29	Design pressure	Barg	24	8		
30	Design temperature	°C	80	75		
31	No. of passes		1	2		
32	Stress relief		No	No		
33	Radiograph.					
34	Corrosion allowance	mm	3.18	3.18		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	
36		Entrada Destil·lat	AF	2	#300RF	
37		Sortida Condensat	AG	2	#300RF	
38		Entrada Servei	AH	2	#300RF	
39		Sortida Servei	AI	2	#300RF	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS					
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.		
47	Shell:	337	18.6	A51560		
48	Channel:			A51560		
49	Tubesheets:		24 mm	A51560		
50	Baffles: n ^o / mat.			A51560		
51	Baffles spacing:		670 mm.			
52						
53	Tubes:					
54	N ^o	72				
55	OD	25.4	mm.			
56	BWG	14				
57	Length	6000	mm.			
58	Pitch:	32	mm	<		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
1	10/05/2018	Aleix Martí	Domènec			
REV.	DATE	PREP.	APPR.			
				 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química		

4.2.3.4. Reboilers

En aquest apartat s'explica el càlcul del *reboiler* per al *splitter* convencional i de recompressió del vapor. En el cas del *reboiler* E-102 es tracta d'un *reboiler* termosifó vertical i pel que fa al E-202 és un *reboiler* termosifó horitzontal. El procediment de càlcul es mostren als annexos A.2.4.1. en el cas de E-102 i A.2.4.2. en el cas del E-202.

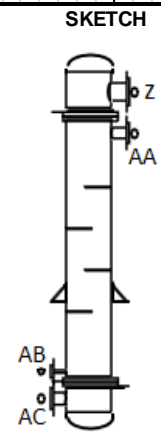
A continuació es mostra la taula 4.15 amb les dades més representatives del disseny del *reboiler* E-102, tant pel mètode Kern (ref.13) com pel simulador *Aspen Exchanger*.

Taula 4.15. Taula de resultats de la comparativa pel mètode Kern i *Aspen heat exchanger design and rating*.

Paràmetres	E-102		E-202	
	Mètode Kern	Aspen Exchanger	Mètode Kern	Aspen Exchanger
Calor intercanviada (kW)	1114	1124	4200	4256
Àrea (m ²)	15.3	21.4	426	383
U (W/m ² ·K)	819.4	602.4	1400	1253
Nombre de tubs	110	103	1200	1096
Longitud tubs (m)	2.5	2.5	6.0	6.0
Diàmetre tubs (mm)	27.4	27.4	19	19
Diàmetre carcassa (mm)	387	387	990.6	1143

Com es pot apreciar a la taula anterior els valors obtinguts entre el mètode Kern i els resultats obtinguts per *Aspen* són semblants pel que per realitzar el full d'especificacions s'han agafat els valors del software.

1	ITEM No.: E-102				
2	Service:				
3	Type: BEM	Position: Vertical	Total surface / unit: 21.4	(m ²)	
4	No. Shell:				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Vapor d'aigua		Sortida fons C-101	
9	Fluid total flow	1725		42501	
10	Vapour	1725	0	0	13705
11	Liquid	0	1725	42501	28675
12	Steam				
13	Water				
14	Temperature	170	100	49.51	50.35
15	Density (L/V)	2.76 /	961	/452	39 / 450
16	Viscosity (L/V)	0.015 /	/ 0.273	/ 0.0806	0.01 / 0.08
17	Vapour molecular weight	18.01		43.56	
18	Specific heat (L/V)	0.58 /	/ 1.0	/ 0.79	0.48 / 0.79
19	Thermal conductivity (L/V)	0.28 /	/ 0.59	/ 0.076	0.02 / 0.08
20	Latent heat	490.5		68.18	
21	Inlet pressure	8.16		18.35	
22	Velocity (allowable / calculated)	11.06 / 30.7		0.96 / 2.61	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	4.6	0.18	0.51	0.05
24	Fouling resistance	0.00015		0.00017	
25	Heat exchanged:	(kcal/h) 966866			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 444		Clean: 518	
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side		
29	Design pressure kg/cm ²	5.6	20.4		
30	Design temperature °C	205	85		
31	No. of passes	1	1		
32	Stress relief				
33	Radiograph.	SI	SI		
34	Corrosion allowance mm	3.18	3.18		
35		Service	Mark	Dia.	Rating
36	Nozzles	Sortida fons de columna	AC	8"	#300 RF
37		Sortida Reboiler	Z	10"	#300 RF
38		Entrada vapor d'aigua	AA	12"	#300 RF
39		Sortida vapor d'aigua	AB	2"	#300 RF
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat	
47	Shell:	387	20	A51560	
48	Channel:			A51560	
49	Tubesheets:	44mm		A51560	
50	Baffles: n° / mat.		4	A51560	
51	Baffles spacing:	387		mm.	
52					
53	Tubes:				
54	N°	103			
55	OD	1.078 inches			
56	BWG				
57	Length	2500 mm.			
58	Pitch:	0.0317 m		↙	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
1		05/04/2018	Josep Maixé	Aleix Martí	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	




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

4.2.3.5. Bomba

S'ha realitzat el disseny de la bomba centrífuga P-201, que s'encarrega d'impulsar el cabal de producte de fons de la columna de recompressió de vapor, majoritàriament propà, i es dirigeix a l'evaporador B-203, per tal d'obtenir el propà en forma de vapor.

El full de càlcul de la bomba es presenta a la taula 4.16, el procediment del qual es mostra a l'annex A.2.5. (ref. 8).

Taula 4.16. Full de càlcul de la bomba.

Dades					Càlcul descàrrega				
Fluid		Propà-propilè			Diàmetre línia mm		33.4		
Temperatura °C		42			Flux	Norm.	Màx.	Unitats	
Densitat kg/m ³		476			u ₂ Velocitat	1.0	3.0	m/s	
Viscositat mNs/m ²		0.05			Δf_2 Pèrdua fricció	0.2	0.2	kPa/m	
Flux normal kg/s		0.44			L ₂ Llargada línia	42	-	m	
Flux disseny màxim kg/s		0.52			$\Delta f_2 L_2$ Pèrdua de línia	6.8	8.1	kPa	
Càlcul de succió					Orifici				
Diàmetre línia mm		33.4			30%	Control vàlvula	70	70	kPa
Flux	Norm.	Màx.	Unitats		<i>Equips</i>				
u ₁ Velocitat	1.0	3	m/s		(a) Intercanviador	-	-	kPa	
Δf_1 Pèrdua fricció	0.2	0.2	kPa/m		(b)	-	-	kPa	
L ₁ Llargada línia	8	-	m		(c)	-	-	kPa	
$\Delta f_1 L_1$ Pèrdua de línia	1	2	kPa		(6) Pèrdua dinàmica	76.8	78.1	kPa	
$\rho u^2/2$ Pèrdua entrada	0.3	0.4	kPa		z ₂ Cap estàtic	0	0	m	
(1) Subtotal	2	2	kPa		$\rho g z_2$	0	0	kPa	
z ₁ Cap estàtic	0.5	0.5	m		Pressió equip (màx.)	1230	1230	kPa	
$\rho g z_1$	2.4	2.4	kPa		Contingència	No	No	kPa	
Pressió equip	1230	1230	kPa		(7) Subtotal	1230	1230	kPa	
(2) Subtotal	1232.4	1232.4	kPa		(7) + (6)	Pressió descàrrega	1306.8	1308.1	kPa
(2)-(1)	(3) Pressió succió	1230.9	1230.5	kPa	(3) Pressió succió	1230.9	1230.5	kPa	
	(4) Pressió vapor	1230	1230	kPa	(8) Diferència de pressions	75.9	77.6	kPa	
(3)-(4)	(5) NPSH	0.9	0.5	kPa	(8)/ ρg	16	16	m	
(5)/ ρg		0.2	0.1	m	Vàlvula/(6)	Control v. % Pèrdua dinàmica	91%		

S'ha de tenir en compte que s'ha utilitzat un tipus de bomba Sundyne, i degut a això, l'NPSH és tant petit, concretament de 0.2 m.

Finalment s'escull la bomba comercial en funció de la corba Q/H i el rodet corresponent, mitjançant un catàleg SIHI (ref. 14). Es representen les corbes als annexos. Les especificacions de la bomba són:

Taula 4.17. Selecció de la bomba.

Dada	Valor
NPSH (m)	0.20
Potència (kW)	0.25
Q (m ³ /h)	3.30

H (m)	16.0
Rodet (mm)	120.
Eficiència (%)	32.0

Aquesta bomba és la SIHI^{ISOchem} 025125, amb una velocitat nominal de 2900 min^{-1} (ref. 14). La potència de la bomba és tant baixa degut al baix cabal que hi recorre per la canonada. El full d'especificació és el següent.

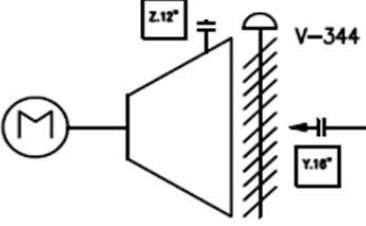
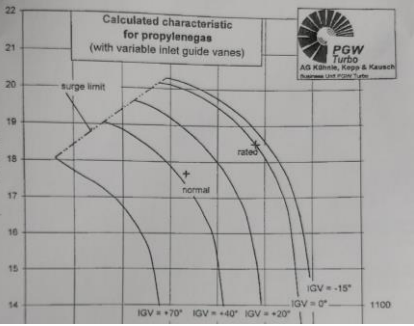
1	Nº OF PUMPS	RUN:	SPARE:		
2	SERVICE				
3	ITEM	P201			
4					
5	FLUID PUMPED	Propilè			
6	OPER. TEMP	42	°C		
7	DENSITY	476	kg/m ³		
8	VISCOSITY	0.05	cP		
9	VAPOR PRESS.	12.3	bar		
10	NORM. CAPACITY	3.3	m ³ /h		
11	MAX. CAPACITY	4.0	m ³ /h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT. PR.,	#####	kg/cm ² g		
15	NPSH (m.w.c.)	0.2	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	LIQUID HEAD	12.54	kg/cm ² g		
19	TOTAL DISCH. PR.,	13.33	kg/cm ² g		
20	DIFF. PRESSURE	0.77	kg/cm ²		
21	DIFF. HEAD (m.l.c.)	16	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	Centrifuga			
24	ESTIMATED EFF.	32	%		
25	ESTIMATED Rot. freq	2900	min-1		
26	ESTIMATED Power	0.25	kW		
27	TYPE DRIVER	Motor			
28	STEAM (abs.)		°C		
29	ELECTRICITY	V: 400	PH: 50	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE				
34	IMPELLER				
35	SHAFT				
36	SHAFT SLEEVE				
37	SEAL/PACKING				
38	PISTON				
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction	X	1	2	300# RF
42	Discharge	Y	1	2	300# RF
43					
44					
45	1	22/5/2018	Domènec	Josep Maixé	
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					


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

4.2.3.6. Compressors

Un dels equips també molt importants en els processos de recompressió i integració interna de la calor és el compressor. La funció d'aquest és comprimir el producte de cap de la columna per tal d'augmentar la seva temperatura i fer després que la transferència de calor en els *reboilers* sigui molt més gran. El seu disseny s'ha dut a terme mitjançant el programa *Aspen Hysys*.

Tot seguit es mostren els fulls d'especificació d'aquests dos compressors.

1	GENERAL	Item:	K-301						
2		Service:	Comprimir producte de cap columna C-301						
3		Manufacturer:							
4		Quantity:	1						
5		Type:	Centrifug					Model:	
6	SERVICE	Vapor or Gas Handled						Drawing 	
7		Component 1	Propilè	99.5	%				
8		Component 2	Propà	0.5	%				
9		Component 3			%				
10		Component 4			%				
11		Molecular wt.		42.1	kg/kmol				
12		Density		26.2	kg/m ³				
13		Viscosity		0.009	cP				
14		Critical Press. (eff.)			kg/cm ² g				
15		Critical Temp.			°C				
16		Cp/Cv		1.32					
17		Compressibility							
18		Suction Conditions							
19		Weight Flow		82170	kg/h				
20		Volume Flow		157.7	Nm ³ /h				
21		Pressure		12.8	kg/cm ² g				
22		Temperature		29.8	°C				
23									
24		Discharge Conditions							
25		Pressure		19.9	kg/cm ² g				
26		Dif. Pressure		7.1	kg/cm ²				
27		Estim. Mechanical Efficiency		75	%				
28		Power (including Gear Loss)		645	kW				
29		Rot. freq.		30	s ⁻¹				
30		Surge at capacity			%				
31		Number of Stages		1					
32		Code							
33		Case Design Pressure		24	kg/cm ² g				
34	Impeller Type								
35	Diameter		500	mm					
36	Seal Type								
37	Lubrication System:								
38	Cooling Water Required on:								
39	Hydrostatic Test Pressure (eff.)		34.3	kg/cm ² g					
40		Thick. / Dia.		Mat 1 Class					
41	Casing & Covers:		mm						
42	Shaft:		mm						
43	Shaft Sleeves:		mm						
44	Impeller Hubs & Covers:		mm						
45	Impeller Vanes		mm						
46	Intercooler:								
47	Aftercooler								
48	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating	NOTES:		
49		Suction	Y	1	16"	300#RF			
50		Discharge	Z	1	12"	300#RF			
51									
52									
53	UTILITIES	Steam (Driver)					Performance Curve 		
54		Pressure			kg/cm ² g				
55		Temperature			°C				
56		Electricity (Motor Driver)							
57		Mechanical Data:							
58		Estimated Power Req'd:			kW				
59		Proposed Motor Size			kW				
60		Rot. freq.			s-1				
61		Electrical Data:							
62		Voltage			400 V				
63		Phase			3				
64		Frequency			50 Hz				
65		Full load Current			A				
66		Cooling Water							
67		Temp. Inlet			27 °C				
68	Temp. Outlet			37 °C					
69	Pressure, Normal			kg/cm ² g					
70	Design			kg/cm ² g					
71	MISCEL.								
72									
73									
74									
75									
76									
1	REV.	DATE	PREP.	APPR.					
			Aleix Martí	Domènec Estorach					


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

4.2.3.7. Vàlvula de seguretat

Les vàlvules de seguretat són vàlvules automàtiques que tenen la funció de mantenir la pressió d'una instal·lació per sota d'un límit preestablert.

Pel que fa al procés de recompressió de vapor, hi ha instal·lades quatre vàlvules de seguretat, amb simbologia PSV, per tal que en cas d'augmentar la pressió per sobre de l'establerta, aquestes s'obririen fins que es tornés a les condicions adequades d'operació. S'utilitzen per gasos i vapors.

S'ha dissenyat una d'elles, la que està situada a l'acumulador de reflux, ítem B201, a la columna amb recompressió de vapor, i s'anomena PSV-221, la funció de la qual recau amb la regulació automàtica de la pressió del dipòsit per al cas que es produís foc extern a l'equip. La intervenció és produïda per la pressió estàtica existent a l'entrada de la vàlvula i actua realitzant una descàrrega sobtada amb l'apertura total i ràpida d'aquesta vàlvula.

El paràmetre principal de la vàlvula de seguretat és l'àrea d'orifici, així com el cabal de descàrrega de líquid. Així doncs, es realitza el càlcul (ref. 13) segons dos consideracions pel que fa a la contrapressió, que és la pressió existent al costat de descàrrega de la vàlvula.

- Contrapressió variable: la pressió de tret es veu afectada per la mateixa variació. Si aquesta variació no és admissible (supera el 10% de la pressió de tarat), es recorre a la manxa d'equilibri (*bellows*), que elimina l'efecte de la contrapressió.

A partir de l'equació 4.6 es troba l'àrea d'orifici per la qual surt el cabal de descàrrega.

$$A = \frac{W\sqrt{TZ}}{CK_dPK_b\sqrt{M}} \quad (4.6)$$

On A és l'àrea d'orifici de descàrrega neta efectiva, in²; W el cabal de descàrrega de vapor de la vàlvula, lb/h; T la temperatura d'entrada, corresponent a la de l'acumulador de reflux, °F absoluts; Z el factor de compressibilitat, que és 1 ja que no pot ser conegut; C el coeficient d'expansió que depèn de la relació de capacitats calorífiques a pressió i volum constant (k); K_d el coeficient de descàrrega, que per a vapors i gasos és 0.953; P la pressió de descàrrega, psig; K_b el coeficient corrector per contrapressió a vàlvules equilibrades; i M el pes molecular mitjà.

El coeficient C és 380, que correspon a una relació de capacitats calorífiques 1.15. El coeficient K_b és 0.91, i s'ha obtingut per mitjà d'una gràfica (ref. 15) que el relaciona amb el percentatge de contrapressió absoluta, que és del 74%.

Per la seva banda, el cabal de descàrrega es calcula amb la següent relació:

$$W = Q/\lambda \quad (4.7)$$

On Q és la calor d'absorció total d'un foc extern, BTU/h; i λ la calor latent a la pressió de tarat de la PSV, amb lb/h, trobada amb *Aspen*.

La calor d'absorció és:

$$Q = 43200 \cdot F \cdot Aw^{0.82} \quad (4.8)$$

On F és un factor ambiental per un lloc on hi hagin drenatges i dotació de bombes segons indica l'API521, i és 1 en aquest cas, i Aw és la superfície mullada de l'acumulador, calculada mitjançant la següent equació:

$$Aw = \pi \cdot (D - 0.2D) \cdot L + 2 \frac{\pi(D-0.2D)^2}{4} \quad (4.9)$$

On D és el diàmetre de l'acumulador, L la longitud, i $0.2D$ la part de dalt del tanc en que no hi ha líquid.

D'altra banda, la calor latent és la corresponent a la pressió de tarat (psia) de la PSV, que és:

$$P_{tarat} = (P_d \cdot 1.1 + 1.013) \cdot 14,5 \quad (4.10)$$

La pressió de tarat és de 333.7 psia, i la calor latent és 113.9 BTU/lb.

Finalment, s'obté el cabal de descàrrega, que és $W=44536$ lb/h, i l'àrea d'orifici per una contrapressió variable, $A_{orifici}=3.17$ in².

- Contrapressió constant: quan al costat de descàrrega de la vàlvula existeix una contrapressió constant, P_2 , apareix una força suplementària deguda a l'acció de P_2 sobre la zona superior del disc-obturador. Per tant, al realitzar el tarat de la vàlvula, s'ha de restar a la força del ressort la força exercida per l'efecte de la contrapressió.

L'àrea d'orifici es calcula de la mateixa manera, però amb una petita modificació en el coeficient corrector, que s'empra K_v enlloc de K_b .

$$A = \frac{W\sqrt{TZ}}{CK_dPK_v\sqrt{M}} \quad (4.11)$$

La contrapressió és constant en aquest cas, i és el 60% de la pressió de disseny. Mitjançant una gràfica, s'obté una K_v de 0.90. L'àrea d'orifici en aquest cas és de $A_{orifici}=3.20$ in².

4.2.3.8. Vàlvula de control

La vàlvula de control que s'ha dissenyat, mitjançant l'*Aspen*, és la V-179. S'encarrega de portar el control de la pressió de l'evaporador B-102. Tot seguit es mostra el full d'especificació de la vàlvula de control V-179.

GENERAL DATA									
1									
2	TAG	V-179			INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW				
3	SERVICE	Disminuir la Pressió		DN & RATING		500	300#RF		
4	LINE/EQUIPMENT	101		MTL & SCHEDULE		SA 106	40		
5	DIAGRAM	PI&D 2		INSULATION AND THICKNESS		-	3.18		
6	AREA CLASSIFICATION	Vàlvula de control		EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6			
7	PROCESS DATA								
8	FLOW	PHASE	LLVGO P.A	Liquid	Data	U.I	Mín.	Normal	Max.
9	Cp/Cv	Z	9	$2.55 \cdot 10^{-4}$	Inlet Flow cu m/s		1	2	3
10	D or SG	Viscosity Pa-s	0.03424	$6.69 \cdot 10^{-3}$	Inlet Pressure bar		34.1	34.1	34.1
11	P crit. bar	T crit. K	37	645	Pressure Drop bar		21	21	21
12	TIGHTNESS				T operation K		347	347	347
13	FIRE SECURITY DIST.				Vapor Pres. bar		$1.15 \cdot 10^{-5}$	$1.15 \cdot 10^{-5}$	$1.15 \cdot 10^{-5}$
14	OTHERS				Cv calculated		23.94	23.94	23.94
15					Cv required				
16					Opening			30%	
17	BODY, INTERNAL AND ACTUATOR								
18	BODY, BIRETTA AND PACKING			INTERNAL					
19	Body Type	Sphere	Types (1)		STD	Escape Types		-	
20	Vapor Mantle	-	Row		-	Noise (dB)		-	
21	DN & Rating	500 & 300 #RF		Guidance	-	MTL Guidance		A51560	
22	Line Conection	Flange	Holder		-	MTL Holder		A51560	
23	MTL Body & Casing	A515-65	Nominal Cv		-	MTL Actuator		A51560	
24	MTL Body Line	A515-65	Character		-	MTL Nozzle		A51560	
25	MTL Outlet Line	A515-65		PNEUMATIC ACTUATOR					
26	Flow tends to	-	Service		-	Feed/Rang		-	
27	Biretta Type	A515-65	Type		Diaphragm	Wheel		-	
28	Packing			Air	-	Travel Limit mm			
29	Shutting Bellow	-	Max. ΔP (2) bar		-	XLOCK System		-	
30	ACCESSORIES AND PURCHASE DATA								
31	POSITIONATOR AND FILTER			SOLENOID VALVE (3)			TRAVEL ENDS (3)		
32	Positioner Type	Digital		Valve Type		Equal Percentage	Sensors Type		
33	SMART Capacity			Feed		Service			
34	PST/Regulation			Reset Type		Assembly & Connec.			
35	Electrical Connection			Electrical Connec.		EEx Protection			
36	Pneumatic Connection			Pneumatic Connec.		NOTES AND ACCESSORIES			
37	EEx Protection			EEx Protection					
38	Filter	-		SIL (s/IEC 61508)					
39	PRODUCT DATA (3)				PURCHASE DATA				
40	Valve	PF51.1:ES	Actuator	Serie 657		Requisition			
41	Positionator	Digital			Manufacturer		Fisher-Rosemount		
42	Solenoid	Equal Percentatge			Supplier				
43	Travel End								
44	GENERAL NOTES								
45									
46									
47									
48									
49									
JOB NO.			CHARGE NO.						
M/S NO.			P.O.NO.						
NO.UNITS									
DR.BY			DATE:						
CK.BY			DATE:						
REV	BY	OK	DATE						
1	Domènec Estorach		01/05/2018						
					100-FCV-25				
					SHEET No. 2				

4.2.3.9. Evaporadors


Els evaporadors, com bé diu la paraula, tenen la funció de vaporitzar el propà que arriba del fons de la columna. Per les tres alternatives té el mateix funcionament, així com també el mateix control, amb el servei de vapor inclòs per escalfar i evaporar el propà.

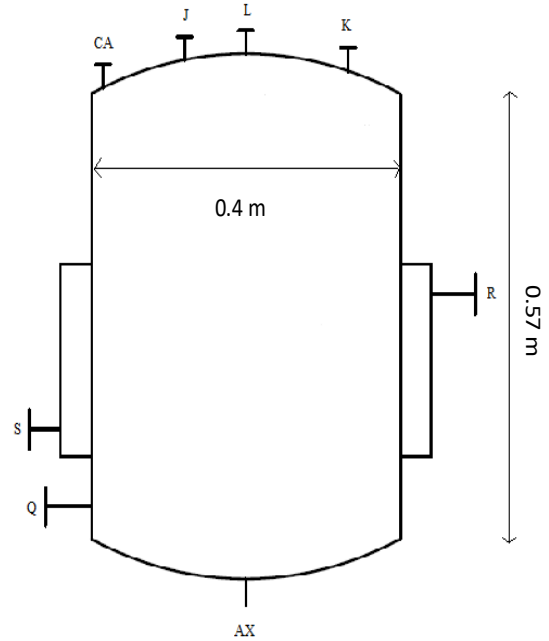
Els resultats principals així com les dades més significatives es mostren a la taula 4.18.

Taula 4.18. Dimensionament dels evaporadors.

Abreviatura	Paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
Q	Transferència de calor (kW)	14.5	11.6	16.9
ΔT_{lm}	Increment T^a log.	81.4	103	88.1
$\dot{A}_{int.}$	Àrea d'intercanvi (m^2)	0.71	0.45	0.77
r	Radi (m)	0.20	0.15	0.20
h	Altura (m)	0.57	0.47	0.61
t_{cil}	Gruix cilindre (mm)	8.00	8.00	8.00
t_{fons}	Gruix fons (mm)	8.00	8.00	8.00
V	Volum (m^3)	0.07	0.03	0.08
P_{buit}	Pes evaporador buit (kg)	49.3	31.0	52.8
P_{total}	Pes total (kg)	76.4	43.7	82.0

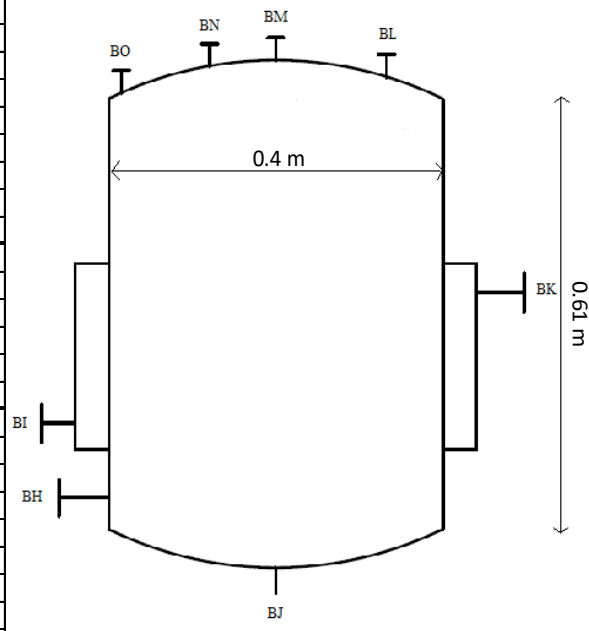
S'adjunten els fulls d'especificació dels evaporadors a continuació. Els càlculs més detallats estan a l'annex A.2.6.

1	GENERAL	Manufacturer:				
2	GENERAL	Item: B-102				
3	GENERAL	Description: evaporador B102			Position:	Horiz. <input type="checkbox"/> Vertical <input checked="" type="checkbox"/>
4	OPERATING	Product: Propà				
5	OPERATING	Operating Pressure (eff.)			18	bar g
6	OPERATING	Operating Temperature			50	°C
7	OPERATING	Liquid Density			476	kg/m ³
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)			20	bar g
9	DESIGN DATA	Design Temperature			65	°C
10	DESIGN DATA	Hidrostatic Test (eff.)			25.7	
11	DESIGN DATA	Corr. Allow.	Shell / Heads	3.18	mm	
12	DESIGN DATA	Joint Eff.	Shell / Heads	0.8		
13	DESIGN DATA	Code: ASME Section VIII Div. 1				
14	DESIGN DATA	Exchange area: 0.71 m ²				
14	DESIGN DATA	Radiograph:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
15	DESIGN DATA	Stress Relieve:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
16	DESIGN DATA	Seismic:	Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>
17	DESIGN DATA	Wind Load:			N/m ²	
18	DESIGN DATA	Hidrostatic Test (eff.)			25.7	bar g
19	MATERIALS	Thickness		Mat'l Class		
20	MATERIALS	Shell	8 mm	A515-60		
21	MATERIALS	Heads	8 mm	A515-60		
22	MATERIALS	Lining	mm			
23	MATERIALS	Nozzle Necks				
24	MATERIALS	Flanges				
25	CONSTRUCTION	Dia.		L / H	Material	
26	CONSTRUCTION	Shell	400 mm		A515-60	
27	CONSTRUCTION	Heads	400 mm		A515-60	
28	CONSTRUCTION	Insulation:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
29	CONSTRUCTION	Fireproofing:	Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>
30	CONSTRUCTION	Sandblast:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
31	CONSTRUCTION	Paint:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
32	CONSTRUCTION	Wt. Empty:			49.3	kg
33	CONSTRUCTION	Wt. Full Water:			76.4	kg
34	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating
35	NOZZLES	Entrada propà	Q	1	2"	300# RF
36	NOZZLES	Vàlvula de seguretat PSV-273	CA	1	2"	300# RF
37	NOZZLES	Transmissor de pressió	J	1	2"	300# RF
38	NOZZLES	Sortida de propà evaporat	L	1	2"	300# RF
39	NOZZLES	Transmissor de temperatura	K	1	2"	300# RF
40	NOZZLES	Entrada de servei de vapor	R	1	2"	300# RF
41	NOZZLES	Recirculació de gotes de propà	AX	1	2"	300# RF
42	NOZZLES	Sortida de vapor condensat	S	1	2"	300# RF
43	NOZZLES					
44	NOZZLES					
45	NOZZLES					
46	NOZZLES					
47	NOZZLES					
48	NOZZLES					
49	NOZZLES					
NOTES:						
 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
1	1/6/2018	Domènec Estorach Ruedas		Josep Maixé Lozano		
REV.	DATE	PREP.		APPR.		




1	GENERAL					Manufacturer:						
2	Item: B-203											
3	Description: evaporador B102					Position:		Horiz.		x Vertical		
4	OPERATING					Product: Propà						
5	Operating Pressure (eff.)					12.3		bar g				
6	Operating Temperature					37		°C				
7	Liquid Density					476		kg/m ³				
8	DESIGN DATA					Design Pressure (eff.)					23 bar g	
9	Design Temperature					52		°C				
10	Hydrostatic Test (eff.)					32.9						
11	Corr. Allow. Shell / Heads					3.18		mm				
12	Joint Eff. Shell / Heads					0.8						
13	Code: ASME Section VIII Div. 1					Exchange area: 0.44 m ²						
14	Radiograph:					Yes		x		No		
15	Stress Relieve:					Yes		x		No		
16	Seismic:					Yes				No x		
17	Wind Load:							N/m ²				
18	Hydrostatic Test (eff.)					32.9		bar g				
19	MATERIALS					Thickness		Mat 1 Class				
20	Shell					8 mm		A515-60				
21	Heads					8 mm		A515-60				
22	Lining					mm						
23	Nozzle Necks											
24	Flanges											
25	CONSTRUCTION					Dia.		L / H		Material		
26	Shell					300 mm				A515-60		
27	Heads					300 mm				A515-60		
28	Insulation:					Yes		x		No		
29	Fireproofing:					Yes				No x		
30	Sandblast:					Yes		x		No		
31	Paint:					Yes		x		No		
32	Wt. Empty:							31		kg		
33	Wt. Full Water:							43.7		kg		
34	NOZZLES					Service		Mark N°		Size Rating		
35	Entrada propà					Q		1 2"		300# RF		
36	Vàlvula de seguretat PSV-273					CA		1 2"		300# RF		
37	Transmissor de pressió					J		1 2"		300# RF		
38	Sortida de propà evaporat					L		1 2"		300# RF		
39	Transmissor de temperatura					K		1 2"		300# RF		
40	Entrada de servei de vapor					R		1 2"		300# RF		
41	Recirculació de gotes de propà					AX		1 2"		300# RF		
42	Sortida de vapor condensat					S		1 2"		300# RF		
43	HEADLINE											
44												
45												
46												
47												
48												
49												
					NOTES:							
					UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química							
1	1/6/2018	Domènec Estorach Ruedas	Josep Maixé Lozano									
REV.	DATE	PREP.	APPR.									

1	GENERAL	Manufacturer:					
2	GENERAL	Item: B-303					
3	GENERAL	Description: evaporador B303		Position:	Horiz. <input type="checkbox"/> Vertical <input checked="" type="checkbox"/>		
4	OPERATING	Product: Propà					
5		Operating Pressure (eff.)		13.5	bar g		
6		Operating Temperature		37	°C		
7		Liquid Density		476	kg/m ³		
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)		24	bar g		
9		Design Temperature		52	°C		
10		Hidrostatic Test (eff.)		34.3			
11		Corr. Allow.	Shell / Heads	3.18	mm		
12		Joint Eff.	Shell / Heads	0.8			
13		Code: ASME Section VIII Div. 1					
14		Exchange area: 0.77 m ²					
15		Radiograph:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
16		Stress Relieve:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
17		Seismic:	Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Wind Load:			N/m ²			
19	MATERIALS	Hidrostatic Test (eff.)		34.3	bar g		
20			Thickness	Mat 1 Class			
21		Shell	8 mm	A515-60			
22		Heads	8 mm	A515-60			
23		Lining	mm				
24	Nozzle Necks						
25	CONSTRUCTION		Dia.	L / H	Material		
26		Shell	400 mm		A515-60		
27		Heads	400 mm		A515-60		
28		Insulation:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
29		Fireproofing:	Yes	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	
30		Sandblast:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
31		Paint:	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	
32		Wt. Empty:			52.8	kg	
33	Wt. Full Water:			82.0	kg		
34	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating	
35		Entrada propà	BH	1	1"	300#	RF
36		Vàlvula de seguretat PSV-273	BO	1	2"	300#	RF
37		Transmissor de pressió	BN	1	2"	300#	RF
38		Sortida de propà evaporat	BM	1	1"	300#	RF
39		Transmissor de temperatura	BL	1	2"	300#	RF
40		Entrada de servei de vapor	BK	1	2"	300#	RF
41		Recirculació de gotes de propà	BJ	1	2"	300#	RF
42	Sortida de vapor condensat	BI	1	2"	300#	RF	
43	HEADS						
44							
45							
46							
47							
48							
49							



NOTES:



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

1	1/6/2018	Domènec Estorach Ruedas	Josep Maixé Lozano
REV.	DATE	PREP.	APPR.

4.2.3.10. Separadors de gotes

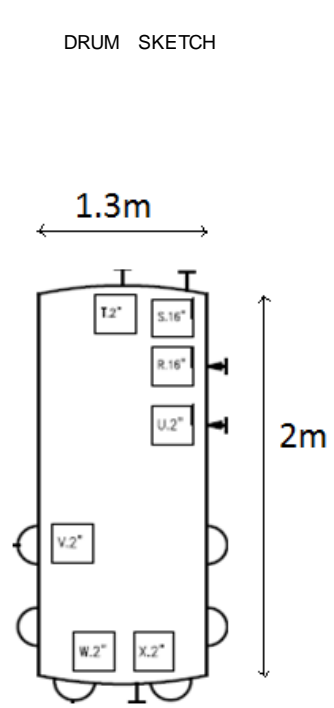
Tant en la destil·lació per recompressió del vapor (RCV) com en la versió de columna amb integració interna de calor (HIDiC) és necessari l'ús de compressor. Per tal d'enviar un corrent a comprimir, és indispensable un separador de gotes previ per tal d'assegurar que al compressor només arribi producte en fase gas i que les possibles gotes de líquid quedin retingudes al *demister*. Segons els resultats obtinguts a l'*Aspen*, es dissenyen els separadors B-202 i B-301. A continuació, a la taula 4.19. es mostren els resultats obtinguts del separadors de gotes B-202 i B-301. Per a veure el procediment realitzat, consultar annex A.2.7 (ref. 8).

Taula 4.19. Resultats obtinguts dels separadors de gotes.

Descripció	B-202	B-301
Cabal entrada (kg/h)	52300	82200
Diàmetre (m)	0.80	1.30
Altura (m)	1.50	2.00
Profunditat liq. en 10min (m)	0.05	0.07

1	GENERAL				Manufacturer:									
2	Item: B-202													
3	Description: Separador de gotes B-202				Position:		Horiz.		X Vertical					
4	Product: Propilè				<p style="text-align: center;">DRUM SKETCH</p>									
5	Operating Pressure (eff.)										24		bar g	
6	Operating Temperature										25		°C	
7	Liquid Density												kg/m ³	
8	Design Pressure (eff.)										24		bar g	
9	Design Temperature										40		°C	
10	Hydrostatic Test (eff.)										34.3		bar g	
11	Corr. Allow.		Shell / Heads		3.18		mm							
12	Joint Eff.		Shell / Heads		0.8									
13	Code:													
14	Radiograph:				Yes		X							
15	Stress Relieve:				Yes		X		No					
16	Seismic:						No		X					
17	Wind Load:						N/m ²							
18	Hydrostatic Test (eff.)				34.3		bar g							
19			Thickness		Mat'l Class									
20	Shell		8 mm		A515-60									
21	Heads		8 mm		A515-60									
22	Lining		mm											
23	Nozzle Necks													
24	Flanges													
25			Dia.		L / H		Material							
26	Shell		800 mm				A515-60							
27	Heads		800 mm				A515-60							
28	Insulation:				Yes		X		No					
29	Fireproofing:				Yes				No					
30	Sandblast:				Yes		X		No					
31	Paint:				Yes		X		No					
32	Wt. Empty:						130		kg					
33	Wt. Full Water:						205		kg					
34	Service		Mark		Nº		Size		Rating					
35	Tubuladura		BH		1		1 "		300# RF					
36	Corrent entrada a E-201		BG		1		10 "		300# RF					
37	Entrada corrent de C-201		BF		1		12 "		300# RF					
38	Control del nivell		BI		1		2 "		300# RF					
39	Entrada vapor d'aigua		BJ		1		1 "		300# RF					
40	Sortida purga		BL		1		1 "		300# RF					
41	Control del nivell		BK		1		1 "		300# RF					
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
NOTES:														
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química														
1	02/05/2018	Josep Maixé Lozano	Domènec Estorach Ruedas											
REV.	DATE	PREP.	APPR.											

1	GENERAL					Manufacturer:					
2	GENERAL					Item: B-301					
3	Description: Separador de gotes B-301					Position:		Horiz.		X Vertical	
4	OPERATING					Product:					
5	OPERATING					Operating Pressure (eff.)		12.5		bar g	
6	OPERATING					Operating Temperature		30		°C	
7	OPERATING					Liquid Density				kg/m ³	
8	DESIGN DATA					Design Pressure (eff.)		24		bar g	
9	DESIGN DATA					Design Temperature		45		°C	
10	DESIGN DATA					Hidrostatic Test (eff.)		34.3		bar g	
11	DESIGN DATA					Corr. Allow. Shell / Heads		3.18		mm	
12	DESIGN DATA					Joint Eff. Shell / Heads		0.8			
13	DESIGN DATA					Code:					
14	DESIGN DATA					Radiograph:		Yes X		No	
15	DESIGN DATA					Stress Relieve:		Yes X		No	
16	DESIGN DATA					Seismic:		Yes		No X	
17	DESIGN DATA					Wind Load:				N/m ²	
18	DESIGN DATA					Hidrostatic Test (eff.)		34.3		bar g	
19	MATERIALS					Thickness		Mat 1 Class			
20	MATERIALS					Shell		8 mm		A515-60	
21	MATERIALS					Heads		8 mm		A515-60	
22	MATERIALS					Lining		mm			
23	MATERIALS					Nozzle Necks					
24	MATERIALS					Flanges					
25	CONSTRUCTION					Dia.		L / H		Material	
26	CONSTRUCTION					Shell		1300 mm		A515-60	
27	CONSTRUCTION					Heads		1300 mm		A515-60	
28	CONSTRUCTION					Insulation:		Yes X		No	
29	CONSTRUCTION					Fireproofing:		Yes		No X	
30	CONSTRUCTION					Sandblast:		Yes X		No	
31	CONSTRUCTION					Paint:		Yes X		No	
32	CONSTRUCTION					Wt. Empty:				173 kg	
33	CONSTRUCTION					Wt. Full Water:				277 kg	
34	NOZZLES					Service		Mark N°		Size Rating	
35	NOZZLES					Tubuladura		T 1		2 " 300# RF	
36	NOZZLES					Sortida B-301		S 1		16 " 300# RF	
37	NOZZLES					Entrada caps de C-301		R 1		16 " 300# RF	
38	NOZZLES					Controlador de nivell B-301		U 1		2 " 300# RF	
39	NOZZLES					Controlador de nivell B-301		X 1		2 " 300# RF	
40	NOZZLES					Entrada vapor d'aigua		V 1		2 " 300# RF	
41	NOZZLES					Sortida vapor d'aigua		W 1		2 " 300# RF	
42	NOZZLES										
43	NOZZLES										
44	NOZZLES										
45	NOZZLES										
46	NOZZLES										
47	NOZZLES										
48	NOZZLES										
49	NOZZLES										
NOTES:											
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química											
1	02/05/2018	Josep Màixé Lozano	Domènec Estorach Ruedas								
REV.	DATE	PREP.	APPR.								



5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

La seguretat del procés es detalla en els següents apartats.

5.1. Seguretat de processos

En primer lloc, en tota indústria química cal assegurar la seguretat dels treballadors, com de les persones que estan situades a les proximitats de les instal·lacions. Per la qual cosa, cal estudiar a quins accidents podem estar exposats i establir mesures per protegir-nos d'aquests efectes.

Per una banda, s'han de classificar les substàncies que intervenen al procés segons si són inflamables, explosives, tòxiques, etc. En el nostre cas, les úniques substàncies perilloses que hi ha són el propà i el propilè. Tant un com l'altre són gasos extremadament inflamables i explosius, per tant caldrà tenir molt en compte aquest aspectes. En l'apartat A.6. es mostren les fitxes tècniques d'aquest dos compostos.

A continuació es mostren els diferents apartats que s'han dut a terme en l'àmbit de la seguretat del projecte.

5.1.1. Incident BLEVE a l'acumulador de reflux B-201

Les explosions de tipo BLEVE són un dels pitjors accidents que es poden produir en la indústria química. Aquest tipus d'explosió provoca una bola de foc, que involucra efectes tèrmics i mecànics.

Algun dels efectes de la BLEVE poden ser radiació tèrmica, ona de sobrepressió, fragments disparats per la explosió i pluja de combustible als voltants.

En aquest apartat, es calcula els danys que provocaria una BLEVE a l'acumulador de reflux de la columna de recompressió del vapor, ítem B-201. Per poder realitzar aquesta estimació, s'agafarà una distància respecte l'accident de 110 metres, ja que és la distància entre l'altra part a la carretera CN-340. També s'ha agafat que el producte del interior és tot propilè per facilitar l'obtenció de les dades, tot i que la composició és del 99.6%.

Per tal de dur a terme els càlculs s'han cercat les següents dades bibliogràfiques (ref.16).

Taula 5.1. Dades de l'estudi de la BLEVE.

Variables	Unitats	Valors
Volum del tanc	m ³	8.97
% d'ompliment	%	80.0
Temperatura ebullició ambient	K	225
Temperatura crítica	K	365
Temperatura incendi	K	328
Pressió incendi	barg	23.0
Humitat Relativa	%	50.0
Distància	m	110
Pressió vapor d'aigua	Pa	1160
Y (Relació capacitats calorífiques)		1.14
Angle entre bola de foc i afectats	°	0.69
Calor de combustió	kJ/kg	45800
Entalpia vaporització	J/kg	438000
Densitat líquid (293K)	kg/m ³	515

Densitat vapor (328K)	kg/m ³	52.7
Capacitat calorífica líquid	Jkg/k	2680

Un cop obtingudes totes les dades necessàries es procedeix a calcular la ona de sobrepressió a aquesta distància.

La massa de propilè que hi haurà en el moment de l'explosió serà:

$$M = \text{Volum tanc} \cdot \% \text{ d'ompliment} \cdot \text{Densitat líquid (293K)} = 3697 \text{ kg} \quad (5.1)$$

Mitjançant l'equació 5.2 calculem el diàmetre de la bola de foc:

$$D = 6.14 \cdot M^{0.325} = 88.7 \text{ m} \quad (5.2)$$

I el temps de durada, 5.3:

$$t = 0.41 \cdot M^{0.34} = 6.7 \text{ s} \quad (5.3)$$

L'altura de la bola de foc, 5.4:

$$H = 0.75 \cdot D = 66.5 \text{ m} \quad (5.4)$$

La distància entre el centre de la bola de foc, les persones i edificis a aquesta distància, 5.5:

$$x' = \sqrt{H^2 + d^2} = 84.2 \text{ m} \quad (5.5)$$

La transmissivitat atmosfèrica, 5.6:

$$\tau = 2.02 \cdot (P_w \cdot x')^{-0.09} = 0.72 \quad (5.6)$$

El factor de vista, 5.7:

$$F = \frac{D^2}{4 \cdot r^2} = 0.12 \quad (5.7)$$

El poder emissiu de l'accident, 5.8:

$$E_p = \frac{\mu \cdot M \cdot H_c}{\pi \cdot D^2 \cdot t} = 256 \text{ kW/m}^2 \quad (5.8)$$

La intensitat de radiació sobre una superfície perpendicular a la radiació, 5.9:

$$I = \tau \cdot F \cdot E_p = 21.9 \text{ kW/m}^2 \quad (5.9)$$

La intensitat sobre una superfície vertical, 5.10:

$$I_v = I \cdot \cos \alpha = 19.4 \text{ kW/m}^2 \quad (5.10)$$

Sobre una horitzontal, 5.11:

$$I_h = I \cdot \text{sen} \alpha = 10.2 \text{ kW/m}^2 \quad (5.11)$$

Seguidament, calculats tots aquest aspectes es continua per saber la ona de sobrepressió.

Caldrà calcular un factor f , 5.12:

$$f = 1 - e^{\left(-2.63 \cdot \frac{C_p}{H_v} (T_c - T_b) \cdot \left(1 - \left(\frac{T_c - T_b}{T_c - T_b} \right)^{0.38} \right) \right)} = 0.59 \quad (5.12)$$

El volum, 5.13:

$$V^* = V + V_l \cdot f \cdot \frac{\rho_l}{\rho_v} = 86.2 \text{ m}^3 \quad (5.13)$$

La massa de TNT equivalent, 5.14:

$$W_{TNT} = \frac{0.021 \cdot P \cdot V^*}{\gamma - 1} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_a}{P}\right)^\gamma\right) = 95 \text{ kg} \quad (5.14)$$

Suposem que el 40% de la energia alliberada es transforma en sobrepressió, 5.15:

$$W_{TNT \text{ sobrepressió}} = 0.4 \cdot W_{TNT} = 38 \text{ kg} \quad (5.15)$$

La distància normalitzada serà, 5.16:

$$d_n = \frac{d}{(W_{TNT \text{ sobrepressió}})^{\frac{1}{3}}} = 8.7 \text{ m/kg}^{\frac{1}{3}} \quad (5.16)$$

Mitjançant el gràfic 5.1, obtenim l'ona de sobrepressió:

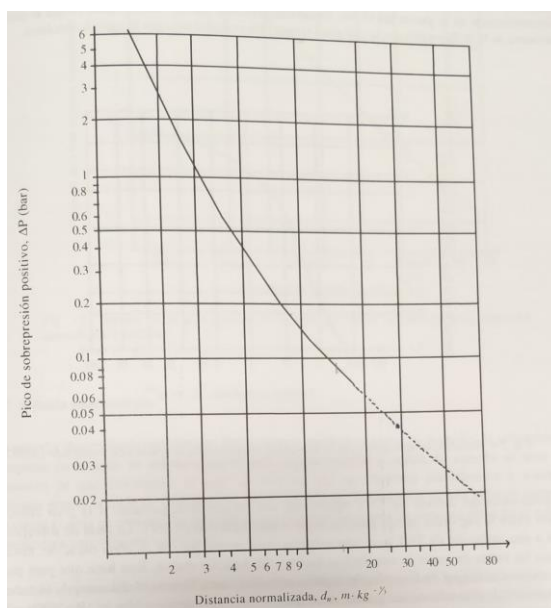


Figura 5.1. Gràfic de la sobrepressió envers distància normalitzada (ref.16).

La sobrepressió obtinguda és de 0.18 barg, que provocaria danys de destrucció a cases del 50%.

Finalment, es calcula el percentatge de mortalitat mitjançant el *Probit* i l'equació 5.17:

$$Pr = -14.9 + 2.56 * LN\left(t * I_v^{\frac{4}{3}}\right) = 0.5 \quad (5.17)$$

Amb aquest valor es consulta a les taules de probabilitat de mortalitat en funció del *Probit* (ref. 16) i s'obté una mortalitat del 3.36%.

5.1.2. HAZOP

La taula 5.2 mostra el HAZOP de la columna amb recompressió del vapor.

Taula 5.2. Hazop columna amb recompressió del vapor.

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Accions
Més	Més nivell en fons C-201.	Fallada controlador LT202 (llegeix menys nivell del real).	Inundació de la columna. Sense conseqüències de seguretat.		Alarma nivell alt en LT202.
	Més nivell en B-202.	Fallada servei vapor d'aigua.	Entrada de líquid a K-201 amb pèrdua d'integritat mecànica.		Posar nivell amb enclavaments parada K-201.
	Més nivell en B-201.	Fallada controlador LT203 (llegeix menys nivell del real).	Inundació costat tubs E-202 i costat carcassa E-201 amb possibilitat d'entrada a K-201 i pèrdua d'integritat mecànica.	PSV-226	Alarma nivell alt en LT203.
	Més nivell en B-203.	Fallada servei vapor d'aigua.	Entrada de líquid a la sortida per cap i direcció a procés.		Col·locar alarma nivell alt a PT202.
		LT202 obre completament V-239.	No poder evaporar tota la quantitat de líquid. Sortida de líquid per cap de B-203.		

Menys	Menys nivell en fons C-201.	Fallada controlador LT202 (llegeix més nivell del real).	Els vapor podrien passar a B-203 provocant una ruptura catastròfica.	PSV-273 obrirà.	Alarma nivell baix en LT202.
	Menys nivell en B-201.	Fallada controlador LT203 (llegeix més nivell del real).	Cavitació bomba P-202 amb possibilitat de deteriorament de la tanca mecànica amb sortida de producte a l'exterior. Possibilitat d'explosió	Doble tanca mecànica.	Alarma nivell baix en LT203.
	Menys nivell en B-202.	No és important.			
	Menys nivell en B-203.	No és important.			
No	No flux en alimentació C-201	FT101 tanca.	Inestabilitat de la columna, amb possibilitat de <i>coning</i> als plats.		Alarma caudal baix en FT101.
	No flux en K-201.	PT204 Tanca els àleps totalment.	Entrada a zona de bombeig amb pèrdua d'integritat mecànica i sortida de producte a l'exterior		Posar alarma baix nivell entrada K-201 i recirculació.

	No flux sortida de propilè cap a procés.	LT203 tanca completament V-255.	La bomba P-202 treballa a shutt off. Calentant el propilè amb possibilitat d'ebullició i sortida al exterior del producte.		Posar mesurador cabal després de P-202.
	No reflux.	Fallada controlador TT201 (tanca).	Augment temperatura de cap.		
	No reflux en B-203.	Fallada LT202 llegeix menys nivell (tanca)	Inundació de la columna.	PSV-226	Alarma baix caudal V-223.
	No reflux sortida propà.	Tanca vàlvula control LT203. (tanca)	Bomba Treballant a shut-off i calentament del propilè i ebullició.		Alarma alta pressió en PT202.
	No flux per tubs E-202.	Fallada PT-201 (tanca).	Els àleps de K-201 es tanquen i no hi ha flux, amb entrada del compressor a zona de bombeig amb possibilitat de pèrdua d'integritat mecànica.		
Més	Més flux en alimentació C-201.	FT101 obri completament.	Possibilitat de treballar la columna	PSV-226	Col·locar orifici de restricció d'entrada a C-201 per

			a 20 Barg i ruptura catastròfica.		assegurar un flux màxim.
Més flux en K-201.	PT101 obri completament.		Possibilitat de cremar el motor de K-201.		Col·locar orifici de restricció d'entrada a K-201 per assegurar un flux màxim.
Més flux sortida de propà.	PT202 obri completament.		No conseqüències de seguretat.		
Més flux sortida propilè.	LT203 obri completament.		Possibilitat de cavitació de P-202 per alt caudal i ruptura de tanques mecàniques i sortida de producte a l'exterior.	Doble tanca mecànica.	Alarma màxima obertura LT203.
Més flux de reflux.	TT201 obri completament.		Disminució de la temperatura de cap amb possibilitat d'inundació de plats i goteig. Possibilitat de cavitació de P- 202.(Veure menys nivell en B-201)	PSV-226.	Alarma baixa temperatura en TT201. Alarma baix nivell en LT202.

	Més flux en B-203.	LT202 obri completament.	Sobrepessió en B-203 amb possibilitat de ruptura catastròfica.	PSV-273	
	Més flux tubs E-202.	PT101 obri els àleps.	Possibilitat de cremar el motor de K-201.		Alarma màxima obertura PT201.
	Més flux vapor aigua en B-202.	No conseqüències de seguretat.			
	Més flux vapor aigua en B-203.	No conseqüències de seguretat.			
Invers	Flux invers	Parada instantània de K-201.	Possibilitat de pèrdua d'integritat mecànica i sortida de producte a l'exterior.		Col·locar vàlvula antiretorn K-201.
		Parada instantània P-202.			
		Parada instantània P-201.			
Més	Més pressió en C-201.	Foc extern.	Evaporació de la fase líquida de la columna amb possibilitat de ruptura catastròfica i sortida del producte al exterior.	PSV-226.	Dissenyar PsV-226 per a este cas.

	FT101 obri completament.	Ruptura catastròfica de C-201.	PSVV-226.	Dissenyar PSV-226 per a este cas.
	TT201 obri completament.	Possibilitat de superar la pressió de disseny amb ruptura catastròfica.	PSV-226.	Dissenyar PSV-226 per a este cas.
	PT201 tanca completament.	Ruptura catastròfica de C-201.	PSV-226.	Dissenyar PSV-226 per a este cas.
	PT101 obri completament els àleps.	Temperatura de sortida de K-201 més elevada i més intercanvi en E-202.	TT201.	
	Ruptura tubs E-202.	Entrada de producte a carcassa de E-202 amb entrada també a C-201 i possibilitat de ruptura catastròfica.	V-226.	Dissenyar PSV-226 per a este cas.
Més pressió en B-201.	Foc extern.	Possibilitat d'explosió B-201.	PSV-221.	Dissenyar PSV-221 per aquest cas.

	Més pressió en B-202.	Foc extern.	Possibilitat d'explosió B-202.		Posar una nova PSV en aquest equip.
	Més pressió en B-203.	Foc extern.	Possibilitat d'explosió B-203.	PSV-273	Dissenyar PSV-273 per aquest cas.
		PT202 tanca completament.	Possibilitat d'explosió de B-203.	PSV-273	Dissenyar ... per aquest cas.
	Més pressió en E-202.	Foc extern.	Possibilitat d'explosió en costat tubs i carcassa.	Per costat carcassa PSV-226.	Col·locar PSV entrada costat tubs 23 Barg.
	Més pressió en E-201.	Foc extern.	Possibilitat d'explosió en costat tubs i carcassa.		Col·locar PSV costat carcassa 23 Barg.
Menys	Menys pressió en C-201.	PT201 obri completament.	No conseqüències de seguretat.		
		LT202 obri completament.	Possibilitat de sortir líquid/vapor cap a B-203. (Veure menys nivell en C-201)		
	Menys pressió B-201.	No conseqüències de seguretat.			
	Menys pressió B-202.	No conseqüències de seguretat.			

	Menys pressió B-203.	PT202 obri completament.	No conseqüències de seguretat.	Posar alarma de baixa pressió PT202.
	Menys pressió E-201.	Fallada etapa de compressió.	Menys intercanvi en E-201.	
	Menys pressió E-202.	No conseqüències de seguretat.		
Més	Més temperatura en C-201.	FT101 obri completament	Veure més pressió C-201.	Posar alarma de temperatura en TT201.
		TT201 tanca completament.	Veure més pressió C-201.	
		PT201 tanca completament.	Veure més pressió C-201.	
		Ruptura tubs E-202.	Veure més pressió C-201.	
	Més temperatura en E-201.	TT203 tanca completament.	Veure més pressió E-201.	Posar alarma de temperatura alta en TT203.
		Fallada aigua de refrigeració.	Veure més pressió E-201.	
	Més temperatura en B-201.	No conseqüències de seguretat.		

	Més temperatura en B-202.	No conseqüències de seguretat.	
	Més temperatura en B-203.	No conseqüències de seguretat.	
Menys	Menys temperatura en C-201.	FT101 tanca completament	Veure no flux C-201.
		TT201 obri completament.	Veure més flux C-201.
		PT201 obri completament.	Veure menys pressió C-201.
	Menys temperatura en E-201.	TT203 obri completament.	No conseqüències de seguretat.
	Menys temperatura en B-201.	No conseqüències de seguretat.	
	Menys temperatura en B-202.	No conseqüències de seguretat.	
	Menys temperatura en B-203.	No conseqüències de seguretat.	

Altres

Diferent composició en alimentació C-201.	Més quantitat de propilè. Més quantitat de propà.			
Una altra fase en C-201.	No conseqüències de seguretat.			
Una altra fase en E-201.	Ruptura tubs E-201.	Entrada de propilè al corrent d'aigua de refrigeració.		Col·locar un mesurador de composició a la tornada de l'aigua cap a la torre de refrigeració.
Una altra fase en B-202.	Ruptura paret i mitja canya.	Entrada de propilè al circuit de vapor d'aigua, amb possibilitat de ruptura catastròfica.	Posar una PSV en el circuit de vapor d'aigua.	
Una altra fase en B-203.	Ruptura de la paret i del encamisat.	Entrada de vapor d'aigua al corrent de fons de columna amb possibilitat d'entrada a la columna i sortida propilè procés.		

As well as

No	No Utilities	Fallada energia elèctrica.	Parada de K-201 com també de P-201 i P-202. Veure flux invers en K-201 i més nivell B-201.
		Fallada aigua de refrigeració.	Veure més pressió en E-201.
		Fallada vapor d'aigua.	Veure més nivell en B-202. Veure més nivell en B-203.
		Fallada aire d'instruments.	TT201 tanca. TT201 tanca. PT201 obri. PT101 obri. TT201 tanca. LT203 obri. LT202 obri. PT202 obri.

TT202 tanca.

5.1.3. Índex DOW

En les següents figures es mostra l'estudi d'Índex Dow (ref.17) que s'ha realitzat sobre el procés de recompressió del vapor.

LOSS CONTROL CREDIT FACTORS

1. Process Control Credit Factor (C₁)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Emergency Power	0.98	0'98	f. Inert Gas	0.94 to 0.96	0'96
b. Cooling	0.97 to 0.99	0'99	g. Operating Instructions/Procedures	0.91 to 0.99	0'99
c. Explosion Control	0.84 to 0.98	0'98	h. Reactive Chemical Review	0.91 to 0.98	0'98
d. Emergency Shutdown	0.96 to 0.99	0'99	i. Other Process Hazard Analysis	0.91 to 0.98	0'98
e. Computer Control	0.93 to 0.99	0'99			

C₁ Value(3) 0'85

2. Material Isolation Credit Factor (C₂)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Remote Control Valves	0.96 to 0.98	0'98	c. Drainage	0.91 to 0.97	0'97
b. Dump/Blowdown	0.96 to 0.98	0'98	d. Interlock	0.98	0'98

C₂ Value(3) 0'91

3. Fire Protection Credit Factor (C₃)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Leak Detection	0.94 to 0.98	0'98	f. Water Curtains	0.97 to 0.98	0'98
b. Structural Steel	0.95 to 0.98	0'98	g. Foam	0.92 to 0.97	0'97
c. Fire Water Supply	0.94 to 0.97	0'97	h. Hand Extinguishers/Monitors	0.93 to 0.98	0'98
d. Special Systems	0.91	0'91	i. Cable Protection	0.94 to 0.98	0'98
e. Sprinkler Systems	0.74 to 0.97	0'97			

C₃ Value(3) 0'77

Loss Control Credit Factor = C₁ X C₂ X C₃(3) = 0'59 (Enter on line 7 below)

PROCESS UNIT RISK ANALYSIS SUMMARY

1. Fire & Explosion Index (F&EI).....(See Front)	21	
2. Radius of Exposure.....(Figure 7)	5'376	ft or m
3. Area of Exposure.....	90'8	ft ² or m ²
4. Value of Area of Exposure.....		\$MM 2,11
5. Damage Factor.....(Figure 8)	0'43	
6. Base Maximum Probable Property Damage – (Base MPPD) [4 x 5].....		\$MM 0'91
7. Loss Control Credit Factor.....(See Above)	0'85	
8. Actual Maximum Probable Property Damage – (Actual MPPD) [6 x 7].....		\$MM 0'77
9. Maximum Probable Days Outage – (MPDO).....(Figure 9)	9	days
10. Business Interruption – (BI).....		\$MM 0'124

(2) For no credit factor enter 1.00. (3) Product of all factors used.
Refer to Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide (Form #471-00001) for details.

6

BACK OF FORM C-22360 Rev-01-94 (471-00030)

Figura 5.3. Índex DOW

5.1.4. Zones Atex

A continuació, es durà a terme l'estudi sobre zones amb possible atmosfera explosiva en el procés de recompressió del vapor.

La zona on es desenvoluparà el procés serà a la zona del sector químic industrial de la Canonja, més en concret en la planta de treball de BASF.

El procés tal i com s'ha comentat anteriorment es tracta de la purificació d'un corrent propà/propilè provinent del fons de la columna anterior. L'objectiu és augmentar la concentració de propilè del 99.3% al 99.5% aproximadament. El procés involucra com a equips una columna de destil·lació, un compressor, un condensador, un reboiler, un acumulador de reflux, un evaporador i diferents bombes.

Les substàncies que s'utilitzen al procés són el propà i propilè que són les matèries primeres del procés. I com a serveis, l'aigua de refrigeració i el vapor d'aigua en els diferents equips.

Els paràmetres de seguretat que s'han implementat en el procés són controladors, alarmes, vàlvules i vàlvules de seguretat.

A l'apartat anterior es va calcular l'impacte que tindria una explosió i una bola de foc en l'acumulador de reflux del procés a una distància de 110 metres, la distància després de la carretera que ho separa de la població. Aquest accident provocaria una destrucció del 50% dels habitatges a aquesta distància.

També es va dur a terme el HAZOP per poder subsanar els possibles accidents que es puguin produir en el procés.

Les zones de risc que es classificaran en l'estudi serà la zona on es trobaria implantada la columna i totes les seves parts que la componen. Aquestes s'han classificat segons la seva perillositat.

- Zona 0: Aquesta zona fa referència a l'àrea de treball on hi ha una mescla d'aire i gas o vapor o una boira inflamable està present de manera permanent. En aquest cas, en el procés no tenim zona 0.
- Zona 1: Aquesta zona fa referència a l'àrea de treball en la que és probable, en condicions normals d'explotació. Aquesta sí que hi és present en el procés, ja que poden haver fugites de producte a l'exterior i provocar aquest accidents.
- Zona 2: Aquesta zona fa referència a l'àrea de treball en la que no és probable en condicions normals d'explotació. Aquesta zona no hi és present ja que només tenim zones del procés que hi ha sempre present fluïts inflamables i explosius.
- Zona 20, 21 i 22: Aquesta zona fa referència a l'àrea de treball en la que hi ha pols, i possibilitat d'explosió. Aquesta no hi és present.

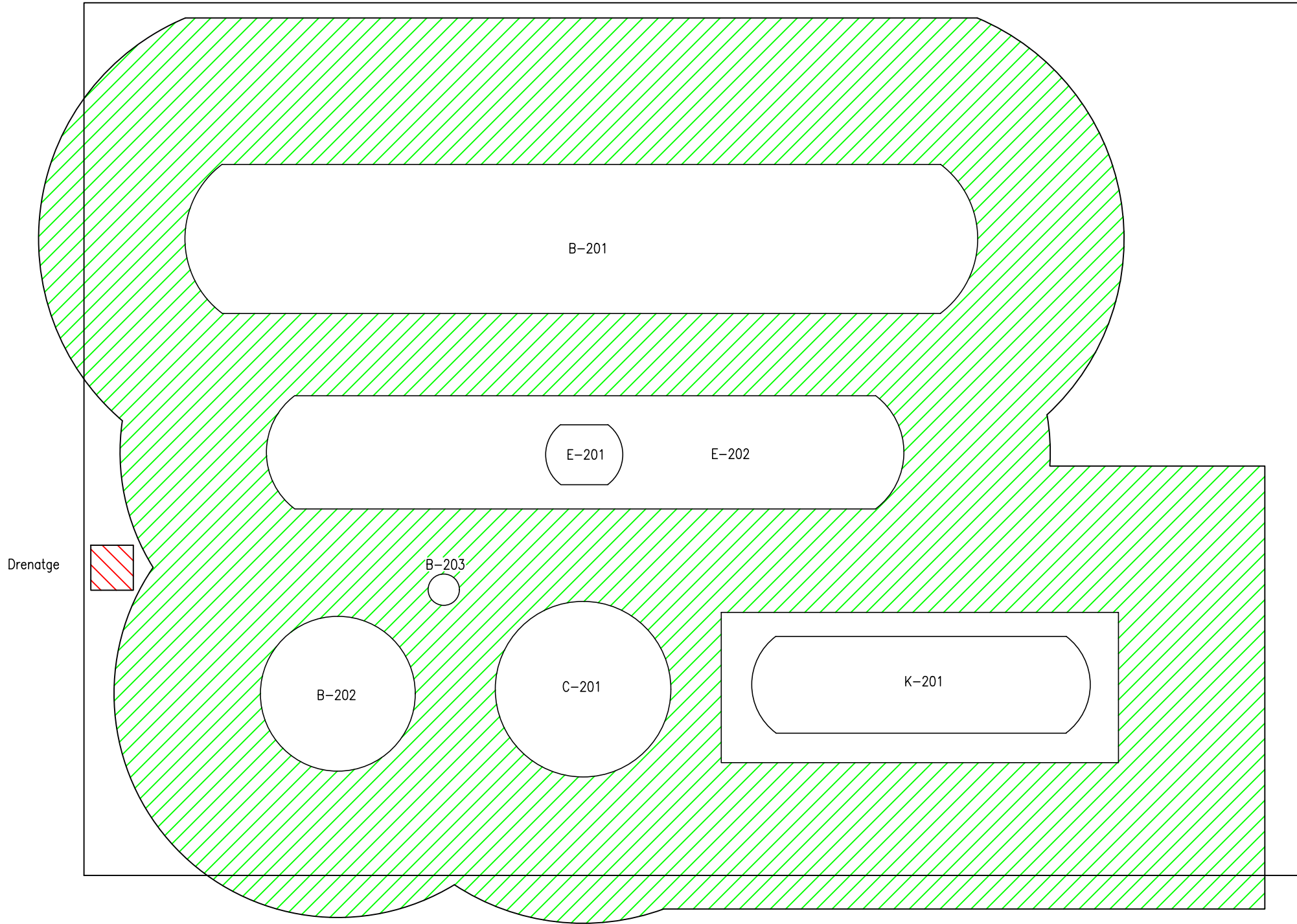
Pel tema de classes relacionat amb la naturalesa del material i la presència d'aquesta substància química, el propilè es troba a Classe I i Grup A.



La temperatura superficial màxima que hi ha en el procés és de T3, <200 °C. És la part del procés on hi ha present el vapor d'aigua per evaporar el producte. La següent taula 5.3 mostra les característiques de les substàncies.

Taula 5.3. Característiques del substàncies.

Producte	Flash (°C)	T (°C) antignició	Grup i classe	Límits explosivitat %(v/v)
Etilè	-136	450	IIBT2	2.7-36
H ₂	-	560	IICT1	4-75
Propilè	-108	485	IIAT1	2.4-10.1
Propà	-104	432	IIAT1	2.4-9.3

Finalment, es mostra el plànol amb les diferents zones que hi són presents en el procés.



	Classe 1, Zona 2, IIB, T2
	Classe 1, Zona 1, IIB, T2

Splitter propà-propilè amb recompressió del vapor		
<i>Data</i>	<i>Informe</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI <i>Treball fi de grau</i>
08/05/2018		
Zones Atex		
Domènec Estorach Ruedas Josep Maixé Lozano Aleix Martí Estepa		Nº 205

5.1.5. Mesures de prevenció

Per finalitzar, es descriurà un seguit de mesures de prevenció per tal de reduir la freqüència i evitar accidents. Aquest tipus de mesures es poden classificar en dos tipus:

- **Sistemes passius:** Aquests inclouen mesures de prevenció i protecció amb implementació física. Per exemple les distàncies mínimes que hi ha d'haver entre equips per evitar efectes dominó, contenció de vessaments que es pot evitar amb inclinació del terreny o ubicació de fonts d'ignició. Cobrir les parets dels equips amb materials aïllants com la llana de vidre.
- **Sistemes actius:** evacuació ràpida del vapor per tal manera de que es trobi a la pressió de dins del recipient. Desallotjar el líquid d'un recipient a un altre per tal de disminuir la quantitat afectada en l'accident. Tenir presents als equips sistemes de refrigeració per tal de disminuir la temperatura i pressió d'un incendi.

D'aquests dos mètodes, les nostres mesures contra accidents seria una mica la mescla dels dos, ja que seria la millor manera de prevenir-los.

Per exemple, fixant unes mesures de prevenció dels equips més perillosos, com l'acumulador de reflux, separat dels altres equips del procés i així evitant l'efecte dominó. També, utilitzar "cubets" per mantenir el líquid que hi hagi un vessament dins d'una zona i tenir controlat el possible incendi i també cobrir els equips amb material aïllant. I per últim, la utilització de cortines d'aigua en els equips que evitar el possible accident BLEVE esmentat anteriorment, reduint molt el gas que escapi cap a l'atmosfera i les regions properes, i dur a terme el seguit de proves i inspeccions que obliga la normativa, a més a més de sensors i alarmes indicant en cada moment la situació de l'equip.

6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

Una part molt important en tota planta química és evitar, en la mesura del possible, l'impacte ambiental. S'ha realitzat un estudi qualitatiu i quantitatiu d'impacte ambiental (ref. 18) comú sobre les alternatives de columna de destil·lació que conté el projecte. Aquest estudi serà útil per identificar i conseqüentment corregir els efectes que podria tenir la implementació de la planta sobre el medi.

6.1. Descripció del projecte

El projecte consta en la comparació de tres alternatives de columna de destil·lació que tenen un objectiu comú: la separació de propà-propilè obtenint un propilè gairebé pur. Totes tres estaran instal·lades a la planta de BASF de Tarragona (veure localització, apartat A.3.3). Les principals diferències radicaràn en l'avaluació econòmica i energètica de cadascuna, amb la intenció d'aconseguir que l'alternativa més innovadora, HIDiC, resulti ser més efectiva que les altres dues. Per conèixer més sobre el projecte, veure apartat A.2.

6.2. Anàlisi d'alternatives

Anar a l'apartat A.2.

6.3. Descripció del medi

Com s'ha comentat prèviament, la columna escollida se situarà en un futur a la planta de BASF, a Tarragona. En aquest apartat es realitza una mena d'inventari ambiental de l'entorn afectat, del radi d'uns 20 km al voltant de la planta. Caldrà determinar prèviament quins factors ambientals s'estudiaran i el nivell de detall de la investigació per cadascun. Aquests factors, es classifiquen segons el medi (ref. 19):

6.3.1. Medi físic

- Clima: és un clima mediterrani amb molta influència marítima, ja que està gairebé tocant a la planta. El règim tèrmic de la comarca es caracteritza per tenir estius calorosos i hiverns moderats. Les precipitacions són escasses i irregulars, de no més de 600 mm a l'any aproximadament. L'estació més plujosa és la tardor i la menys, l'estiu.
- Aigües: es divideix entre la superficial i la subterrània. El riu Francolí de Tarragona gairebé mai baixa ni tan sols una gota d'aigua, només en cas que s'obrin les comportes dels pantans, o rarament si plou amb fluïdesa durant un període curt de temps. Pel que fa a la hidrologia subterrània, els aquífers del Camp de Tarragona són drenats pel Francolí i pel Gaià majoritàriament, i la principal font de recàrrega és la infiltració de l'aigua de la pluja.

6.3.2. Medi biològic

- Vegetació: la intensa activitat agrícola i la recent ocupació urbana i industrial fan que sigui difícil saber quina seria la vegetació pròpia del Tarragonès. L'arbre autòcton més abundant és l'alzina, que predomina a arreu de la comarca, o també les màquies als vessants més secs. A les ribes del Gaià i del Francolí s'establiria una vegetació de ribera contínua, però ja no en queda res, així com tampoc a les platges, ja sigui pels conreus, per les inundacions (platja) o per la reducció dels cabals del riu.

- Relleu: la costa del Tarragonès és molt diversa, amb sector de penya-segats. Hi ha llargues platges separades per diferents sortints rocosos. S'ha d'incloure dins de l'extrem meridional de la Depressió Prelitoral, tot i que la serralada només hi toca esquitllada.

6.3.3. Medi humà

- Demografia: Tarragona és una de les ciutats més poblades de Catalunya. Només cal recordar la importància que va tenir la ciutat romana de Tàrraco. En els darrers anys, a causa de la instal·lació de nombroses indústries, en especial petroquímiques, i del desenvolupament turístic, ha hagut un augment brusc de població.
- Activitat econòmica: encara que actualment la indústria té un predomini abismal, el Tarragonès ha estat tradicionalment una comarca agrícola i comercial. La disponibilitat del port i de terres planes a l'entorn de Tarragona va possibilitar la instal·lació de nombroses indústries, que ha acabat en un complex químic molt important. A més, és una comarca molt turística.

6.4. Detecció o identificació dels impactes

La identificació dels impactes implica: conèixer el projecte i les seves alternatives, conèixer el medi en què es desenvoluparà i establir la relació entre ambdós. Segons la fase es detecten els següents impactes:

6.4.1. Fase de construcció

Aquests tipus d'impacte seran els que duraran menys temps, així com els de desarmament. El medi sobre els que estaran sotmesos són tots tres, tant el físic, com el biològic, com l'humà.

Per la seva construcció, s'ha de procedir a una adequació del terreny que comportaria a excavacions, moviments de maquinària i terres per la pavimentació, perforacions, emplaçament industrials i edificis, etc. Podrien provocar grans quantitats de pols i brutícia afectant la qualitat de l'aire, emissions d'olors i sorolls.

Tota construcció implica la destrucció de terres verges prèvies, i per tant, els camps que hi havia abans de construir la planta són eliminats. És una construcció senzilla ja que tot el relleu marítim és pla. D'altra banda, pel que fa al medi humà, podria generar nombrosos llocs de treball i seria un efecte positiu sobre les poblacions properes a la planta.

6.4.2. Fase d'exploració

En aquesta fase es generen uns impactes que romandran més temps i van relacionats amb l'activitat sobre la nova planta. Es veuran afectats als medis físic i humà.

El transport de la matèria fins arribar a la planta comporta una emissió de gasos dels camions cap a l'atmosfera. Durant el funcionament dels processos de destil·lació, no hauria d'haver emissions de gasos perjudicants, tot i que qualsevol fuga o fallada operacional podria comportar l'expulsió de propà o propilè, que són gasos extremadament inflamables. A més també provoca soroll, olors, generació de residus i emissió de gasos. També es gastarà energia elèctrica i una quantitat d'aigua important per la neteja i manteniment de les instal·lacions.

El desenvolupament dels processos requereix molts tipus de feina, tant com per al disseny dels processos, com per al control i manteniment de la planta. Per tant, genera llocs de treball.

6.4.3. Fase de desarmament

El cessament de l'activitat dona lloc al l'acomiadament dels treballadors de la planta, i per tant tindrà un efecte negatiu per al medi humà. A més, com en el procés de construcció, també es produiran un augment del nivell de partícules en suspensió afectant la qualitat de l'aire, provocat pel moviment de màquines. També hi haurà soroll i s'abocaran residus donant lloc a impactes negatius per al medi.

6.5. Caracterització dels impactes

Els efectes detectats s'han de descriure i caracteritzar amb els conceptes que estableix el RD 1131/1988, i a la taula següent s'hi veu reflectit:

Taula 6.1. Caracterització dels impactes.

Impacte	Fase	Qualitat ambiental	Causa-efecte	Accions i/o efectes	Moment de manifestació	Persistència	Reversibilitat	Recuperabilitat	Periodicitat
Contaminació atmosfèrica	Construcció	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Discontinuu
	Explotació	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Discontinuu
Generació de residus	Construcció	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Recuperable	Continuu
	Explotació	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Recuperable	Continuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Recuperable	Continuu
Emissions sonores	Construcció	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Mig termini	Permanent	Reversible	Recuperable	Discontinuu
	Explotació	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Recuperable	Continuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Curt termini	Permanent	Reversible	Recuperable	Discontinuu
Contaminació del sòl	Construcció	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Explotació	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Discontinuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
Afectació a la vegetació	Construcció	Negatiu	Notable i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Explotació	Negatiu	Notable i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Temporal	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
Modificació del paisatge	Construcció	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Explotació	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
	Desarmament	Negatiu	Notable i directe	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Irreversible	Irrecuperable	Continuu
Modificació en l'estructura socioeconòmica	Construcció	Positiu	Mínim i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Reversible	Recuperable	Discontinuu
	Explotació	Positiu	Mínim i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Reversible	Recuperable	Discontinuu
	Desarmament	Negatiu	Mínim i indirecte	Acumulatiu	Llarg termini	Permanent	Reversible	Recuperable	Discontinuu

6.6. Avaluació i valoració dels impactes

Un cop s'han conegut els impactes i s'han caracteritzat els seus efectes, s'avaluen qualitativament i quantitativament, per mitjà de la matriu de Leopold.

6.6.1. Matriu de Leopold

Es tracta d'una matriu de relació causa-efecte amb quadres de doble entrada: en una es disposen les accions del projecte que poden causar impacte, i a l'altra es disposen els factors ambientals rellevants receptors dels efectes. S'hi assenyalen les caselles on es pot produir una interacció causa-efecte, identificant impactes potencials. Serveix com a resum de la informació continguda en aquest informe d'impacte ambiental, tot i tenir un caràcter subjectiu d'avaluació.

La magnitud de l'impacte va de -10 a 10, i es col·loca el valor a la meitat superior de la casella. La importància de l'impacte va d'1 a 10, de menor a major impacte, i es situa a la meitat inferior. Es pot veure la matriu de Leopold completa a l'annex A.4.

Un cop completa la matriu segons un criteri propi, es pot relacionar la magnitud i importància de les accions que afecten els diferents factors ambientals, ja sigui físics, químics, biològics o humans. Generalment les accions relacionades amb la generació de residus tenen major importància ja que si no es duu a terme una bona gestió, l'impacte ambiental podria ser molt elevat. També són importants les fallades operacionals i vessaments que es podrien donar lloc en fase d'explotació, accions que podrien provocar accidents a la planta. D'altra banda, es dona menys importància a les accions que afecten la fauna, la flora o les activitats recreatives, ja que el funcionament de la planta podria seguir sense gaire problemes. L'única acció que afecta positivament sobre el medi és la creació de feina en la implantació d'edificis.

6.7. Mesures correctives

Aquestes mesures són modificacions o incorporacions per evitar, reduir, modificar o compensar l'efecte de projecte al medi ambient i adequar-lo a les oportunitats que ofereix el mitjà per aconseguir l'èxit. Han de ser factibles i econòmicament viables, adequant-se als diferents tipus d'impactes i a les diferents fases. Poder ser mesures protectores, per evitar impactes; correctores o curatives, per reduir l'impacte; o compensatòries, que no admeten correcció però sí compensació mitjançant altres efectes de signe positiu.

Tal i com se pot observar a la matriu de Leopold, la majoria de factors poden ser provocats per diferents accions a la vegada, i per tant, aplicant una mesura correctora es podrien minimitzar les conseqüències que comportarien. A la fase de construcció es poden prendre les següents mesures per prevenir la generació de pols i altres emissions:

- Delimitació exacta de l'àrea on es duran a terme excavacions i obres, per no afectar més superfícies de la necessària.
- La maquinària utilitzada no pot sobrepassar els límits mínims de soroll, establerts pel Reial Decret.
- Tota excavació o modificació del sòl es realitzarà en dies en què no faci vent, per evitar que s'escampi la pols.
- Disseny d'un sistema de neteja en cas de vessaments o fuites al llarg del procés.

A la fase d'explotació també s'aplicaran una sèrie de mesures per evitar accidents durant l'operació del procés o com a mínim estar-hi preparat, i per reduir l'impacte causat pels residus o gasos emesos:

- Realització d'un estudi per la demostració que, prèviament a la posada en marxa del procés químic, s'han pres totes les mesures necessàries per minimitzar els riscos relacionats a la producció del propà i propilè.
- Protecció contra incendis de la planta, que segons el reglament de seguretat de la planta s'haurà de complir innegociablement.
- Instal·lació de torxes per als residus gasosos.
- Materials susceptibles als atacs químics i fuites dels fluids que hi circularan, ja sigui per les canonades com pels equips.
- Per als abocaments líquids s'utilitzaran les xarxes fluvials, amb les plantes de depuració del complex.
- Anàlisi dels beneficis produïts per la generació de posicions de treball, i per l'aprofitament de recursos i productes obtinguts per altres fonts.

6.8. Emissions

Un altres dels aspectes importants a tenir en compte en quant a la cura del medi ambient durant el funcionament de la planta són les emissions que hi poden sorgir. Es pot diferenciar entre:

a) Emissions gasoses

- Torxes: són mecanismes de seguretat que tenen la finalitat de mitigar les emissions gasoses a l'atmosfera. Són utilitzades en diversos punts dels processos.
- Emissions fugitives: són fuites petites emeses de productes tòxics i inflamables, com és el cas del propà i del propilè, directament a l'atmosfera que se produeixen de forma contínua i no són detectables pels sentits. S'utilitzaran programes LDAR per al control d'aquestes fuites. Es podrien donar lloc a equips com les vàlvules, generant pèrdues de producte de 3 kg/any, bombes, brides amb pèrdues d'1 kg/any, etc.
- Emissions difuses: emissions no localitzades i per aquest motiu, difícils de controlar. Abans de sortir a l'atmosfera se propaguen per l'interior de les instal·lacions.

L'empresa ha de vigilar el compliment de les obligacions legals, comunicar a l'Administració qualsevol canvi o problema que pugui afectar les seves emissions, o col·laborar amb les inspeccions que realitzi l'Administració.

b) Abocaments líquids

- Les aigües de rentat de la zona poden tenir restes d'oli.
- Purgues del circuit amb aigua de refrigeració. S'envien a fase general.
- Aigües pluvials, que s'envien a basses de recollida per tal que no s'interposin entre els fluids de procés.

c) Residus sòlids

Només s'utilitza oli, amb quantitat total d'1 t/any, per la bomba i pel compressor.

d) Sorolls

El llindar màxim de soroll que es pot sentir durant el funcionament de la planta és de 85 dB, a una distància de 1 m de la bomba i del compressor. Com que el compressor fa molt de soroll, s'instal·len caixes acústiques per tal de minvar-lo.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

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

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

Però, el primer pas abans de concretar com se gestionaran els treballs és establir la política de manteniment, per tal de definir els objectius tècnic-econòmics del servei. Els principals objectius són (ref. 21):

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

El següent pas és establir el mètode i tipus de manteniment a aplicar, que s'explicaran breument als següents apartats (ref. 20).

7.1. Manteniment correctiu

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

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

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

7.2. Manteniment preventiu

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

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

- Revisions visuals a diari de les canonades i vàlvules, per tal de comprovar que no hi hagi fuites de fluid i que les vàlvules estiguin ben lubricades i funcionin correctament.

- Control i calibratge de tots els instruments del procés cada setmana per assegurar la qualitat de producte final.
- Manteniment setmanal de les bombes per comprovar el seu correcte funcionament.
- Revisió mensual de l'estat de les vàlvules de seguretat. S'han de netejar bé per evitar que la brutícia pugui bloquejar la sortida del fluid.

7.3. Manteniment predictiu

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

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

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

7.4. Manteniment legal

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

Per exemple, l'anomenada ITC, o Instrucció Tècnica Complementària, s'aplica a la instal·lació, inspeccions periòdiques i reparacions de tots els equips a pressió inclosos al Reglament d'Equips a Pressió (REP) instal·lats a refineries de petrolis i plantes petroquímiques (ref. 23).

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

1) Potencial de risc, és a dir, el producte de la pressió màxima admissible (PS en barg) pel volum (V en m³):

- Potencial 1: Major o igual a 1000.
- Potencial 2: Major o igual a 300 i menor de 1000.
- Potencial 3: Major o igual a 25 i menor de 300.
- Potencial 4: Major o igual a 10 i menor de 25.
- Potencial 5: Menor de 10.

2) Característiques del fluid:

- Grup 1.1: fluids inflamables en forma de vapors, líquids, gasos i les seves mescles, a temperatura màxima de servei Tms igual o superior a 200 °C; gasos o líquids classificats com a molt tòxics i hidrogen a qualsevol temperatura a concentracions superiors al 75% en volum.

- Grup 1.2: altres fluids perillosos inclosos al grup 1 de l'article 9 del Real Decret 769/1999 que no classifiquin al grup anterior.
- Grup 2.1: gasos no perillosos inclosos al grup 2 de l'article 9 del RD 769/1999 (vapor d'aigua, gasos inerts, innocus, aire...).
- Grup 2.2: altres fluids no perillosos que no se classifiquen al grup anterior.

3) Classes d'equips: mitjançant la combinació del potencial de risc i de les característiques dels fluids, els recipients de la present ITC se classifiquen segons la taula següent:

Taula 7.1. Classes d'equips.

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

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

Taula 7.2. Periodicitat d'inspeccions.

Classificació de recipient	Nivell d'inspecció		
	A	B	C
Classe 1	Inspector propi 4 anys	O.C.A. 6 anys	O.C.A. 12 anys
Classe 2	Inspector propi 6 anys	O.C.A. 8 anys	O.C.A. 16 anys
Classe 3	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 10 anys	No requereix
Classe 4	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 12 anys	No requereix
Classe 5	Inspector propi 8 anys	No requereix	No requereix

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

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

A continuació es classifiquen els equips del procés de destil·lació mitjançant recompressió de vapor segons la taula 7.3., i s'adjudica una periodicitat d'inspecció.

Taula 7.3. Classificació dels equips del procés RCV (veure PFD de RCV a 5.1.3).

Equip	PS (bar g)	V (m ³)	Potencial	Grup	Classe
C-201	23	185	1	1.2	1
K-201	23	32.0	2	1.2	2
E-201	23	1.53	3	1.2	3
E-202	23	6.94	3	1.2	3

B-201	23	8.15	3	1.2	3
B-202	23	3.02	3	1.2	3
B-203	23	0.08	5	1.2	5

Llavors, es valora en cada cas quin nivell d'inspecció s'ha d'aplicar. Cadascun correspon a un temps determinat fins la pròxima inspecció, que és el que s'indica a la taula 7.2. El nivell A és inspecció en servei en que almenys ha d'haver una comprovació de la documentació dels equips a pressió i una completa inspecció visual; el B es duen a terme fora de servei en que a més del que es fa a la inspecció A, també s'analitzen visualment totes les zones sotmeses a majors esforços i a corrosió, i comprovació d'espessors i dels accessoris de seguretat; i el C es fa fora de servei i amb prova de pressió, i per tant amb un interval de temps d'inspecció més elevat.

7.5. RCM (Reliability Centered Maintenance)

S'ha realitzat un informe de manteniment centrat en la fiabilitat (RCM) per tal de focalitzar els recursos de manteniment amb les possibles fallades més crítiques, per la seguretat, el medi ambient i la productivitat de les instal·lacions industrials. Aquesta és una altra metodologia qualitativa més completa pel que fa a manuals de manteniment.

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

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

Per l'aplicació del RCM en el nostre procés, s'ha seguit els següents passos de l'1 al 6, extrets de la ref. 22.

1) Separació d'àrees o sistemes.

L'objectiu d'aquesta fase és dividir el procés en diferents àrees o sistemes amb les majors dimensions possibles per a, posteriorment, discutir aquelles àrees no crítiques. A la figura 7.1. es pot veure el procés de separació propà-propilè mitjançant la columna de recompressió de vapor en la que s'ha descompost amb les àrees llistades en la taula següent 7.4.

Taula 7.4. Sistemes del procés.

Codi	Sistema
S001	Alimentació de propà-propilè
S002	Sistema de separació
S003	Compressió de propilè
S004	Condensació
S005	Sistema de recirculació
S006	Recollida de propilè
S007	Recollida de propà

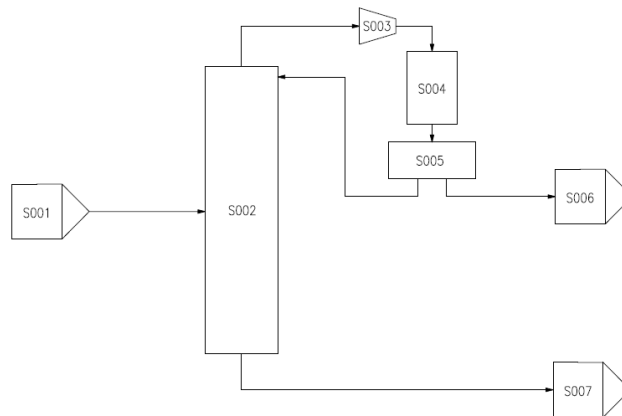


Figura 7.1. Diagrama de blocs del procés descompost pels sistemes.

2) Càlcul de la criticitat d'àrees o sistemes.

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

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

Valorant la probabilitat i conseqüències d'una fallada, determinant d'aquesta manera la criticitat dels sistemes. Per això, s'empren les taules i matrius 7.5. i 7.6. segons el criteri de seguretat i medi ambient, i 7.7 segons el criteri de fiabilitat i disponibilitat.

Taula 7.5. Conseqüències per la seguretat i medi ambient.

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

Taula 7.6. Probabilitat de fallada per la seguretat i medi ambient.

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

Taula 7.7. Fiabilitat i disponibilitat.

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

El valor final de la criticitat relacionada amb la seguretat i medi ambient s'obté amb el producte de les dades obtingudes per les taules 7.5. i 7.6. S'ha diferenciat la criticitat depenent de la seguretat i medi ambient, per una banda, i segons la fiabilitat i disponibilitat per l'altra. La valoració dels criteris de seguretat i medi ambient és prioritària per determinar el grau de criticitat de les àrees.

3) Elecció del nivell crític d'anàlisi.

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

Taula 7.8. Càlcul de la criticitat d'àrees.

Sistema	Seguretat i medi ambient		Valor	Disponibilitat i fiabilitat
	Conseqüències	Probabilitat		
Alimentació de propà-propilè	1	1	1	10
Sistema de separació	2	1	2	8
Compressió de propilè	2	2	4	6
Condensació	6	6	36	6
Sistema de recirculació	1	2	2	6
Recollida de propilè	6	2	12	2
Recollida de propà	6	2	12	2

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

4) Anàlisi de fallades funcionals crítiques.

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

- a) Funció principal: aquella per la que l'equip ha estat dissenyat.

b) Funció secundària: aquella que sense ser la principal, és necessària per al funcionament de l'equip.

c) Funció de protecció: la necessària per protegir les persones i instal·lacions des del punt de vista de seguretat.

Un cop conegudes les funcions de cada equip del sistema, se determinen les fallades funcionals i els seus mètodes de detecció, per posteriorment determinar la seva criticitat. S'utilitzen els següents criteris: disponibilitat, freqüència, detectabilitat, i seguretat i medi ambient. Per a això, són usades les taules 7.9, 7.10, 7.11. i 7.12. A continuació es mostren les taules de criticitat de les fallades funcionals, segons els criteris esmentats.

Taula 7.9. Disponibilitat.

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

Taula 7.10. Freqüència.

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

Taula 7.11. Detectabilitat.

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

Taula 7.12. Seguretat i medi ambient.

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

A la taula 7.12. es mostra l'exemple de la fulla d'anàlisi de les fallades funcionals del condensador, equip pertanyent a l'àrea més crítica de la taula 7.8.

Taula 7.13. Fulla d'anàlisi de fallades funcionals.

Sistema: S004		Condensador					Criticitat: 42		
Funció	F. funcional	M. detecció	D	F	D	S	Total	Feina preventiva	Per
Condensació de 52290 kg/h propilè costat-tubs	Desviació del paràmetre ΔP	Indicador de pressió	2	3	1	1	6	By-pass al condensador quan es detecti ΔP excessiu per neteja	Planta
Evaporar propà costat-carcassa	Desviació del paràmetre T^a	Indicador de temperatura	2	3	1	1	6	Ídem f. funcional anterior	Planta
Contenir propilè	Fuga propilè	Detectors propilè	2	4	2	2	32	Veure causes de fallades tècniques	Manteniment
Contenir propà	Fuga propà	Inspecció	1	1	2	1	2	Idem	Idem

5) Anàlisi de causes de fallades tècniques.

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

- 1) Descompondre l'equip amb elements mantenibles.
- 2) Determinar les diferents formes de fallades que pren cada element.
- 3) Definir les diferents causes de forma de fallada.
- 4) Valorar la criticitat de cada causa de fallada.

5) Determines les feines de manteniment preventiu o modificatiu que elimini o redueixi la probabilitat de fallada.

Per la valoració de la criticitat s'utilitzen les taules de l'anterior fase, i s'afegeix un altra concepte: cost de reparació (taula 7.14.).

Taula 7.14. Criticitat de formes i causes de fallades funcionals.

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

Finalment, per realitzar aquesta fase s'utilitza la fulla de formes i causes de fallades tècniques per a l'exemple del condensador del propilè, a la taula 7.15.

Taula 7.15 Fulla d'anàlisi de formes i causes de fallades tècniques.

Element mantenible	Forma de fallada	Causa de fallada	Efecte	D	F	C	S	Total	Feina	Freq.	Cost anual
Carcassa	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota aïllament i localitzada	Fuga propà a exterior	1	2	2	1	4	Manteniment correctiu		
Tubuladures c. carcassa	Fallada junta	Error humà al muntatge	Fuga propà a exterior	1	2	2	1	4	Manteniment correctiu		
		Deteriorament material junta	Fuga propà a exterior	1	2	2	1	4	Manteniment correctiu		
Feix tubular	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota dipòsit	Fuga propà cap a tubs	2	3	6	1	36	Control qualitat propà	Set-manal	1500
									Mesurar espessors residuals	Semestral	3000
Capçal superior	Pèrdua d'espessor	Corrosió per propilè	Fuga propilè a exterior	2	2	2	3	24	Mesurar espessors residuals	Annual	500
Tubuladures s propilè	Fallada junta	Error humà al muntatge	Fuga propà a exterior	1	2	2	3	12	Inspecció muntatge	Annual	200

6) Conclusions del manteniment basat en la fiabilitat, RCM.

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

Pel que fa al procés de separació propà-propilè amb la columna RCV, l'equip més crític és el condensador, i a la taula 7.15. es mostren les formes de fallada i les seves causes, així com l'estimació de criticitat. Finalment, també es mostren les feines preventives, la seva freqüència i el cost anual.

L'element mantenible més crític del condensador és el feix tubular, que a causa de corrosió sota dipòsit genera pèrdua d'espessor obtenint una criticitat de 36. Les feines preventives a realitzar en aquest cas serien de controlar la qualitat del propà, que va per carcassa, setmanalment.

7.6. Pla de manteniment adoptat

Per finalitzar i concloure el manual de manteniment del procés de recompressió de vapor, es decideix on aplicar els diferents tipus de manteniments que s'han explicat:

- Correctiu: és el més aplicat a la majoria d'indústries degut a que inclús amb la millor informació de fabricants, és difícil al principi preveure la càrrega de manteniment correctiu esperada. Així doncs, només s'aplicarà en cas que hi apareguin fallades imprevistes.
- Preventiu: s'aplicarà als rodaments de les bombes del procés, i es realitzaran les revisions esmentades a l'apartat de manteniment preventiu.
- Predictiu: s'aplica als equips rotatius, és a dir, tant al compressor com a les bombes. Es requereix que aquests equips estiguin ben lubricats per tal que protegeixin, refrigerin i netegin les zones en que pugui haver desgast i també es controlaran les vibracions. S'utilitzarà com a lubricants olis minerals, que tenen la capacitat de controlar la temperatura de les bombes i evitar oxidació.
- El manteniment legal s'aplicarà, com s'ha dit, als aparells a pressió als quan s'han de realitzar les inspeccions periòdiques en els equips tal i com indica la taula 7.15.
- El RCM se centra en aquells equips més crítics de patir avaries, i en el procés és en diferència el condensador, sobretot al feix tubular.

8. ESTUDI ECONÒMIC

L'estudi econòmic és la part més decisiva d'un projecte, perquè dona la visió en el temps dels guanys i beneficis d'una empresa.

Per tant, s'ha dut a terme un estudi econòmic de cadascun dels tres processos, per poder posar xifres i un valor econòmic per cada alternativa. Aquest procediment s'ha realitzat mitjançant la pàgina web (ref.24), que dona una valor molt aproximat del cost de cada equip segons les seves característiques.

Després, amb el cost de cada alternativa i mitjançant una fulla de càlcul facilitada per l'equip docent, es calcula tota la inversió inicial que s'hauria de fer per construir-ho. Finalment, mitjançant la bibliografia (ref. 24) es calculen els *Cash Flows*, el VAN i la TIR i s'observa la rendibilitat de cada alternativa. Aquest valor ens donaran una estimació de quina de les tres alternatives és la més rentable.

Així doncs, es calculen els valors de cada alternativa. En els següents apartats es poden observar tots els preus.

8.1. Columna convencional

Primerament, i tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior es calculen els costos dels equips. A la Taula 8.1. hi són tots.

Taula 8.1. Costos equips columna convencional

Equip	Cost (€)
C-101	135000
E-102	62000
E-101	16200
P-101	10100
B-101	31100
P-102	7570
B-102	6390
Total Cost Equips	268000

Seguidament, amb el cost total dels equips s'hi introdueix al full de càlcul, fulla que va desenvolupar el Dr. Rolan del Departament d'Enginyeria Química de la URV, i s'obté la inversió inicial. Per aquesta alternativa es tracta de 1540000 €. Els càlculs per trobar aquesta inversió es poden observar a l'apartat A.5.

Per altra banda, també cal calcular els guanys i costos que es tindran cada any de producció del procés. Això engloba el preu de les matèries primeres, energia i serveis consumits. I també del preu de venda dels productes que s'obtenen.

Els preus de les matèries primeres i dels productes han sigut també donats per l'empresa. El preu del propilè amb una puresa del 99.5% és de 892€/t i del propà de 440€/Tona. El preu de la matèria prima és de 770€/t ja que és un corrent amb molt menys percentatge de propilè. Pel que fa als serveis, el seu preu es pot observar a l'apartat 3.3.2.

Finalment, també es tindran en compte el cost del diners. Aquest es suposarà que és d'un 30%.

En la següent taula, 8.2, es mostren tots el beneficis i costos abans i després d'impostos.

Taula 8.2. Balanç econòmic.

	Quantitat	Quantitat (€)
Matèria prima (alimentació)	13300 t/any	-11100000
Propilè	12300 t/any	11900000
Propà	1000 t/any	460000
Serveis*		-298000
Balanç abans d'impostos		963000
Balanç després d'impostos		674000

*Els serveis s'han calculant introduint el cabal d'aigua de refrigeració que s'utilitza a l'any, 238000 m³, i la quantitat de vapor d'aigua, 14000 tones. Aquests es multipliquem pel preu de cadascun.

Així doncs, obtindríem cada any uns beneficis de 674000 €. Tot i això, caldrà portal aquest beneficis a l'any que pertoqui, ja que el preu del diner disminueix cada any. Per dur a terme això ja es calcularan els *Cash Flows* mitjançant la fórmula 8.1.

$$Cash\ Flows = \frac{BDI}{(1+i)^t} \quad (8.1)$$

S'ha utilitzat un tipus d'interès del 10% i una vida útil de 20 anys.

Després, es pot calcular el VAN, valor actual net, del projecte, ja que aquest serà un indicatiu que ens mostrarà si el projecte és rentable o no. El VAN es calcula mitjançant l'equació 8.2.

$$VAN = -Inversio + \sum_{t=1}^n \frac{BDI}{(1+i)^t} = 3590000 \text{ €} \quad (8.2)$$

Un al altre paràmetre que ens serà molt útil és la TIR, taxa interna de retorn, i aquest es calcula iterant quina taxa interna fa que el VAN sigui 0. S'obté una TIR del 31%.

Per finalitzar es mostra una gràfica ,8.1, on s'observa l'evolució financera del projecte.

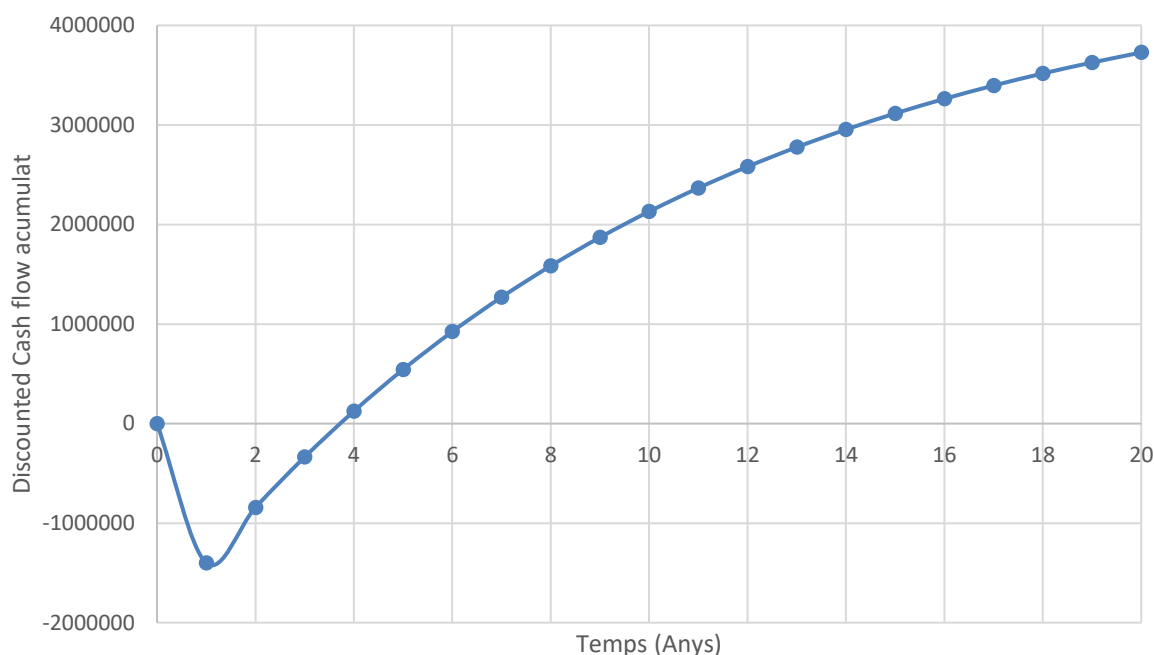


Figura 8.1. Avolució econòmica columna convencional.

En la gràfica es pot observar com el *Pay of time* és aproximadament d'uns 3 anys i mig.

8.2. Columna de recompressió del vapor

Per aquest procés duem a terme exactament el mateix procediment que per l'anterior. Així doncs, a continuació es mostren tots els costos, beneficis, VAN i TIR que s'obtenen per aquesta alternativa. La taula 8.3. mostra els valors dels equips.

Taula 8.3. Costos equips columna recompressió.

Equip	Cost (€)
C-201	132000
E-201	38200
E-202	116000
B-202	12600
K-201	130000
P-201	5880
B-201	46000
P-202	12100
B-203	6390
Total Cost Equips	491000

Seguidament, amb el cost total dels equips ho introduïm a la fulla de càlcul del Dr. Rolan, com a l'altra alternativa hi obtenim la inversió inicial. Per aquesta alternativa es tracta de 2360000.

Els beneficis que s'obtenen en aquesta alternativa de procés, taula 8.4.

Taula 8.4. Balanç econòmic.

	Quantitat	Quantitat (€)
Matèria prima		-11100000
Propilè		12100000
Propà		368000
Serveis		-57500
Balanç abans d'impostos		1330000
Balanç després d'impostos		929000

Finalment, el VAN que s'obté per aquesta alternativa és de 4710000 i una TIR del 27%. Com en l'anterior apartat es mostra una gràfica, figura 8.2, de l'evolució econòmica.

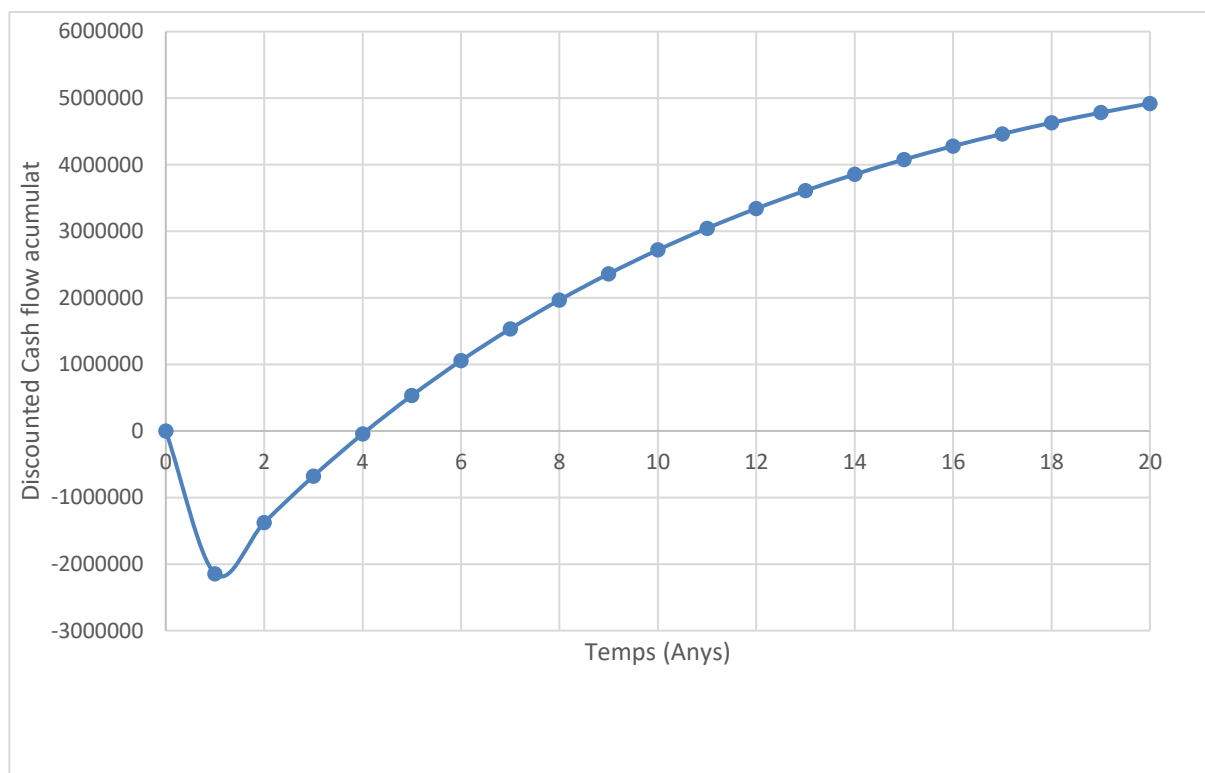


Figura 8.2. Avaluació econòmica columna amb recompressió del vapor.

Per aquesta alternativa, recuperariem la inversió inicial aproximadament als 4 anys.

8.3. Columna HIDIC

Per aquest procés també duem a terme exactament el mateix procediment que l'anterior. Així doncs, a continuació es mostren tots els costos, beneficis, VAN i TIR que s'obtenen per aquesta i última alternativa. A la taula 8.5. es mostren el cost dels equips.

Taula 8.5. Costos equips columna HIDIC.

Equip	Cost (€)
C-301	194000
K-301	205000
E-302	10400
E-303	14700
P-301	13500
B-302	16300

P-302	6730
B-303	6390
B-301	12600
“Bayonetes”	15100
Total Cost Equips	494000

La inversió inicial, calculada novament amb el mètode del Dr. Rolan, és de 2270000 €. Els beneficis que s'obtenen en aquesta alternativa de procés, taula 8.6.

Taula 8.6. Balanç econòmic.

	Quantitat (€)
Matèria prima	-11100000
Propilè*	11900000
Propà	540000
Serveis	-171000
Balanç abans d'impostos	1150000
Balanç després d'impostos	805000

*Per aquest cas, al poder obtenir un propilè del 99.7% s'ha considerat que el seu preu de venda serà més elevat, d'uns 895€/t.

Finalment, el VAN que s'obté és de 3850000 i una TIR del 23%. Com en l'anterior apartat es mostra una gràfica, 8.3, de l'evolució econòmica.

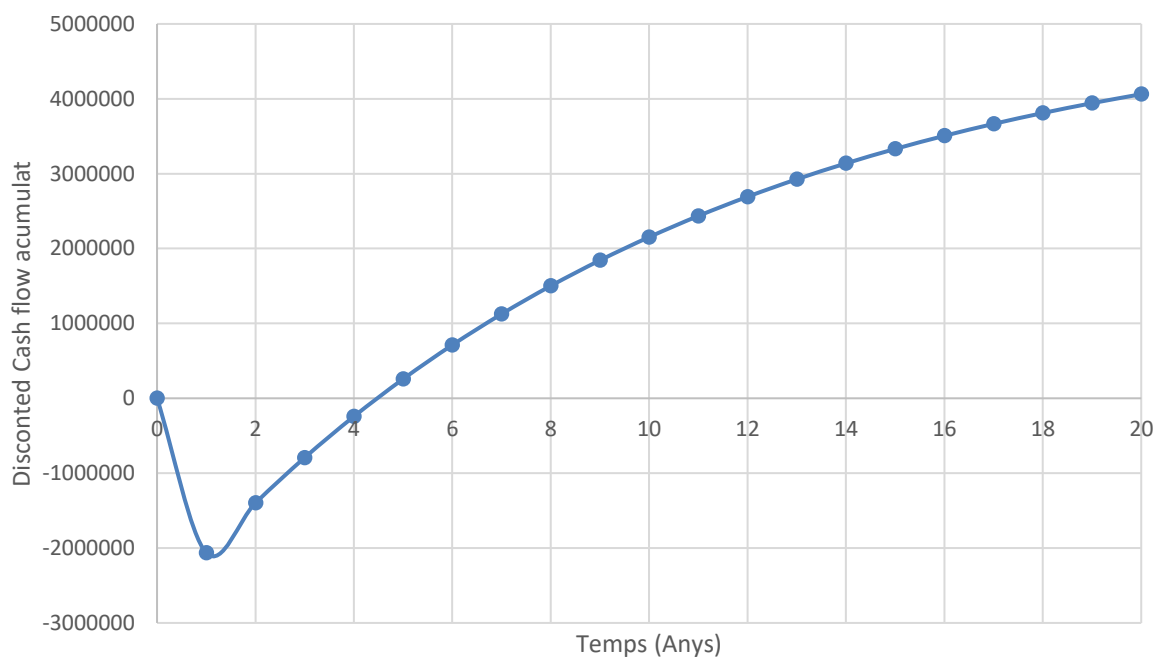


Figura 8.3. Avaluació econòmica columna HIDiC.

Per últim, la alternativa HIDiC també tardaria uns 4 anys a retornar la inversió inicial.

8.4. Conclusions estudi econòmic

Un cop tingut en compte tots els costos i guanys que cada alternativa ofereix, es pot analitzar quina de les tres seria més interessant per al creixement econòmic de l'empresa.

Per poder dur a terme la comparació correctament, es mostra la següent figura, 8.4, les tres alternatives juntes al llarg dels anys de vida útil.

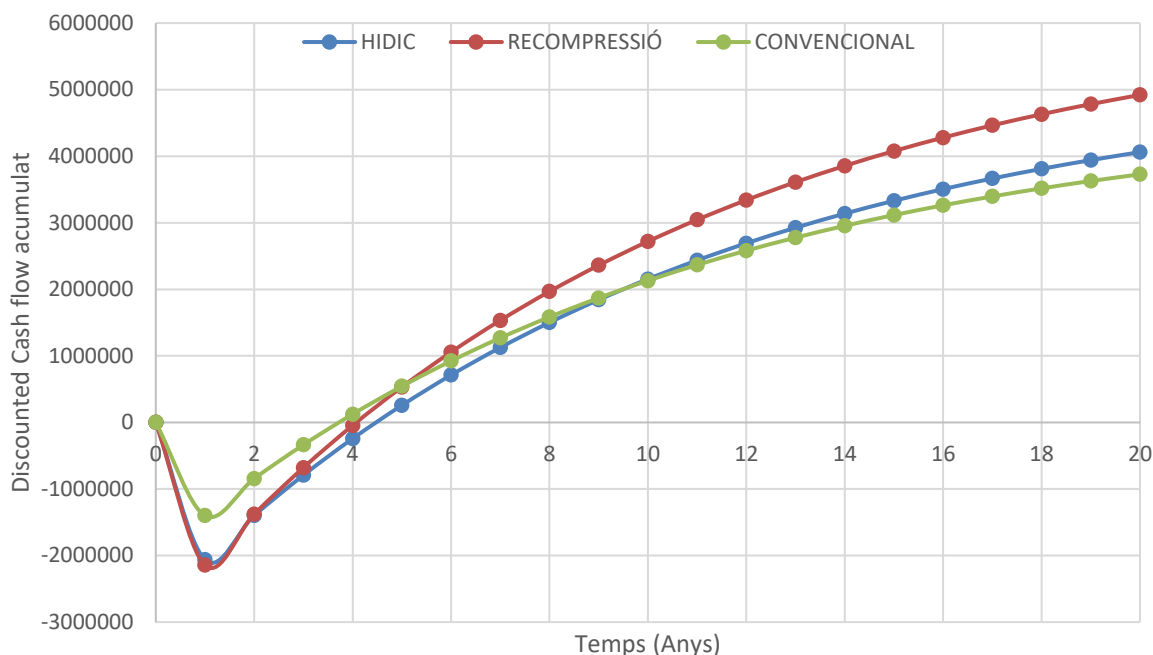


Figura 8.4. *Discounted Cash Flow* acumulat alternatives.

Tal i com es pot observar l'alternativa que més beneficis dona al llarg del temps és la de recompressió del vapor, perquè el total d'energies que utilitza, tèrmiques i elèctriques, fa que sigui més rentable. Tot i això, a la columna amb integració interna de calor aconseguim millorar la quantitat d'energia tèrmica que es requereix en el procés perquè els serveis d'aigua de refrigeració i vapor són menors en quantitat. En canvi, necessita d'un compressor amb molta més potència per suplir aquesta diferència.

Per una banda, si s'hagués pogut dur a terme el disseny de la columna amb integració interna de calor fent que no fos necessària cap condensador ni *reboiler*, l'evolució amb el temps hagués quedat de la següent manera, figura 8.5.

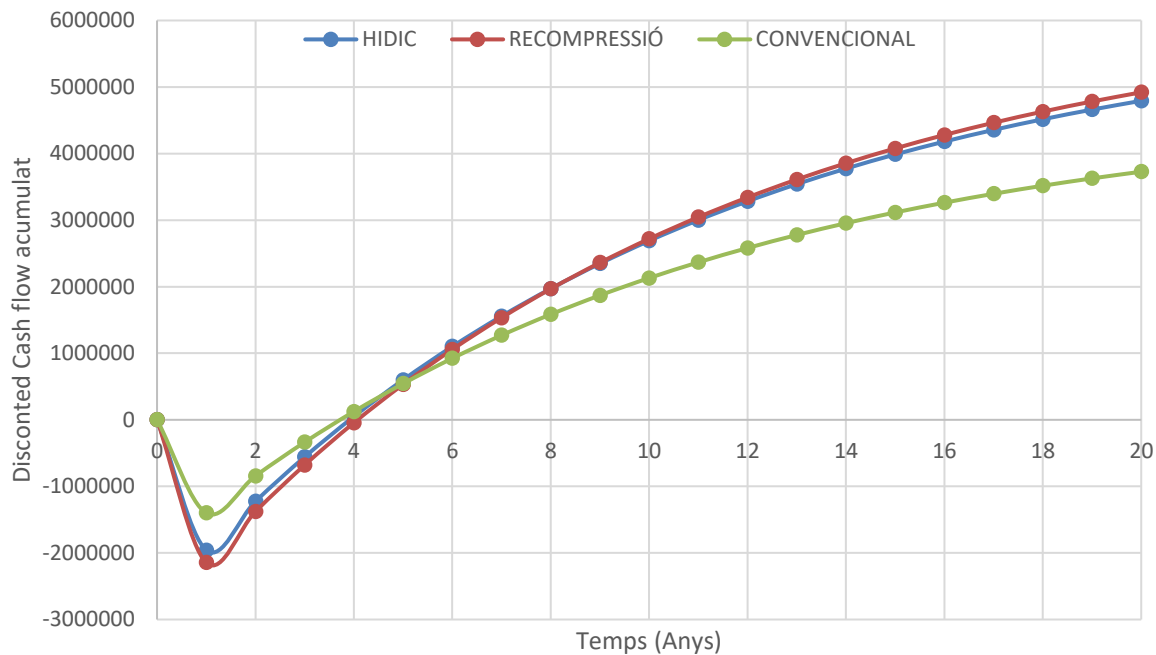


Figura 8.5. *Discounted Cash Flow* acumulat alternatives.

Ara, els beneficis que obtindríem de la HIDiC serien majors que considerant-ho de l'altra manera, i pràcticament els mateixos que per la recompressió. Tot i això, caldria veure si el compressor necessitaria tenir tanta potència com en el cas anterior.

En conclusió, segons l'estudi econòmic realitzat de les alternatives dissenyades, l'alternativa més rentable és la de recompressió del vapor.

9. CONCLUSIONS

En primer lloc, l'objectiu principal del projecte era el disseny d'una columna amb integració interna de la calor. Tenint en compte els problemes de convergència que comporta la seva simulació amb *Aspen Hysys*, s'ha aconseguit realitzar-la i obtenir resultats per poder comparar les alternatives.

Per tal de poder simular correctament cadascuna de les alternatives, s'ha dut a terme una recerca bibliogràfica, per a estudiar curosament els seus funcionaments i conèixer les seves principals diferències.

Pel que fa a la columna convencional no ha presentat problemes de convergència. Els resultats obtinguts han estat els esperats segons la recerca bibliogràfica actual. És un disseny que no requereix d'una gran inversió inicial dels equips, però molt deficitària energèticament.

Seguidament, amb el disseny de la columna de recompressió de vapor sí que s'han presentat els primers problemes de convergència. Una vegada estudiat, s'ha observat que el principal problema venia donat pel corrent de reflux, ja que el disseny no disposa de condensador. Degut a això, el model de columna predeterminat per *Aspen* necessita que s'introdueixi un corrent de reflux fictici, que posteriorment s'itera fins obtenir el seu valor real.

Per últim, la tecnologia HIDiC ha presentat més complicacions perquè no es disposa de suficient informació de la seva distribució i funcionament. És un model que té diferents versions. Idealment són dues columnes concèntriques, però tenint en compte que la major sortida industrial utilitza dues columnes consecutives amb corrents d'intercanvi energètic entre elles, s'ha seleccionat aquesta versió. Segons l'estudi realitzat no s'ha observat un gran estalvi energètic. Tot i reduir el consum d'aigua de refrigeració i vapor, la potència requerida del compressor és molt elevada.

Econòmicament parlant, la columna convencional és l'alternativa més barata en la seva construcció, i al mateix temps amb la que menys beneficis s'obtidrien al llarg de la seva vida útil degut al seu gran consum energètic.

La columna de recompressió de vapor té una inversió inicial major que la convencional, però al llarg de la seva vida útil s'obtenen més beneficis al no emprar *utilities* al *reboiler*.

Per la columna d'integració interna de la calor la inversió és molt elevada a causa de la utilització de dues columnes i les condicions de treball dels equips, que es podrien optimitzar. Es tracta d'una nova tecnologia que encara està per profunditzar. Al llarg de la seva vida útil s'obtenen més beneficis que a la convencional, però menys que a la de recompressió.

En conclusió, l'opció més viable econòmicament per substituir la columna convencional existent en l'empresa és la de recompressió del vapor. Aquesta ofereix més beneficis al llarg del temps de vida útil. Tot i això, cal remarcar que una millora en les condicions i en la distribució dels equips de la HIDiC, comportaria un estalvi energètic suficient per desbancar la de recompressió del vapor.

BIBLIOGRAFIA

Ref. 2: De Rijke, A. (2008) Development of a concentric internally heat integrated distillation column (HIDiC), PhD Thesis, TU Delft.

Ref. 3: Olujic, Z. et al. (2008) Enhancing thermodynamic efficiency of energy intensive distillation columns via internal heat Integration, Chem. Biochem. Eng. Q., 22(4) 383-392.

Ref. 4: Dades de l'alimentació proporcionades per l'empresa.

Ref. 6: Acedo, J. (2003) Control avanzado de procesos, Editorial Díaz de Santos, Madrid.

Ref. 7: Kister, H.Z. (1992) Distillation design, McGraw-Hill, New York.

Ref. 8: Coulson, J.C i Richardson, J.F. (1996) Chemical Engineering, Volumen 6, Cambridge.

Ref. 9: Megyesy, E.F. (1989) Manual de recipientes a presión, Limusa.

Ref. 10: Treviño, A. i Richart, E. (1974) Separación líquido-vapor mediante dipósitos,

Ref 11. Peña, Sheila Ahinnoa (2011) Diseño de un proceso de separación para la obtención de LPG como combustible de automoción, a partir de una mezcla de hidrocarburos, Universidad de Cádiz.

Ref. 12: Barreiro, J. (2000) Fondos conformados en frío, Fondeyur.

Ref. 13: Kern, D.Q. (1965) Process heat transfer. McGraw-Hill.

Ref. 15: Ludwig, E. (1999) Applied process design for chemical and petrochemical plants, Volum 1.

Ref. 16: Casal, J. (1999) Análisis del riesgo en instalaciones Industriales, Edicions UPC, Espanya.

Ref. 17: Fire & explosion Index - Hazard Classification Guide Revised, 7th Ed, AIChE (1994)

Ref. 18: Presentació Moodle TMA: Estudi Impacte Ambiental 3r. Sandra Contreras.

Ref. 20: Gómez, F. (1998) Tecnología del mantenimiento industrial, Universidad de Murcia, 1a Edición.

Ref. 21: Kelly, A. i Harris, M.J. (1997) Gestión del mantenimiento industrial.

Ref. 22: Romera, M.A. (2004) Aplicación del RCM en un proceso químico.

Ref. 23: BOE, Instrucción Técnica Complementara ITC EP-3, Refinerías de Petróleos y plantas petroquímicas (2009).

Ref.24: Turton, R (1998) Analysis, Synthesis, and design of chemical processes, Prentice Hall, USA.

WEBGRAFIA

- Ref. 1: <http://www.toyo-eng.com/jp/en/company/news/?n=345>
- Ref. 5: <https://www.vemacero.com/>
- Ref.14: <https://www.sterlingsihi.com/cms/es/home/navegacion-rapida/descargas/catalogos-de-productos.html>
- Ref. 19: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Tarragon%C3%A8s>

ANNEX

A.1. BASES DE DISSENY

A continuació es mostra el percentatge del treball realitzat el llarg del temps.

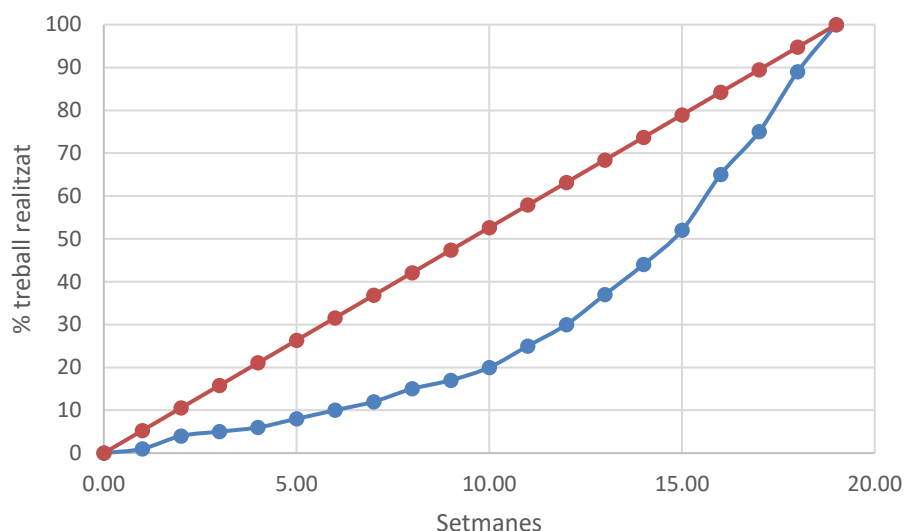


Figura A.1. % del treball realitzat al llarg del temps.

A.2. ENGINYERIA BÀSICA

A.2.1. Columnes de destil·lació

A.2.1.1. Nombre de plats

Per conèixer el nombre de plats de la columna, es va seguir la bibliografia ref. 8. Només s'ha calculat mitjançant aquest mètode per la columna convencional.

A.2.1.1.1. Balanços de matèria

Per saber els cabals molars que sortiran pel cap i fons de columna, s'ha realitzat un balanç de matèria, de propilè i de propà.

$$36.99 = n_{C_3H_6,D} + n_{C_3H_6,R} \quad (A.2.1)$$

$$2.44 = n_{C_3H_8,D} + n_{C_3H_8,R} \quad (A.2.2)$$

Sabent que el cabal molar de cada component és el producte de la seva fracció molar pel cabal total de destil·lat, D, o de *reboiler*, R, els resultats obtinguts són els de la taula A.2.1.

Taula A.2.1. Resultats balanç de matèria.

	Alimentació		Destil·lat		Reboiler	
	F (kmol/h)	Z	D (kmol/h)	X _D	R (kmol/h)	X _R
Propilè	36.99	0.938	36.20	0.9995	0.786	0.245
Propà	2.440	0.062	0.018	5E-04	2.422	0.755

A.2.1.1.2. Volatilitats

El següent pas és calcular les volatilitats absolutes i relatives, necessàries per al posterior càlcul de nombre d'etapes de la columna i taxa de reflux.

$$\text{Volatilitat absoluta: } \alpha_i = \frac{P_{vap,i}}{P_T} \quad (\text{A.2.3})$$

$$\text{Volatilitat relativa: } \alpha_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j} \quad (\text{A.2.4})$$

La pressió total és la d'operació de l'alimentació. Les pressions de vapor han estat calculades per mitjà de les constants d'Antoine i la seva equació, amb mm_{Hg}, segons la temperatura d'ebullició. El paràmetre α_j fa referència a la volatilitat absoluta del component pesat, que és el propà. D'aquesta manera, les volatilitats obtingudes són les següents.

Taula A.2.2. Volatilitats absolutes i relatives.

	Alimentació		Destil·lat		Reboiler	
	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
Propilè	12.68	1.084	5.728	1.112	5.977	1.111
Propà	11.69	1.000	5.151	1.000	5.382	1.000

A més, es calcula la volatilitat relativa mitjana $\alpha_{(C_3H_6, C_3H_8)_m}$ a partir de la de cada component:

$$\alpha_{m,i} = \sqrt[3]{\alpha_F \cdot \alpha_D \cdot \alpha_R} \quad (\text{A.2.5})$$

$$\alpha_{m,i} = \frac{\alpha_{m,C_3H_6}}{\alpha_{m,C_3H_8}} = \frac{7.571}{6.869} = 1.102 \quad (\text{A.2.6})$$

A.2.1.1.3. Nombre d'etapes mínimes

Mitjançant l'equació de Fenske s'obtenen el nombre plats mínims que ha de tenir la columna.

$$N_{min} = \frac{\ln\left[\frac{(X_{C_3H_6})_D}{(X_{C_3H_8})_D} \cdot \frac{(X_{C_3H_8})_R}{(X_{C_3H_6})_R}\right]}{\ln(\alpha_{C_3H_6, C_3H_8})_m} = \frac{\ln\left[\frac{(0.9995)}{(5E-04)}_D \cdot \frac{(0.755)}{(0.245)}_R\right]}{\ln 1.1022} = 89.69 \quad (\text{A.2.7})$$

Arrodonint, per tant, el nombre d'etapes mínimes és de 90.

Amb l'equació A.2.8 es calcula el nombre d'etapes mínim a la zona de rectificació.

$$N_{min} = \frac{\ln\left[\frac{(X_{C_3H_6})_D}{(X_{C_3H_8})_D} \cdot \frac{(X_{C_3H_8})_F}{(X_{C_3H_6})_F}\right]}{\ln(\alpha_{C_3H_6, C_3H_8})_m} = \frac{\ln\left[\frac{(0.9995)}{(5E-04)}_D \cdot \frac{(0.062)}{(0.938)}_F\right]}{\ln 1.1022} = 50.19 \quad (\text{A.2.8})$$

Per tant, 51 etapes mínimes de rectificació.

A.2.1.1.4. Reflux mínim

A partir del mètode Underwood s'ha calculat el factor de reflux mínim, r_{min} , per posteriorment conèixer la relació de reflux R/D.

$$1 - q = \sum \frac{x_{F,i} \cdot \alpha_{ij}}{\alpha_{ij} - \theta} \quad (\text{A.2.9})$$

On q és la proporció líquida de l'alimentació, i és 1. A partir de l'E.7 es troba θ , que ha d'estar entre les volatilitats relatives del propà i propilè, i resulta 1.00578. A partir d'aquest valor es troba r_{min} .

$$0r_{min} + 1 = \sum \frac{x_{D,i} \cdot \alpha_{ij}}{\alpha_{ij} - \theta} \quad (\text{A.2.10})$$

La relació de reflux mínima és de 9.37.

A.2.1.1.5. Relació de reflux

Segons Gilliland es calcula la relació de reflux amb el destil·lat. S'escull que el reflux d'operació és 1.5 el reflux mínim. D'aquesta manera, s'obté que:

$$R/D = 1.5 \cdot r_{min} = 14.06 \quad (\text{A.2.11})$$

S'ha obtingut una taxa de reflux de 14.

A.2.1.1.6. Relació de reflux

Per saber quantes etapes total tindrà la columna, N, es segueixen 3 ajustos, on el valor més gran serà el vàlid.

$$\text{Molokonov: } \left[\frac{N-N_{min}}{N+1} \right] = 1 - \exp \left[\left(\frac{1+54.5 \cdot \psi}{11+117.2 \cdot \psi} \right) \cdot \left(\frac{\psi-1}{\psi^{0.5}} \right) \right] \rightarrow N = 143.69 \quad (\text{A.2.12})$$

$$\text{Eduljee: } \left[\frac{N-N_{min}}{N+1} \right] = 0.75 \cdot (1 - \psi^{0.5688}) \rightarrow N = 141.37 \quad (\text{A.2.13})$$

$$\text{Ruschee: } \left[\frac{N-N_{min}}{N+1} \right] = 1 - 0.1256 \cdot \psi - 0.8744 \cdot \psi^{0.291} \rightarrow N = 136.07 \quad (\text{A.2.14})$$

El paràmetre ψ és calculat de la següent manera:

$$\psi = \frac{r-r_{min}}{r+1} = 0.311 \quad (\text{A.2.15})$$

Com a resultat s'ha obtingut que hi ha 144 etapes, segons l'equació de Molokonov.

Tot i això, per realitzar els disseny dels plats i la seva eficàcia, s'ha utilitzat el nombre d'etapes obtingut de l'ASPEN, que és de 115 en les columnes convencional i RCV, i 172 pel que fa a la HIDiC.

A.2.1.1.6. Etapa d'alimentació

Per últim es calcula quin és el plat per on es produeix l'alimentació.

$$\frac{N_{min,rect.}}{N_{min}} = \frac{N_{alimentació}}{N} \rightarrow N_{alimentació} = 81.6 \quad (\text{A.2.16})$$

Finalment, l'alimentació entra a la columna a l'etapa 82.

A.2.1.2. Disseny de plats

En aquest apartat se calculen en detall tots els valors a partir dels quals s'han obtingut els valors de la taula 4.7, els quals representen el disseny dels plats de la columna. Tenint en compte que s'han agafat dades dels corrents de cap i fons de columna, al final les dades i resultats utilitzats com a vàlids són les del corrent per mitjà del qual s'ha obtingut un diàmetre de columna major.

A.2.1.2.1. Diàmetre de la columna

Factor de flux:

$$F_{LV} = \frac{L}{V} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} \quad (\text{A.2.17})$$

S'escull un espai entre plats de 0.6 m. A partir del factor de flux, F_{LV} , s'obté la constant K, que és corregida per les tensions superficials.

$$K_1 \text{ corregida} = \left(\frac{\sigma}{0.02} \right)^{0.2} \cdot K_1 \quad (\text{A.2.18})$$

La velocitat d'inundació de vapor, u_f , és:

$$u_f = K_{1,corr} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}} \quad (\text{A.2.19})$$

Tenint en compte el 85% que suposadament hi hauria d'inundació del flux màxim, la velocitat passa a ser:

$$u_v = u_f \cdot 0.85 \quad (\text{A.2.20})$$

Àrea neta requerida:

$$\dot{A}_n = \frac{\text{flux vol.màxim}}{u_v} \quad (\text{A.2.21})$$

Àrea transversal de la columna, agafant com a que, per primera vegada, l'àrea de la baixant és del 12%:

$$\dot{A}_c = \frac{A_n}{0.88} \quad (\text{A.2.22})$$

Diàmetre de la columna, que finalment s'agafa com a el valor més gran d'entre els dos extrems dels plats de la columna:

$$D_c = \sqrt{\frac{A_c \cdot 4}{\pi}} \quad (\text{A.2.23})$$

Taula A.2.3. Valors obtinguts per al càlcul del diàmetre de la columna.

Abreviatura - paràmetre		Convencional		RCV		HIDiC
		TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM	BOTTOM
F_{LV}	factor flux L-V	0.268	0.301	0.188	0.237	0.248
	espai entre plats (suposició) (m)	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
K1	K1	0.075	0.071	0.085	0.078	0.080
K1	correcció K1	0.056	0.052	0.068	0.061	0.075
u_f	velocitat d'inundació de V (m/s)	0.194	0.164	0.297	0.248	0.057
u_v	85% d'inundació al flux màxim (m/s)	0.165	0.139	0.252	0.211	0.192
	flux volumètric màxim (m ³ /s)	0.302	0.288	0.584	0.479	0.686
A_n	àrea neta requerida (m ²)	1.829	2.068	2.318	2.272	3.578
A_c	àrea transversal de la columna (m ²)	2.079	2.350	2.634	2.582	4.066
Dc	diàmetre columna (m)	1.627	1.730	1.831	1.813	2.275

Com s'ha dit, s'agafa el valor major de diàmetre de columna, i a partir d'aquí, la resta de paràmetres seran obtinguts mitjançant les dades del corrent corresponent al diàmetre més gran. Per tant, en el disseny de plats de la columna convencional, s'agafen les dades del corrent de fons; en el de la RCV, les del corrent de cap; i a la HIDiC, en les de fons.

Tot i haver obtingut uns resultats força coherents per les tres columnes, en el cas de la HIDiC només s'ha tingut en compte el corrent de fons de columna per obtenir els resultats, que és el que surt de la zona d'esgotament. Això es deu a que els cabals que surten pel cap de columna i es dirigeixen al condensador (columna de rectificació), són molt més petits que els que surten per fons i sortiria un diàmetre molt petit. Veure PFD de la HIDiC a 5.1.3.

A.2.1.2.2. Cabal líquid acordat

Finalment, el cabal de líquid patró serà, per després conèixer el nombre de passos per plat:

$$\text{Cabal màx. líquid} = \frac{L_w}{\rho_L} \quad (\text{A.2.24})$$

Segons la figura s'obté que el nombre de passos per plat és 1, per totes les alternatives de columna.

A.2.1.2.3. Disseny provisional del plat

Es calculen les diferents àrees que formen el plat.

Àrea de la baixant, agafant com el 12%:

$$\dot{A}_d = \dot{A}_c \cdot 0.12 \quad (\text{A.2.25})$$

Àrea activa:

$$\dot{A}_a = \dot{A}_c - 2\dot{A}_d \quad (\text{A.2.26})$$

Àrea de forat, agafant com el 10% de l'àrea activa:

$$\dot{A}_h = 0.1 \cdot \dot{A}_a \quad (\text{A.2.27})$$

Longitud de l'abocador, que s'obté mitjançant la figura següent:

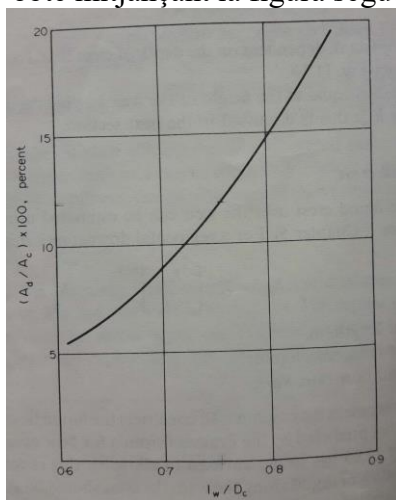


Figura A.2.1. Relació entre àrea de baixant i longitud de l'abocador.

Com que el quocient de àrea de la baixant i la de la columna és del 12%, s'obté una longitud de l'abocador, l_w , de 1.31, 1.39 i 1.72 m, respectivament (convencional, RCV i HIDiC).

Se prenen com a valors d'altura de l'abocador, h_o , 50mm, diàmetre de forat, d_h , 5mm i grossor del plat, p_{th} , de 5mm.

A.2.1.2.4. Check weeping

L'altura de la cresta de l'abocador, h_{ow} , s'obté a partir de l'equació següent. Es calcula el valor d'aquesta altura segons el flux de líquid màxim i mínim:

$$h_{ow} = 750 \left[\frac{L_w}{\rho_L \cdot l_w} \right]^{2/3} \quad (\text{A.2.28})$$

Llavors es calcula la constant corresponent al punt de supuració amb la figura següent:

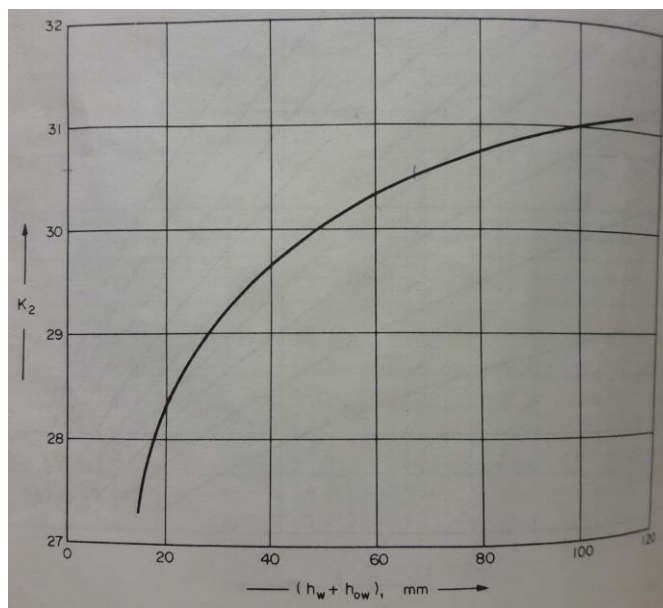


Figura A.2.2. Cresta de l'abocador.

S'obté la velocitat de vapor de disseny mínima, u_h .

$$u_{h,min} = \frac{[K_2 - 0.9(25.4 - d_h)]}{(\rho_v)^{1/2}} \quad (\text{A.2.29})$$

I finalment, la velocitat de vapor mínima actual.

$$u_{h,min actual} = \frac{0.7 \cdot \text{flux vol.màx.}}{(\rho_v)^{1/2}} \quad (\text{A.2.30})$$

Es mostren els resultats d'aquest apartat a la taula següent:

Taula A.2.4. Resultats de *check weeping*.

abreviatura	paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
L_w màx.	Flux de líquid màxim (kg/s)	11.81	12.17	20.28
L_w mín.	Flux de líquid mínim (kg/s)	8.264	8.519	14.19
h_{ow} màx.	Altura cresta líquida màxima (mm)	54.98	51.11	62.84
$h_o + h_{ow}$	Flux mínim (mm)	93.34	90.29	99.54
K_2	Correlació de <i>weep-point</i>	30.90	30.85	30.98
$u_{h,min}$	Velocitat de vapor mín. a través dels forats (m/s)	1.964	2.505	2.325
$u_{h,min actual}$	u_h actual (m/s)	1.130	2.043	1.554

A.2.1.2.5. Caiguda de pressió

Es calcula la velocitat de vapor màxima a través dels forats dividint el cabal per l'àrea de forat A_h . Havent trobat el coeficient d'orifici que és 0.84 per tots els casos, es pot conèixer la caiguda de pressió del plat sec:

$$h_d = 51 \left[\frac{u_h}{C_o} \right]^2 \frac{\rho_L}{\rho_v} \quad (\text{A.2.31})$$

Posteriorment, la caiguda de pressió residual de plat.

$$h_r = \frac{12.5 \cdot 10^3}{\rho_L} \quad (\text{A.2.32})$$

I finalment, la caiguda de pressió total serà la suma:

$$h_t = h_d + (h_w + h_{ow}) + h_r \quad (\text{A.2.33})$$

Taula A.2.5. Caiguda de pressió de la columna.

	abreviatura - paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
$u_{h,màx}$	Velocitat màx de vapor a través dels forats (m/s)	1.615	2.919	2.219
h_d	Caiguda de pressió de plat sec (mm líquid)	16.98	31.15	21.70
h_r	Caiguda de pressió residual de plat (mm líquid)	27.62	25.43	25.85
h_t	Caiguda de pressió per plat (mm líquid)	149.6	157.7	160.4
h_t total	Caiguda de pressió total (bar)	1.890	1.997	3.048

A.2.1.2.6. Líquid de la baixant (o *downcomer*)

Es comença calculant la pèrdua de càrrega de la baixant, que és l'altura de l'abocador menys 10mm, i per tant són 40mm. L'àrea de separació sota el davantal o *apron*, \dot{A}_{ap} , la que ocupa aquesta altura i l'amplada de l'abocador, que és de 0.0526, 0.0557 i 0.0692 m², respectivament.

A partir d'aquí, es calcularà el temps de residència que el líquid és retingut per la baixant. Primer, però, es calcula la pèrdua de pes a la baixant.

$$h_{dc} = 166 \left(\frac{L_{w,màx}}{\rho_L \cdot A_{ap}} \right) \quad (\text{A.2.34})$$

L'altura de líquid acumulat a la baixant és:

$$h_b = (h_o + h_{ow,màx}) + h_t + h_{dc} \quad (\text{A.2.35})$$

I ara sí, se sap el temps de residència t_r :

$$t_r = \frac{\dot{A}_d \cdot h_{bc} \cdot \rho_L}{L_{wd}} \quad (\text{A.2.36})$$

Els resultats són mostrats a la taula següent A.2.6:

Taula A.2.6. Confirmació de líquid de la baixant.

abreviatura	paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
h_{dc}	Pèrdua de pes a la baixant (mm)	40.86	32.84	61.04
h_b	Altura del líquid retingut a la baixant (m)	0.295	0.292	0.334
t_r	Temps de residència revisat a la baixant (s)	3.193	3.723	3.889

A.2.1.2.7. Comprovació de l'arrossegament

Mitjançant la velocitat de vapor superficial i el percentatge d'inundació de líquid, es troba el factor de flux líquid-vapor, a partir del qual es troba el paràmetre ψ o arrossegament fraccional segons la figura següent:

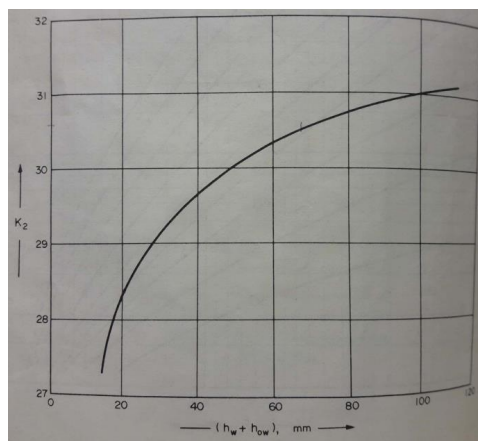


Figura A.2.3. Correlació d'arrossegament.

Taula A.2.7. Comprovació d'arrossegament.

abreviatura	Paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
u_v	Velocitat de vapor superficial (m/s)	0.1390	0.2521	0.1917
u_f/u_v	Percentatge inundació (%)	85	85	85
ψ	Arrossegament fraccional	0.0105	0.0200	0.0250

A.2.1.2.8. Esquema del plat

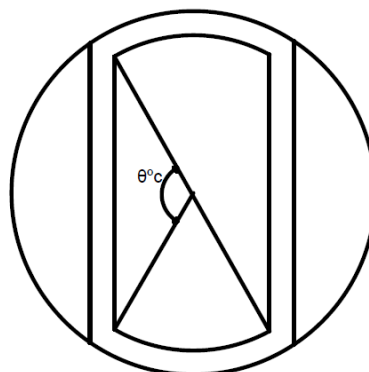


Figura A.2.4. Esquema de la construcció del plat.

A.2.1.2.9. Àrea perforada

A partir de la figura A.2.5 es trobarà l'angle delimitat per la corda i la seva llargada de l'abocador.

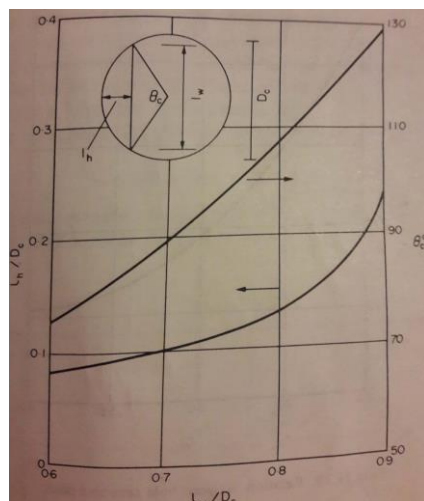


Figura A.2.5. Relació entre l'angle delimitat per la corda, l'amplada, i la llargada de la corda.

L'angle θ_c és 99° . L'àrea de les tires no perforades és el producte d'entre la longitud mitjana de les tires no perforada que estan a la vora i els 50mm que mesura la vora del plat que està sense perforar. L'àrea total que està capacitada per les perforacions, A_p , és:

$$\dot{A}_p = \dot{A}_a - (\dot{A}_{\text{tires no perf.}} + \dot{A}_{\text{zones calmades}}) \tag{A.2.37}$$

Finalment, s'obté la relació entre l'àrea de forat i el *pitch*, mitjançant la figura A.2.6.

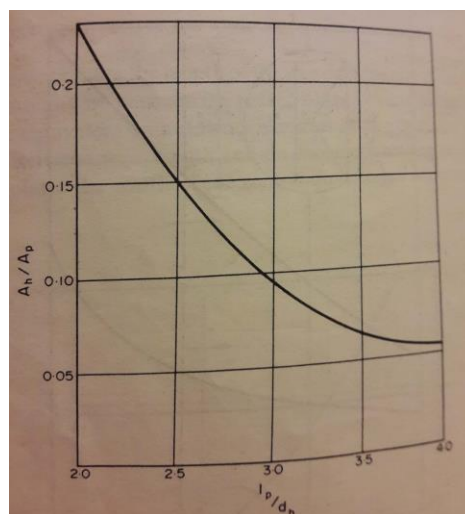


Figura A.2.6. Relació entre l'àrea del forat i la distància entre centres.

Taula A.2.8. Àrea perforada.

abreviatura	paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
l_h	Llargada de la corda de l'abocador (m)	0.208	0.220	0.273
	Àrea tires no perforades de la vora (m^2)	0.119	0.126	0.157
	Àrea zones calmades (m^2)	0.121	0.129	0.163
A_p	Àrea total capacitada per perforacions (m^2)	1.546	1.747	2.770
l_p/d_h	Distància entre centres / diàmetres forats	2.700	2.700	2.750

A.2.1.2.10. Nombre de forats

L'àrea d'un forat és obtinguda mitjançant el seu diàmetre i el nombre total de forats, coneixent l'àrea total de forat.

Taula A.2.9. Nombre de forats.

paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
Àrea d'un forat (mm ²)	19.63	19.63	19.63
Nombre de forats per plat	80	89	137
Nombre de forats total	9096	10195	15738

A.2.1.3. Disseny de plats

En aquest apartat es calcula en detall l'eficàcia dels plats de la columna de destil·lació convencional, a partir del mètode empíric d'O'Connell (ref.8), i a partir del mètode d'AICHe (ref. 8). El mètode de càlcul per la RCV ha estat exactament el mateix.

A.2.1.3.1. Correlació O'Connell

La correlació d'O'Connell és una manera ràpida de trobar l'eficàcia global dels plats. La combinació d'una precisió raonable, bona fiabilitat i simplicitat, juntament amb la debilitat de les correlacions d'eficiència teòrica de plats, dona lloc a que la correlació de O'Connell sigui l'estàndard de la indústria. A més, és la recomanada per la major part de bibliografies.

Aquest camí de trobar l'eficàcia només té en compte dos paràmetres, la volatilitat i la viscositat, que són avaluades a partir de la mitjana aritmètica entre les temperatures de cap i fons de columna. Aquesta correlació és:

$$E_{OC} = 0.492(\mu_L \alpha)^{-0.245} \quad (\text{A.2.38})$$

Només s'ha calculat per la columna convencional. La viscositat líquida a 45.61°C, que és la mitjana d'entre *top* i *bottom* de la columna, és 0.0724 cP. Després d'haver calculat les volatilitats absolutes del propà i propilè a la temperatura esmentada, la volatilitat relativa és de 1.1938. Per tant, com a resultat s'obté que l'eficàcia general de la columna és de EOC = 89.65%.

A.2.1.3.2. Mètode AICHe

És el mètode més detallat per predir les eficàcies dels plats que es pot trobar a la literatura actual. Amb absència de valors experimentals, o mètodes predictius, s'hauria d'utilitzar aquest quan es necessita un valor d'eficàcia més precís, com és en aquest treball. L'aproximació es pot dir que és semiempírica.

Com s'ha dit en la part de l'informe, l'eficàcia dels plats de la columna vàlida pot ser la mitjana d'entre la del plat de *top* i la de *bottom*, que són els 115 i 2, respectivament, tant per la convencional com per la RCV. Així doncs, s'han agafat les dades d'ambdós plats per començar amb el càlcul, mostrades a l'apartat 4.2.3.1 de l'informe. Com s'ha dit a l'informe, l'eficàcia dels plats de la HIDiC ja no s'ha considerat.

El primer a saber són les dimensions del plat: l'àrea activa, la distància entre baixants, i l'alçada de l'abocador, ja coneguts prèviament. De la mateixa manera, també s'agafen els valors de cabals mínims calculats en l'apartat del disseny, en kmol/s, les densitats, les viscositats de vapor, les difusivitats que s'han hagut de calcular, els pesos moleculars mitjans, els cabals volumètrics, i una sèrie de paràmetres nous per aconseguir l'eficàcia. A continuació, les fórmules dels termes que no s'havien calculat en el disseny de plats, i els resultats.

Coeficient de difusivitat de vapor, segons l'equació de Wilke-Chang:

$$D_v = \frac{1.013 \cdot 10^{-7} \cdot T^{1.5} \cdot (1/M_a + 1/M_b)^{1/2}}{P[(\Sigma v_{i,a})^{1/3} + (\Sigma v_{i,b})^{1/3}]} \quad (\text{A.2.39})$$

On D_v és el coeficient de difusivitat de vapor, m^2/s , $M_{a,b}$ els pesos moleculars de propà o propilè i els sumatoris de v_i són els dels coeficients de volums de difusió especials per als dos components, que estan tabulats i per al carboni atòmic són 16.5 i per al hidrogen atòmic 1.98.

Coeficient de difusivitat de líquid, segons l'equació de Fuller:

$$D_L = \frac{1.013 \cdot 10^{-13} (\Phi M)^{1/2} T}{\mu \cdot V_m^{0.6}} \quad (\text{A.2.40})$$

On D_L és el coeficient de difusivitat de líquid, m^2/s , Φ un factor associat al solvent que en aquest cas és el propà i serà 1, μ la viscositat d'aquest solvent, mNs/m^2 , i V_m el volum molar del solut al seu punt d'ebullició, tabulat i que per al carboni és 0.0148 i per a l'hidrogen 0.0037.

Velocitat de vapor basat en l'àrea activa:

$$u_a = \frac{\text{flux vol.vapor}}{\dot{A}_a} \quad (\text{A.2.41})$$

Factor 'F' de columna:

$$F_v = u_a \sqrt{\rho_v} \quad (\text{A.2.42})$$

Amplada mitjana sobre l'àrea activa:

$$\text{Amplada plat} = \frac{\dot{A}_a}{l_w} \quad (\text{A.2.43})$$

Nombre d'unitats de transferència de fase gas:

$$N_G = (0.776 + 4.57 \cdot 10^{-3} h_w - 0.24 F_v + 105 L_p) / \left(\frac{\mu_v}{\rho_v D_v} \right)^{0.5} \quad (\text{A.2.44})$$

Retenció de líquid al plat:

$$Z_c = 0.006 + 0.73 \cdot 10^{-3} h_w - 0.24 \cdot 10^{-3} F_v h_w + 1.22 L_p \quad (\text{A.2.45})$$

Temps de contacte de líquid:

$$t_L = Z_c Z_L / L_p \quad (\text{A.2.46})$$

On Z_L és la distància entre baixants, o l_w .

Nombre d'unitats de transferència de fase líquida:

$$N_L = (4.13 \cdot 10^8 D_L)^{0.5} (0.21 F_v + 0.15) t_L \quad (\text{A.2.47})$$

Difusivitat d'Eddy

$$D_e = (0.0038 + 0.017 u_a + 3.86 L_p + 0.18 \cdot 10^{-3} h_w)^2 \quad (\text{A.2.48})$$

Nombre de Peclet:

$$P_e = Z_L^2 / D_e t_L \quad (\text{A.2.49})$$

Els resultats d'aquest procediment, són:

Taula A.2.10. Resultats per saber l'eficàcia dels plats de la columna convencional.

Abreviatura - paràmetre		Convencional		RCV	
		BOTTOM	TOP	BOTTOM	TOP
D_L	Difusivitat líquid (m^2/s)	1.19E-10	1.17E-10	1.32E-10	1.21E-10
D_v	Difusivitat vapor (m^2/s)	4.68E-07	4.74E-07	6.34E-07	6.26E-07
u_a	Velocitat de vapor segons àrea activa (m/s)	1.29E-02	1.12E-02	1.27E-02	1.39E-02

F_V	Factor 'F' columna	8.24E-02	7.28E-02	6.58E-02	6.95E-02
L_p	Flux vol. a través del plat / amplada plat (m^2/s)	1.70E-02	1.51E-02	1.76E-02	1.62E-02
N_G	Nº unitats de transferència fase gas	3.82	3.41	3.97	3.51
Z_C	Retenció de líquid al plat (m^3/s^2)	6.23E-02	6.01E-02	6.32E-02	6.15E-02
t_L	Temps de contacte de líquid (s)	4.81	5.22	4.99	5.27
N_L	Nº unitats de transferència fase líquida	1.78	1.90	1.91	1.94
D_e	Difusivitat d'Eddy (m^2/s)	4.90E-03	3.92E-03	5.21E-03	4.48E-03
Pe	Nombre de Peclet	73.41	84.40	74.47	82.12

Coneixent els pendents de la línia d'operació, per cada punt, la relació mV/L és la inversa d'aquesta pendent. Dividint aquest factor pel nombre d'unitats de transferència de fase líquida i gas, s'obté l'eficàcia de punt, segons la figura A.2.7.

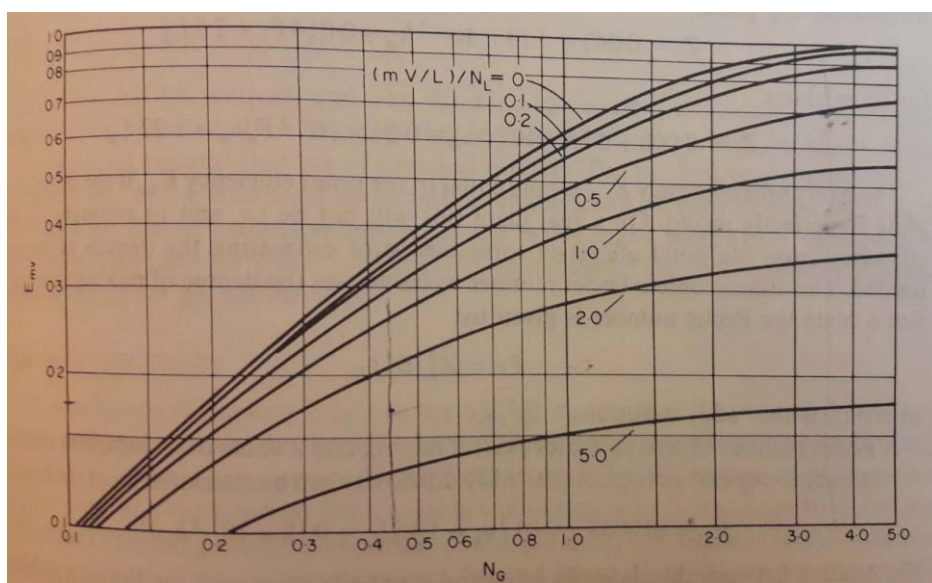


Figura A.2.7. Relació entre l'eficàcia de punt i el nombre d'unitats de transferència de líquid i gas.

Ara, amb la figura A.2.8 s'obté la relació entre eficàcies de punt i de plat.

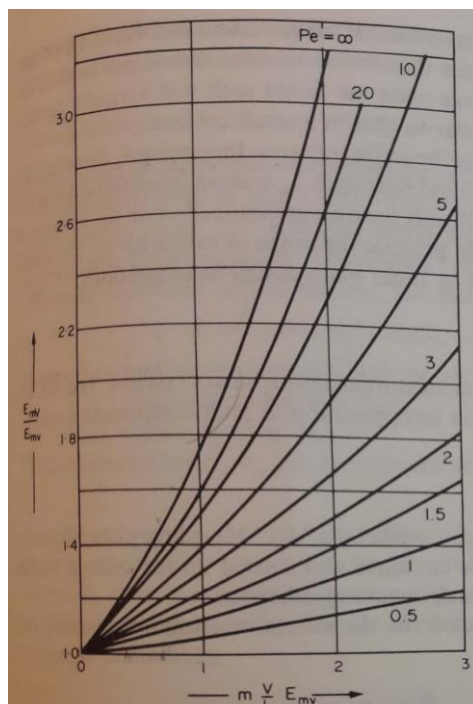


Figura A.2.8. Relació entre eficàcies de punt i plat.

Taula A.2.11. Eficàcia de plat.

abreviatura	paràmetre	Convencional		RCV	
		BOTTOM	TOP	BOTTOM	TOP
	Pendent línia operació	1.004	0.962	0.996	0.838
	$(mV/L)/N_L$	0.558	0.549	0.526	0.616
E_{mv}	Eficàcia de punt	0.650	0.620	0.680	0.650
	$(mV/L)*E_{MV}$	0.647	0.645	0.683	0.776
E_{mV}/E_{mv}	Relació entre eficàcies de punt i plat	1.350	1.330	1.300	1.400
E_{mV}	Eficàcia de plat	0.878	0.825	0.884	0.910
E_{mV} mitj.	Eficàcia de plat mitjana	0.851		0.897	

Per tant, les eficàcies dels plats de la columna convencional i RCV són, respectivament, $E_{mV} = 85.11\%$ i $E_{mV} = 89.70\%$.

A.2.2.3. Disseny mecànic

A més a més, s'ha dissenyat mecànicament la columna tenint en compte que hi hagués un vent amb una velocitat de 120km/h, per tal de veure com afecta amb l'espessor al fons de la columna (ref. 9).

Primer que res s'ha establert que l'altura de la columna de recompressió de vapor és igual a 250ft. Aquest valor s'ha obtingut multiplicant el nombre d'etapes que conté la columna per la separació entre cadascuna, que vindrien a ser 69m (226ft). Llavors, considerant l'altura dels fonsos, s'ha definit aquesta altura aproximada de 250ft.

Seguint el càlcul de la càrrega per vent basat amb la norma A58.1-1982 d'ANSI, s'ha obtingut primer una pressió de disseny degut al vent, en funció de l'altura de la columna.

La pressió de disseny (lb/ft^2) de vent s'obté a partir de la següent fórmula:

$$P = q_s C_e C_q \quad (\text{A.2.50})$$

La q_s és la pressió d'estancament del vent a l'altura estàndard de 30 peus tal i com es tabula a continuació:

Taula A.2.12. Pressió d'estancament en funció de la velocitat bàsica del vent.

Velocitat bàsica del vent (mph)	70	80	90	100	110	120	130
Pressió q_s (lb/ft ²)	13	17	21	26	31	37	44

El coeficient de pressió (factor de forma), C_q , és per recipients cilíndrics 0.9.

El coeficient de factor per ràfegues de vent ve determinada en funció de l'altura, i també segons l'exposició, que serà C ja que es tracta de terrenys plans i oberts. La B en canvi fa referència a zones amb boscos, irregularitats o grans construccions properes a la columna. Així doncs, els valors són:

Taula A.2.13. Altura combinada, exposició i coeficient del factor per ràfegues.

Altura (ft)	Coeficient C_e	
	Exposició C	Exposició B
0-20	1.2	0.7
20-40	1.3	0.8
40-60	1.5	1.0
80-100	1.6	1.1
100-150	1.8	1.3
150-200	1.9	1.4
200-300	2.1	1.6
300-400	2.2	1.8

Així doncs, amb una velocitat del vent de 74.56mph (equivalent als 120km/h), s'obté una pressió de disseny de vent de:

Taula A.2.14. Pressió de disseny del vent.

Altura (ft)	Pressió de disseny de vent (lb/ft ²)
0-20	28.1
20-40	30.4
40-60	35.1
80-100	37.4
100-150	42.1
150-200	44.5
200-300	49.1

Un cop obtinguda la pressió de disseny del vent, es vol saber si l'espessor requerit del fons (entre 0 i 20ft) total, és a dir, el corresponent a la pressió interna més el del vent, serà superior a l'espessor requerit de la carcassa de la columna, que és de 0.232in, o 8mm estandaritzat. Per tal d'arribar-hi es segueix un procediment de fórmules i factors.

L'espessor requerit per flexió longitudinal degut a la pressió del vent és:

$$t = \frac{M_T}{R^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} \quad (\text{A.2.51})$$

Del qual se sap que la tensió admissible, S, són 448MPa, el radi de la columna és la meitat dels 71in de diàmetre intern, i E és l'eficàcia de la soldadura que és 0.8. Per tant queda conèixer el moment a la costura inferior, pertanyent a l'interval d'altura d'entre 0 i 20 ft.

$$M_T = M - h_T(V - 0.5P_w D_1 h_T) \quad (\text{A.2.52})$$

Moment de la base (ft/lb):

$$M = P_w \cdot D_{ext} \cdot H_{columna} \quad (\text{A.2.53})$$

Esforç tallant (lb):

$$V = M_T / h_1 \quad (\text{A.2.54})$$

De la resta de paràmetre no esmentats, h_T és l'altura d'un fons de columna, D_1 el diàmetre extern de la columna i h_1 la meitat de l'alçada total de la columna. Els resultats obtinguts, només considerant la pressió del vent a la costura inferior de la columna, són:

Taula A.2.15 Espessor requerit per la pressió de vent a la costura inferior.

M (ft/lb)	M_T (in/lb)	V (lb)	h_T (ft)	St (lb/in)	$t_{p.vent}$ (in)
4.21E+04	5.99E+05	337	11.8	6.50E+04	2.90E-03

Per tant, l'espessor requerit calculat amb la resistència de la costura inferior de la pressió del vent més la pressió interna del recipient és de 0.104in. Com que és menor que l'espessor calculat amb la resistència de la costura longitudinal (només sotmès a pressió interna), serà aquest el que s'utilitzarà com a vàlid, i és de 0.202in, que comercialment és de $t=12$ mm.

També s'ha calculat el diàmetre de les toveres, que estan indicats als fulls d'especificació corresponents.

A.2.2. Acumulador de reflux

A.2.2.1. Capacitat de l'acumulador de reflux

Per fer el dimensionament d'aquest recipient, es vol conèixer la longitud H (figura A.2.9), que s'obindrà després d'haver obtingut el majors dels volums definits per (informació subministrada per l'empresa):

- 15 minuts del cabal de producte líquid, si aquest alimenta una altra unitat del procés, que en el nostre és l'equivalent al corrent 105, o de destil·lat.
- 5 minuts del cabal de reflux, que és el corrent 106.
- 2 minuts del cabal de líquid, si aquest s'envia a un dipòsit d'emmagatzematge. En aquest cas, no hi ha cabal del procés que hi equivalgui.

Llavors, amb el producte del cabal volumètric per cada cas pel seu temps, s'ha obtingut el volum. Per a la convencional i la RCV s'han escollit el volum pertanyent als 5 minuts d'operació, degut a que el cabal del reflux és molt més gran que el de destil·lat. Per la HIDiC, en canvi, el cabal de destil·lat amb un temps de 15 minuts. En cap cas el cabal de líquid s'envia a un dipòsit d'emmagatzematge (cas de 2 minuts d'operació). El volum resultant s'incrementa en un 10% per recomanacions econòmiques. Tot i això, s'ha de tenir en compte que el tanc s'omplirà un màxim del 80% de la seva capacitat.

Es pot veure a la taula de resultats 4.12 com les dimensions de l'acumulador de reflux de la columna HIDiC són força menors que les de les altres columnes, degut a que el cabal de destil·lat és molt petit, concretament de 3.23 m³/h.

A.2.2.2. Dimensions de l'envolvent cilíndrica

El diàmetre del cos cilíndric se calcula mitjançant la següent expressió, A.2.55, que és la recomanada per dipòsits horitzontals i estableix la relació entre el volum i el diàmetre basat en dades comercials:

$$D = 0.74 \cdot V^{1/3} \quad (\text{A.2.55})$$

La longitud de l'envoltant cilíndrica de l'acumulador s'obté aïllant de la següent expressió (A.2.56)

$$V = \pi \cdot \frac{D}{4} \cdot L \quad (\text{A.2.56})$$

Per tant, es pot dir que la relació longitud – diàmetre compleix entre el requisit dels dipòsits separadors de l'ordre d'entre 3 i 5, en concret $L/D = 4.40$, i 4.83 , per a l'acumulador de la columna convencional i per al de la RCV, respectivament. Pel que fa a la HIDiC, aquesta divisió és menor a 3, però es considera com a vàlid.

A.2.2.3. Localització de nivells

Quan s'hagin d'instal·lar instruments de nivell, per regla general interessa col·locar la brida inferior de connexió de tals instruments horitzontalment, i evitar trams descendents que podrien acumular brutícia, donant lloc a obstruccions. Aquest, que és recomanat per fluids nets, resulta imperatiu a serveis "bruts".

D'això se dedueix que, al fixar els diferents nivells, també s'han de tenir en compte les distàncies mínimes requerides per les connexions dels instruments. En principi, aquestes distàncies depenen de que els instruments se connectin directament, o mitjançant una canonada auxiliar, anomenada *stand pipe*.

A la figura A.2.9 se mostra un esquema d'un separador horitzontal líquid-vapor, amb controlador, mesurador de nivell i d'alarmes.

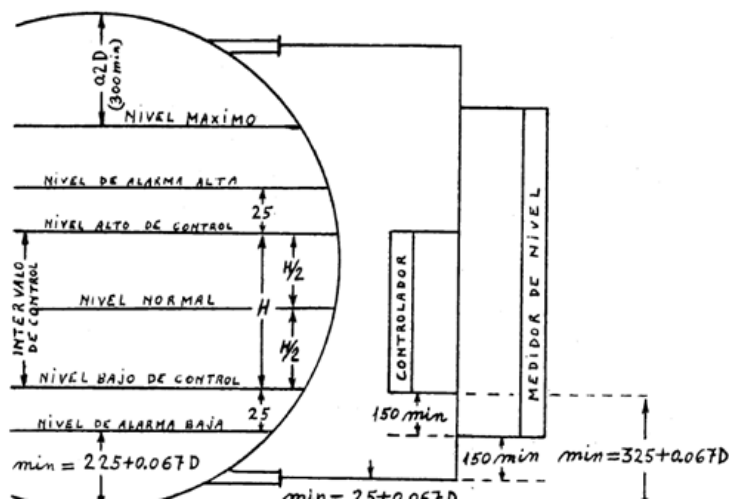


Figura A.2.9. Localitzacions de nivell de l'acumulador (informació confidencial empresa).

- La brida de connexió dels instruments s'ha de col·locar a una distància de la generatriu del cilindre, donat per l'expressió $25 + 0.067D$, en mm.
- El mesurador i controlador de nivell necessiten a la seva vegada 150mm d'espai mort, cadascun d'ells. Per tant, els seus instruments localitzats sobre un *stand pipe* requereixen conjuntament, situar el nivell inferior del controlador a 300 mm més cap a dalt de la brida de connexió. La distància H, per tant, es compta a partir del nivell mínim exigint pels instruments.
- A més, s'ha de tenir en compte que si se col·loca una alarma de baix nivell, el seu nivell s'ha de situar uns 200 mm per sobre de la brida de connexió inferior. Considerant aquesta distància mínima i la de la brida de connexió, el nivell de l'alarma inferior no pot estar a menys de $225 + 0.067D$ (mm) de la generatriu inferior del cilindre.

- La distància H, que és l'interval de control, s'obté restant el diàmetre de l'acumulador menys la resta de nivells ja esmentats. Però, per especificar la variació de nivell que desitja que s'ha de controlar, convé conèixer els intervals de control normalitzats. Els valors més habituals dels quals són els de la taula següent:

Taula A.2.16. Intervals normalitzats dels controladors.

Polzades	14	32	48	60	72	84	96
mm	356	813	1219	1524	1829	2134	2438

Després d'haver seguit aquests passos, les localitzacions dels nivells són:

Taula A.2.17. Nivells de l'acumulador de reflux.

Nivell (mm)	Convencional	RCV	HIDiC
Brida de connexió inferior	118.9	128.0	72.67
Mesurador	150.0	150.0	150.0
Controlador	150.0	150.0	150.0
Nivell d'alarma baixa	200.0	200.0	200.0
Nivell d'alarma alta	200.0	200.0	-
Brida de connexió superior	188.9	128.0	72.67
Interval de control, H	463.4	581.0	66.15
Interval normalitzat de control	813.0	813.0	356.0

Per tant, l'interval normalitzat de control és de H=32 polzades, tant per la convencional com per la RCV. Pel que fa a la HIDiC, aquest interval és de H=14 polzades. No es posa nivell d'alarma alta al de la HIDiC per ser tant petit.

A.2.2.4. Disseny mecànic

L'espessor requerit per l'envoltant cilíndrica se calcula a partir de dos expressions diferents, la recollida del codi ASME, Secció VIII, Div.1 i la que ve proporcionada per especificació tècnica segons el Reglament d'Aparells a Pressió. Com a vàlid, s'agafa l'espessor amb valor més gran d'entre els dos, i serà l'espessor equivalent comercial el que tindrà l'equip. Les unitats utilitzades són psi per la pressió i in per longitud, i posteriorment es passa a mm d'espessor.

Segons el codi ASME:

$$t_c = \frac{P \cdot R}{\sigma_t \cdot E_s - 0.6P} + CA \quad (\text{A.2.57})$$

On P és la pressió de disseny, de 20 barg o 290 psig per a la convencional, 23 barg per la RCV i 24 bar g per la HIDiC; R és el radi de la carcassa, de 27.6 in, 30.3 in, i 36.6, respectivament; σ_t és la tensió admissible del material, que és de 448 MPa (o 65000 psi); E_s que és l'eficàcia de la soldadura, i és de 0.8; i CA és el gruix de corrosió permès, que és de 1/8 in, o 3.175 mm.

D'altra banda, segons el Reglament d'Aparells a Pressió, l'equació és la A.2.58 (ref.11).

$$t_c = \frac{D}{1000} + 2.54 + CA \quad (\text{A.2.58})$$

Per als fondos, que són toriesfèrics del tipus Klopper, s'utilitza una altra expressió per calcular el grossor (ref. 12).

$$t_f = \frac{0.885 \cdot P \cdot D}{\sigma_t \cdot E_s - 0.1P} + CA \quad (\text{A.2.59})$$

També s'ha calculat el pes del tanc total, de la següent manera:

$$Pes \text{ cilindre tanc} = \pi \cdot (R_{ext}^2 - R_{int}^2) \cdot L \cdot g \cdot \rho_{A51560} \quad (A.2.60)$$

$$Pes \text{ fondos tanc} = 0.52 \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot D/4 \cdot g \cdot \rho_{A51560} \quad (A.2.61)$$

$$Pes \text{ líquid} = V_{líquid} \cdot \rho_{líquid} \cdot g \quad (A.2.62)$$

On ρ_{A51560} és 7860 kg/m³ i g és la gravetat, de 10 m/s².

Els diferents paràmetres i resultats es mostren a continuació:

Taula A.2.18. Disseny mecànic de l'acumulador de reflux.

	Abreviatura - Paràmetre	Convencional	RCV	HIDiC
t _c ASME	Espessor envoltant cilíndrica (mm)	7.134	7.518	8.430
t _c RAP	Espessor envoltant cilíndrica (mm)	12.50	14.68	21.60
t _c	Espessor cilindre estàndard (mm)	16.00	16.00	24.00
t _f	Espessor fondos (mm)	10.16	10.84	12.45
t _f	Espessor fondos estàndard (mm)	12.00	12.00	16.00
P _{cil.}	Pes envoltant cilíndrica (kN)	33.88	45.54	121.4
P _{fondos}	Pes fondos (kN)	0.494	0.387	1.136
P _{líquid}	Pes líquid (kN)	24.08	32.17	58.82
P _{buit}	Pes tanc buit (kg)	3506	4684	1.249E+04
P _{ple}	Pes tanc ple de líquid (kg)	5961	7964	1.849E+04

Les toveres i els seus diàmetres, en polzades, s'indiquen a la següent taula, i són:

Taula A.2.19. Tovera/diàmetres de l'acumulador de reflux.

Servei	Convencional	RCV	HIDiC
Entrada producte des de condensador	H / 8	H / 8	AJ / 2
Sortida producte de l'acumulador	DA / 8	J / 8	AM / 8
Controlador de nivell LT (2x)	AY / 2	AY / 2	AL / 2
Purga	-	I / 2	AK / 2
Manhole	K / 20	K / 20	BO / 20

A.2.3. Condensadors

A continuació, es duu a terme el disseny d'un condensador, per exemple el de la columna C-101, per després introduir els valors calculats al programa *Aspen Exchanger* per poder tenir un disseny lo més real possible. Els condensadors de les altres columnes s'han dissenyat directament a partir dels valors obtinguts del simulador *Aspen Exchanger*.

El procés per realitzar el disseny s'ha utilitzat el mètode Kern, on explica pas per pas el disseny d'un intercanviador carcassa-tubs que serà com el nostre condensador.

Tot seguit es mostren els diferents apartats del procés.

Càlcul de la calor intercanviada

Primerament, cal tenir les diferents variables requerides en el disseny. Aquestes són obtingudes mitjançant la simulació de la columna C-101 que s'ha realitzat en *Aspen Hysys*. En la taula A.2.20. es mostren tots els paràmetres.

Taula A.2.20. Paràmetres dels corrents d'entrada i sortida del condensador.

Paràmetres	Corrent		
	Destil·lat	Aigua Refrigeració	
Cabal	kg/h	40120	304912

Temperatura in	°C	41.47	27
Temperatura out	°C	41.47	37
Pressió	Bar	1.7	5
Calor del fluid	kJ/kg	309.47	-
Densitat vapor	kg/m ³	36.96	-
Densitat líquid	kg/m ³	-	995.6
Conductivitat tèrmica	W/m	0.02082	0.58
Calor específic	kJ/kg/°C	1	4.072
Viscositat	Pa·s	0.00999	0.00078

Un cop tenim tots els paràmetres ja podem començar el càlcul de la calor que es necessita per dur a terme la condensació del corrent de destil·lat. Es pot obtenir mitjançant la següent equació:

$$Q_{intercanviada} = \text{Cabal de vapor} \cdot \text{Calor del fluid} \quad (\text{A.2.63})$$

$$Q_{intercanviada} = 40120 \cdot 309.47 = 12416000 \text{ kJ/h} \quad (\text{A.2.64})$$

Passem el resultat a kW dividint els segons que hi ha en una hora, i tenim 3448.89 kW.

Càlcul del cabal de refrigerant i del àrea del intercanviador

Amb el valor de l'equació A.2.65 i la A.2.66 es treu el cabal de refrigerant necessari.

$$Q_{intercanviada} = m_{refri} \cdot C_{p_{refri}} \cdot \Delta T_{refri} \quad (\text{A.2.65})$$

$$m_{refri} = \frac{Q_{intercanviada}}{C_{p_{refri}} \cdot \Delta T_{refri}} = 304911.6 \text{ kg/h} \quad (\text{A.2.66})$$

Seguidament, es busca bibliogràficament un coeficient de transferència de calor (U) per poder tenir un valor i calcular l'àrea necessària. La U per aquest cas s'ha agafat un valor de 2000 kW/m²·K. També es calcula l'increment de temperatura mitjana logarítmica.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{oh}-T_{ic})-(T_{ih}-T_{oc})}{\ln\left(\frac{T_{oh}-T_{ic}}{T_{ih}-T_{oc}}\right)} = 8.51 \text{ °C} \quad (\text{A.2.67})$$

$$\dot{A}rea = \frac{Q_{intercanviada}}{U \cdot \Delta T_{ml}} = 202.57 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.68})$$

Per poder tenir una mesura del intercanviador s'agafaran tubs de 25.4 mm, un gruix de 2 mm i de llargada 4.87 m. La longitud del intercanviador es pot calcular de la següent manera:

$$L_{inter} = \frac{\dot{A}rea}{\pi \cdot D_i} = 521 \text{ tubs} \quad (\text{A.2.69})$$

Per poder obtenir una carcassa amb aquesta dimensió suficient de tubs cal mirar les que hi ha en el mercat. La s'ha seleccionat conté 551 tubs, per tant l'àrea nova del intercanviador serà ara de 231.31 m².

Càlcul del coeficient de convecció costat tubs

Primerament cal saber l'àrea de pas entre els tubs, que es calcula de la següent manera.

$$a_{pT} = \left(N_T \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}\right) \frac{1}{\text{passos de tubs}} = 0.28 \quad (\text{A.2.70})$$

La velocitat del fluid.

$$V = \frac{m_{refri}}{\rho \cdot a_{pT}} = 0.3 \text{ m/s} \quad (\text{A.2.71})$$

Calculem tots els paràmetres de Reynolds, Prantel i Nussel.

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} = 9882 \quad (\text{A.2.72})$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} = 0.005 \quad (\text{A.2.73})$$

$$Nu = 0.027 Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 7.47 \quad (\text{A.2.74})$$

I finalment ja podem calcular la hi.

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{Di} = 170.6 \frac{W}{m^2} \cdot K \quad (\text{A.2.75})$$

Però cal tenir el gruix dels tubs.

$$hio = hi \cdot \frac{Di}{Do} = 158.13 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (\text{A.2.76})$$

Càlcul del coeficient de convecció costat carcassa.

Tal i com hem fet anteriorment, es calculen els mateix valors, però pel fluid que passa per carcassa.

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} = 5.0 \cdot 10^5 \quad (\text{A.2.77})$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} = 0.68 \quad (\text{A.2.78})$$

$$Nu = 0.36 Re^{0.55} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 619.6 \quad (\text{A.2.79})$$

I finalment ja podem calcular la hi.

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{Di} = 662.3 \frac{W}{m^2} \cdot K \quad (\text{A.2.80})$$

Càlcul del coeficient global de transferència de calor.

En conclusió, un cop obtinguts els coeficients de cadascun dels fluids es pot calcular el coeficient global de transferència de calor.

$$U = h_o \cdot \frac{hio \cdot h_o}{h_o + hio} = 280 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (\text{A.2.81})$$

Ara hem de comprovar si l'àrea requerida per dur a terme la transferència de calor és més petita que la que primerament havíem calculat.

$$A_R = \frac{Q}{\Delta T_{ml} \cdot U} = 106 m^2 \quad (\text{A.2.82})$$

Tal i com podem veure $A_R < A$, per tant està fet correctament el disseny.

Càlcul dels gruixos requerits en el disseny mecànic

En aquest apartat es calcularan els gruixos que necessita l'intercanviador, tant per la part dels tubs com per la carcassa i la placa tubular. Per aquest càlcul també s'ha agafat un coeficient de corrosió permès de 3.18mm.

El gruix dels tubs és el següent:

$$t = \frac{P \cdot R}{SE - 0.4 \cdot P} + CA = 3.20 mm \quad (\text{A.2.83})$$

El gruix de la carcassa:

$$t = \frac{P \cdot D}{SE - 0.6 \cdot P} + CA = 3.97 \text{ mm} \quad (\text{A.2.84})$$

El gruix dels caps de la carcassa:

$$t = \frac{P \cdot D}{2SE - 1.8 \cdot P} + CA = 5.17 \text{ mm} \quad (\text{A.2.85})$$

El gruix de la placa tubular:

$$t = \frac{F \cdot G}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{S \cdot n}} = 15 \text{ mm} \quad (\text{A.2.86})$$

A.2.4. Reboiler

A.2.4.1. Reboiler termosifó vertical

Per tal de realitzar el disseny del *reboiler* amb Aspen Exchanger s'ha realitzat un disseny previ amb el tradicional mètode Kern (ref. 13) per tal de disposar de totes les dades per a la simulació en el programa. A més, s'ha pogut realitzar una comparació entre els dos mètodes.

A la taula A.2.21 es poden veure les diferents dades necessàries per al disseny del *reboiler*, provinents de la simulació de la columna en Aspen Hysys.

Taula A.2.22. Dades dels corrents del *reboiler*

Paràmetres	Unitats	Corrent	
		Fons columna	Vapor d'aigua
Cabal	kg/h	42500	1725
Temperatura in	°C	49.55	170
Temperatura out	°C	49.77	110
Pressió	bar	20.4	5.5

En primer lloc se suposa un coeficient U base, anomenat U_d . Amb les dades prèvies de la taula A.2.22 es procedeix al càlcul.

$$Q = m_v \cdot (h_v + h_L) = 1114.4 \text{ KW} \quad (\text{A.2.87})$$

$$m_v = \frac{Q}{h_v + h_L} = 1725 \text{ Kg/h} \quad (\text{A.2.88})$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{C1} - T_{C2}) + (T_{f2} - T_{f1})}{\ln\left(\frac{T_{C1} - T_{f2}}{T_{C2} - T_{f1}}\right)} = 87.6 \quad (\text{A.2.89})$$

$$A_{ideal} = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T_{lm}} = 13.4 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.90})$$

$$N_{tubs} = \frac{A_{ideal}}{A_{tub}} = 110 \quad (\text{A.2.91})$$

$$A_{real} = N_{tubs} \cdot A_{tubs} = 15.3 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.92})$$

$$U_{corregit} = \frac{Q}{A_{real} \cdot \Delta T_{lm}} = 1498 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{A.2.93})$$

Una vegada tenim el coeficient $U_{corregit}$, es procedeix al càlcul de la pèrdua de càrrega on són necessàries les densitats de líquid i vapor, així com els cabals de sortida obtinguts de la simulació de la columna.

$$\dot{v}_{vap} = \frac{1}{\rho_v} = 0.0245 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{A.2.94})$$

$$\dot{v}_{líq} = \frac{1}{\rho_l} = 0.002207 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{A.2.95})$$

$$v_{vap \text{ sort. tubs}} = \dot{v}_{vap} \cdot v_{sortida} = 1038.5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{A.2.96})$$

$$v_{líq \text{ sort. tubs}} = 4 \cdot \dot{v}_{líq} \cdot v_{sortida} = 374.3 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{A.2.97})$$

$$v_o = \frac{v_{vap \text{ sort. tubs}} + v_{líq \text{ sort. tubs}}}{v_{sortida} + 4 \cdot v_{sortida}} = 0.00666 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{A.2.98})$$

Finalment, amb la llargada de tubs i els valors obtinguts anteriorment es calcula la caiguda de pressió

$$\Delta P_{tubs} = \left(\frac{2.3 \cdot \text{Llargada tubs}}{144 \cdot (v_o - v_{líq \text{ sort. tubs}})} \right) \cdot \log \left(\frac{v_o}{v_{líq \text{ sort. tubs}}} \right) = 0.0564 \text{ bar} \quad (\text{A.2.99})$$

A continuació, es procedeix al càlcul de la pèrdua de càrrega al costat carcassa amb les següents equacions:

$$a_t = \frac{N_{tubs} \cdot 0.302}{144} = 0.0214 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.100})$$

$$G_t = \frac{4 \cdot v_{sortida} + v_{sortida}}{a_t} = 10.75 \text{ kg/s m}^2 \quad (\text{A.2.101})$$

$$Re_t = \frac{D_{ext} \cdot G_t}{\mu} = 450700 \quad (\text{A.2.102})$$

$$S_{prom} = 0.43 + \frac{1}{2 \cdot v_o \cdot 62.5} = 0.5049 \quad (\text{A.2.103})$$

$$\Delta P_{carcassa} = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot \text{Llargada tubs}}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_{ext} \cdot S_{prom}} = 0.0636 \text{ bar} \quad (\text{A.2.104})$$

Una vegada s'obté la pèrdua de càrrega a costat tubs i carcassa, es pot veure quina es la pèrdua de càrrega

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{tubs} + \Delta P_{carcassa} = 0.1200 \text{ bar} \quad (\text{A.2.105})$$

Finalment, es recalcula el coeficient global net.

$$h_{io} = h_o \cdot \frac{D_{int}}{D_{ext}} = 1579.1 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{A.2.106})$$

$$U_{c \text{ net}} = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}} = 819.44 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{A.2.107})$$

Per tal del disseny mecànic del *reboiler* s'han utilitzat les següents equacions. S'han calculat els gruixos de el cap toriesfèric, dels tubs, carcassa i de la placa tubular. (ref. 9)

$$t_{cap} = \frac{P \cdot D_{tubs}}{2 \cdot S \cdot E + 1.8 \cdot P} + CA = 2.33 \text{ mm} \quad (\text{A.2.108})$$

$$t_{tubs} = \frac{P \cdot R_{tubs}}{S \cdot E + 0.4 \cdot P} + CA = 2.08 \text{ mm} \quad (\text{A.2.109})$$

$$t_{carcassa} = \frac{P \cdot R_{carcassa}}{S \cdot E + 0.4 \cdot P} + CA = 2.18 \text{ mm} \quad (\text{A.2.110})$$

$$t_{placa \text{ tubular}} = \frac{F \cdot G}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{S \cdot n}} = 15 \text{ mm} \quad (\text{A.2.111})$$

A.2.4.2. Reboiler termosifó horitzontal

A continuació s'explica el mètode de càlcul del *reboiler* termosifó horitzontal E-202 pertanyent al *splitter* propà-propilè de recompressió del vapor seguint el mètode Kern (ref. 13). La funció d'aquest *reboiler* és evaporar el corrent de fons de la columna C-201, aquest corrent és escalfat pel corrent procedent de l'intercanviador E-201 que a la seva vegada condensa.

En primer lloc, per al disseny del *reboiler*, se suposa un coeficient d'intercanvi de calor $U=300 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ que equivalen a $1703.4 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Les dades de les que es parteix per a realitzar el càlcul es mostren a la taula A.2.23.

Taula A.2.23. Dades per al càlcul del reboiler E-202.

Descripció	Valor
L tubs (m)	6
DI tubs (m)	0.0185
DE tubs (m)	0.01905
Passos	4
h_L entrada (kJ/kg)	290
h_v T canvi de fase (kJ/kg)	290.3
h_L T canvi de fase (kJ/kg)	610.81
Cabal fons (kg/h)	46100
Cabal retorn columna (kg/h)	47200
C_p entrada caps (kJ/kg $^\circ\text{C}$)	2.72
T entrada caps – Tc1 ($^\circ\text{C}$)	42.70
T sortida caps – Tc2 ($^\circ\text{C}$)	41.71
T entrada fons – Tf1 ($^\circ\text{C}$)	35.32
T sortida fons – Tf2 ($^\circ\text{C}$)	37.32

Per al càlcul de la potència necessària del *reboiler* es calcula mitjançant l'equació A.2.112.

$$q_v = \text{cabal retorn a columna} \cdot (h_v + h_{L,T \text{ canvi de fase}}) = 14939453 \text{ kJ/h} \quad (\text{A.2.112})$$

$$q_s = \text{cabal fons} \cdot (h_L + h_{L,T \text{ canvi de fase}}) = 182817 \text{ kJ/h}$$

$$Q = (q_v + q_s) = 4200 \text{ kW} \quad (\text{A.2.113})$$

El següent pas a realitzar és el càlcul del cabal mínim de caps per a poder escalfar el corrent de fons de la columna, m.

$$m_v = \frac{Q}{C_p \cdot (T_{ent} + T_{sort})} = 5597603 \text{ Kg/h} \quad (\text{A.2.114})$$

$$A_{ideal} = \frac{Q}{U_{d \text{ suposada}} \cdot \Delta T_{lm}} = 425 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.115})$$

$$N_{tubs} = \frac{A_{ideal}}{2\pi r \cdot L} = 1185 \quad (\text{A.2.116})$$

$$D_{carcasa} = 991 \text{ mm} = 39 \text{ pulg}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{C1} - T_{C2}) + (T_{f2} - T_{f1})}{\ln\left(\frac{T_{C1} - T_{f2}}{T_{C2} - T_{f1}}\right)} = 5.62 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{A.2.117})$$

Per al càlcul de ΔT se segueix el següent procediment:

A continuació el càlcul de factors R, S, F_T i ΔT .

$$R = \frac{(T_{C1} - T_{C2})}{(T_{f2} - T_{f1})} = 0.495 \quad (\text{A.2.118})$$

$$S = \frac{(T_{C1} - T_{C2})}{(T_{C1} - T_{f1})} = 0.134 \quad (\text{A.2.119})$$

$$F_T = 0.97 \text{ (ref. 13)}$$

$$\Delta T = \Delta T_{lm} \cdot F_T = 5.623^\circ\text{C} \quad (\text{A.2.120})$$

Per al càlcul de tc se segueixen les següents equacions:

$$\Delta T_c / \Delta T_h = \frac{(T_{C2} - T_{f1})}{(T_{C1} - T_{f2})} = 1.18 \quad (\text{A.2.121})$$

$$K_c = 0.2 \text{ (ref. 13)}$$

$$F_c = 0.5 \text{ (ref. 13)}$$

$$T_c = T_{C2} + F_T(T_{C1} - T_{C2}) = 42.05 \quad (\text{A.2.122})$$

$$t_c = T_{f1} + F_T(T_{f2} - T_{f1}) = 36.32 \quad (\text{A.2.123})$$

Tenint en compte que pel costat tubs passa el fluid calent i que el fluid fred passa pel costat carcassa es calcula h_{io}

$$a'_t = 0.00208 \text{ m}^2 \text{ (ref. 13)}$$

$$a_t = \frac{N_{tubs} \cdot a'_t}{144 \cdot Passos} = 0.625 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.124})$$

$$G_t = \frac{a_t}{m} = 1833895 \text{ lb/h ft}^2 \quad (\text{A.2.125})$$

$$\mu = 0.18 \text{ cp (ref. 13)}$$

$$D = 0.021 \text{ m (ref. 13)}$$

$$Ret = \frac{D \cdot G_t}{\mu} = 292591 \quad (\text{A.2.126})$$

$$J_H = 1000000 \text{ (ref. 13)}$$

$$h_i = \frac{j_H \cdot k(c\mu)^{1/3}}{D} = 405 \quad (\text{A.2.127})$$

$$h_{io} = \frac{h_i \cdot D I_{tubs}}{D E_{tubs}} = 394.2 \quad (\text{A.2.128})$$

Una vegada obtingut h_{io} es procedeix al càlcul de $h_{io \text{ nou}}$ mitjançant l'equació (A.2.131)

$$h_o = 200 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F (ref. 13)}$$

$$t_w = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} = 40.22 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{A.2.129})$$

$$(\Delta T)_w = t_w - t_c = 3.9 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{A.2.130})$$

$$h_s = 60 \text{ (ref. 13)}$$

$$q_s/h_v = 12500 \text{ (ref. 13)}$$

$$q_v/h_s = 9000 \text{ (ref. 13)}$$

$$h_{o\ nou} = \frac{Q}{\frac{q_s}{h_v} + \frac{q_v}{h_s}} = 666.65 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \quad (\text{A.2.131})$$

Per últim es calcula la pèrdua de pressió del costat tubs total (A.2.134)

$$f = 0.004 \text{ ft}^2/\text{plg}^2 \text{ (ref. 13)}$$

$$S = 0.73 \text{ (ref. 13)}$$

$$\Delta P_{tubs} = \frac{f \cdot L_{tubs} \cdot Passos \cdot G t^2}{5.22 \cdot D \cdot S \cdot 10^{10}} = 0.5 \text{ bar} \quad (\text{A.2.132})$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \cdot Passos \cdot \frac{v^2}{2g}}{S} = 0.108 \text{ bar} \quad (\text{A.2.133})$$

$$\Delta P_{tubs\ total} = \Delta P_{tubs} + \Delta P_r = 0.61 \text{ bar} \quad (\text{A.2.134})$$

Cal considerar que la pèrdua de pressió al costat carcassa és despreciable en aquest cas.

Finalment es calcula el coeficient global net, calculat mitjançant l'equació A.2.135.

$$U_{c\ net} = \frac{h_{io} \cdot h_{io\ nou}}{h_{io} + h_{io\ nou}} = 1406.55 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{A.2.135})$$

A.2.5. Bomba

Primerament, es troba el diàmetre òptim per la canonada a la qual se situa la bomba. Es pot fer per mitjà de dos fórmules: per mitjà del flux volumètric (A.2.136), o pel mètode econòmic (A.2.137) (ref. 15).

$$\text{diàmetre} = \sqrt{\dot{A}_{can.} \cdot 4/\pi} \quad (\text{A.2.136})$$

$$\text{diàmetre} = 282 \cdot G^{0.52} \cdot \rho^{-0.37} \quad (\text{A.2.137})$$

El flux màssic, G, és 1569 kg/h i la densitat del fluid és de 475.7 kg/m³. L'àrea de la canonada s'obté a partir de la divisió del flux volumètric, Q, que serà 3.30 m³/h, entre la velocitat de líquid, que es fixa en 3 m/s. Els resultats són 19.72 i 18.71 mm, respectivament, i el diàmetre òptim de la canonada comercial, de Schedule 40, és de d=33.4 mm.

Mitjançant la fórmula de Genereaux (ref. 15), s'obté la caiguda de fricció:

$$\Delta P = 4.07 \cdot 10^{10} G^{1.84} \mu^{0.16} \rho^{-1} d^{-4.84} \quad (\text{A.2.138})$$

La viscositat del fluid és de 5.37E-05 Ns/m². La caiguda de fricció de disseny per metre serà el 20% addicional a ΔP segons la bibliografia, i és doncs, 0.19 kPa/m.

S'han dissenyat les línies de succió i de descàrrega de la bomba. Per cada colze i cada vàlvula que hi ha a la línia, les llargades equivalents són de 30d per al colze, i 18d per cada vàlvula.

A la línia de succió hi ha 1 colze i 2 vàlvules. Des del fons de columna fins al colze hi ha 1.5m, i del colze a la bomba 4. La llargada total de la línia de succió és doncs 7.70 m. La pèrdua a l'entrada és:

$$Pèrdua\ entrada = \frac{\rho \cdot u^2}{2} \quad (\text{A.2.139})$$

El resultat és 0.3 kPa, i la pèrdua de la línia de succió total, de 1.51 kPa. La pressió de succió és la pressió de fons de columna total menys aquestes pèrdues de pressió, i és de 1230.9 kPa.

L'NPSH és finalment, la diferència d'entre aquesta pressió de succió i la pressió de vapor, corresponent als 1230 kPa de pressió d'operació de fons de columna. Per conèixer l'NPSH en unitats de longitud, s'obté:

$$NPSH = \frac{P_{succió} - P_{vapor}}{\rho \cdot g \cdot 1000} = 0.2 \text{ m} \quad (\text{A.2.140})$$

La línia de descàrrega fa 40 m de llarg, i hi ha un total de 3 vàlvules. Per tant, la llargada equivalent és de 41.8 m. La pèrdua dinàmica d'aquesta línia són el control de la vàlvula que són 70 kPa més la pèrdua total de la línia.

La pressió de descàrrega és la suma de la pressió de fons més la pèrdua dinàmica. La diferència de pressions d'entre la pressió de descàrrega, 1306.8 kPa, i la pressió esmentada de succió és de 75.9 kPa, que equival a H=16 m.

Finalment, la potència de la bomba és:

$$P = (H \cdot Q \cdot SG \cdot g) / 1000 \quad (\text{A.2.141})$$

I és P=0.25 kW.

El tipus de bomba s'ha escollit mitjançant la gràfica Q/H A.2.10 Amb una H de 16 m i un cabal Q de 3.3 m³/h, que per obtenir el rodet serà el 20% adicional i per tant 4.0 m³/h, el rodet adequat és el de 120 mm, amb un 32% d'eficiència de la bomba.

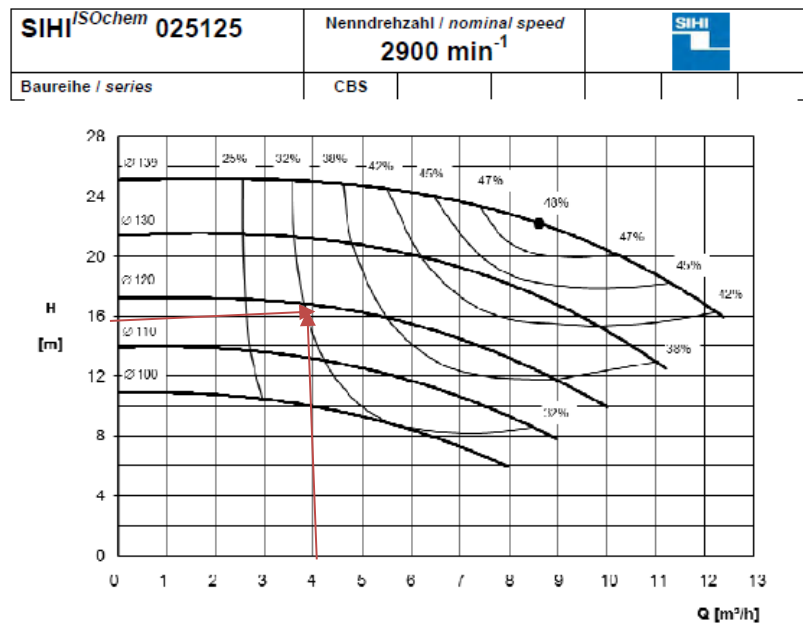


Figura A.2.10. Selecció de la bomba.

A.2.6. Evaporador

Els tres evaporadors tenen la mateixa funció dins el procés, i estan controlats de la mateixa manera. També estan dissenyats igualment. Les equacions següents mostren com s'han dimensionat.

Primerament, el servei de vapor genera una transferència de calor, donant lloc a l'evaporació del propà. S'ha calculat la quantitat de calor transferida, Q, i l'àrea d'intercanvi de la següent manera.

$$Q = \dot{m} \cdot hLG \quad (\text{A.2.142})$$

On l'entalpia del canvi de fase de vaporització per al propà és de 430 kJ/kg, i \dot{m} és el cabal màssic donat pel balanç de matèria.

A partir d'aquí, mitjançant la següent equació se troba la temperatura en què surt el condensat de l'evaporador.

$$Q = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (\text{A.2.143})$$

La Cp del propà és 1.93. Ja sabudes les temperatura d'entrada i de sortida tant del propà com del servei de vapor, es troba l'àrea d'intercanvi de transferència de calor, utilitzar la mateixa quantitat de calor transferida Q, amb l'equació A.2.144.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (\text{A.2.144})$$

On U és el coeficient de transferència de calor, i en aquest cas és de 250 W/m²°C.

Coneixent l'àrea d'intercanvi, i amb una proporció 1:3 entre radi i altura del recipient aproximadament, es fixa el radi i es troba també aquesta altura. La relació és la següent:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \quad (\text{A.2.145})$$

Els gruixos de la carcassa cilíndrica i dels fons (el·lipsoïdals), es calculen amb les equacions:

$$t_c = \frac{P \cdot R}{\sigma_t \cdot E_s - 0.6P} + CA \quad (\text{A.2.146})$$

$$t_f = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_t \cdot E_s - 0.2P} + CA \quad (\text{A.2.147})$$

Finalment, per calcular el pes de l'evaporador, tant buit com amb el líquid, s'han utilitzat les mateixes fórmules que per l'acumulador de reflux, les A.2.60, A.2.61 i A.2.62. Els resultats són els de la taula de l'informe 4.18.

A.2.7. Separador de gotes

Tant en l'equip B-202 com en el B-301 se segueix el mateix procediment de càlcul. A continuació s'explica el càlcul per al càlcul de l'equip B-202 (ref. 8). Per a la realització del disseny s'ha suposat que del cabal d'entrada, un 1% és líquid per a poder dissenyar-lo.

En primer lloc es calcula la velocitat màxima de disseny del vapor amb l'equació següent:

$$\hat{u}_v = 0.035 \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_v}} = 0.15 \text{ m/s} \quad (\text{A.2.148})$$

A continuació es calcula el diàmetre del recipient i finalment la profunditat de líquid que tindria el recipient durant 10 minuts.

$$\text{cabal volumètric de vapor} = \frac{\text{cabal entrada vapor}}{\text{densitat vapor}} = 0.58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{A.2.149})$$

$$\text{Àrea del recipient} = \frac{\text{cabal volumètric de vapor}}{\hat{u}_v} = 3.77 \text{ m}^2 \quad (\text{A.2.150})$$

$$\text{Diàmetre} = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Àrea del recipient}}{\pi}} = 0.8 \text{ m} \quad (\text{A.2.151})$$

$$\text{cabal volumètric de líquid} = \frac{\text{cabal entrada líquid}}{\text{densitat líquid}} = 3.05 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{A.2.152})$$

$$\text{Volum per 10 min} = \text{cabal volumètric líquid} \cdot 600 = 0.18 \text{ m}^3 \quad (\text{A.2.153})$$

$$\text{Profunditat de líquid} = \frac{\text{Volum per 10 min}}{\text{Àrea del recipient}} = 48 \text{ mm} \quad (\text{A.2.1454})$$

A.4. MEDI AMBIENT

S'adjunta la matriu de Leopold completa, per a l'estudi d'impacte ambiental.

Factors			Accions												
			Fase de construcció					Fase d'exploració							
			Alteració de patrons de drenatge	Pavimentació	Soroll i vibracions	Perforació i voladura	Excavació de la superfície	Paisatge	Emplaçaments industrials i edificis	Emmagatzematge de productes	Reciclatge de residus	Emissions de gasos residuals	Aigua de refrigeració industrial	Estabilització de sòls	Vessaments (accidents)
Característiques físiques i químiques	Terra	Materials de construcció Forma del terreny	-2/1 -2/2	-4/2	-4/4 -1/2	-4/6	-3/3		-5/5						-1/3
	Aigua	Qualitat de l'aigua Temperatura Recàrrega	-2/5 2/2								-2/2 -5/4 -3/2		-1/5 -3/5	-2/5 -2/6	
	Atmosfera	Qualitat de l'aire Temperatura					-2/1 -4/8			-2/3		-3/8 -3/4		-3/6 -3/9 -2/4	
	Processos	Erosió Compactació assentament Moviments d'aire		-2/4 -1/5	-5/3	-5/3	-2/3	-1/1					-4/2		
Condicions biològiques i humanes	Flora	Arbres i arbustos Herba Plantes aquàtiques		-1/1	-2/2		-3/3			-2/3			-2/2 -2/2		
	Fauna	Ocells Animals terrestres Peixos i mariscos Insectes	-2/4 -2/4	-3/4 -1/1		-1/1	-1/3	-4/2		-2/2 -2/2	-2/5 -2/2		-1/4		
	Recreatiu	Caça Pesca Navegació					-1/1		-3/3 -3/3	-1/2 -1/3			-2/3 -2/3		
	Interès estètic	Naturalesa Disseny del paisatge	-5/3 -5/3			-4/4		-3/4 -3/4		-2/3					
	Activitats humanes	Salut i seguretat Feina Tractament de residus		-1/4				-1/5 +3/7		-2/4 -3/7	-1/7 -4/8	-3/8 -3/8		-1/3 -3/5	

A.5. ESTUDI ECONÒMIC

Aquí s'adjunten els fulls d'Excel utilitzat per calcular la inversió inicial mitjançant el mètode del Dr. Rolan.

Inversió Convencional.

Nr.Equipos	Indices de coste		Estimado M Euros	Factor o precisión	Bajo	Probable	Alto	
7	1.36		0.268			0.37		
Coste medio M Euros		0.05						
Coste equipo principal M Euros				Estimado	0.33	0.37	0.40	
Coste equipos no listados M Euros			10%		0.03	0.04	0.05	
Equipo base (sin catalizadores)				1.00	0.36	0.41	0.45	
Montaje equipo básico			Comentarios Medio	Factores 13/16/18				
Fundaciones y estructuras			Medio (a.c)	10/13/16				
Tuberías			Medio (líquidos)	33/45/65				
Aislamiento equipos y tuberías			M.Alto (ac. Baja T ^a)	26/30/35				
Electricidad + iluminación			Líquidos	11/15/18				
Instrumentación			Media	15/25/35				
Otros			P.simple	1/1,5/2				
Subtotal factores					109/145,50/189			
Ajustes		Bajo	Alto					
		0.05	-0.05					
		114.45	179.55					
Total factores ajustados y redondeados					115/146/180	0.42	0.61	0.82
Coste directo de límites de planta					0.78	1.02	1.27	
Costes indirectos		29% del coste directo			0.23	0.34	0.37	
Subtotal					1.00	1.36	1.64	
Imprevistos		14% del coste directo			0.11	0.18	0.22	
Total					1.11	1.54	1.86	

Inversió Recompressió

Nr.Equipos	Indices de coste		Estimado M Euros	Factor	Bajo	Probable	Alto
9	1.35		0.491	o precisión		0.66	
Coste medio M Euros		0.07					
Coste equipo principal M Euros				Estimado	0.60	0.66	0.73
Coste equipos no listados M Euros			10%		0.06	0.06	0.07
Equipo base (sin catalizadores)				1.00	0.66	0.72	0.80
Montaje equipo básico			Comentarios Medio	Factores 13/16/18			
Fundaciones y estructuras			Medio (a.c)	10/13/16			
Tuberías			Medio (líquidos)	33/45/65			
Aislamiento equipos y tuberías			M.Alto (ac. Baja T°)	26/30/35			
Electricidad + iluminación			Líquidos	11/15/18			
Instrumentación			Media	15/25/35			
Otros			P.simple	1/1,5/2			
Subtotal factores				109/145,50/189			
Ajustes	Bajo	Alto					
	0.05	-0.05					
	114.45	179.55					
Total factores ajustados y redondeados				115/146/180	0.76	1.04	1.44
Coste directo de límites de planta					1.41	1.76	2.25
Costes indirectos		29% del coste directo			0.41	0.39	0.65
		Subtotal			1.82	2.15	2.90
Imprevistos		14% del coste directo			0.20	0.20	0.31
		Total			2.02	2.36	3.21

Inversió HIDiC

Nr.Equipos	Indices de coste		Estimado M Euros	Factor	Bajo	Probable	Alto
23	1.35		0.494	o precisión		0.67	
Coste medio M Euros		0.03					
Coste equipo principal M Euros				Estimado	0.60	0.67	0.73
Coste equipos no listados M Euros			10%		0.06	0.05	0.07
Equipo base (sin catalizadores)				1.00	0.66	0.72	0.81
Montaje equipo básico			Comentarios Medio	Factores 13/16/18			
Fundaciones y estructuras			Medio (a.c)	10/13/16			
Tuberías			Medio (líquidos)	33/45/65			
Aislamiento equipos y tuberías			M.Alto (ac. Baja T°)	26/30/35			
Electricidad + iluminación			Líquidos	11/15/18			
Instrumentación			Media	15/25/35			
Otros			P.simple	1/1,5/2			
Subtotal factores				109/145,50/189			
Ajustes	Bajo	Alto					
	0.05	-0.05					
	114.45	179.55					
Total factores ajustados y redondeados				115/146/180	0.76	1.02	1.45
Coste directo de límites de planta					1.42	1.74	2.26
Costes indirectos		29% del coste directo			0.41	0.35	0.66
		Subtotal			1.83	2.09	2.92
Imprevistos		14% del coste directo			0.20	0.17	0.32
		Total			2.03	2.27	3.23

A.6. ESTUDI DE SEGURETAT

A continuació es mostren les fitxes tècniques dels compostos que intervenen en el procés.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPANO

(licuado) (botella a presión)

ICSC: 0319

Noviembre 2003

n-Propano

CAS:	74-98-6	C₃H₈ / CH₃CH₂CH₃
RTECS:	TX2275000	Masa molecular: 44,1
NU:	1978	
CE Índice Anexo I:	601-003-00-5	
CE / EINECS:	200-827-9	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra) si aparece en estado líquido. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Somnolencia. Pérdida del conocimiento.	Usar sistema cerrado o ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Utilizar pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS

¡Evacuar la zona de peligro! ¡Consultar a un experto!
Protección personal: equipo autónomo de respiración.
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.

ENVASADO Y ETIQUETADO

Clasificación UE
Símbolo: F+; R: 12; S: (2)-9-16
Clasificación NU
Clasificación de Peligros NU: 2.1

RESPUESTA DE EMERGENCIA

Ficha de Emergencia de Transporte: TEC (R)-20S1011.
Código NFPA: H1; F4; R0.

ALMACENAMIENTO

A prueba de incendio. Fresco.

IPCS

International Programme on Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPANO
(licuado) (botella a presión)

ICSC: 0319

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:
GAS INODORO INCOLORO COMPRIMIDO LICUADO.

PELIGROS FÍSICOS:
El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

PELIGROS QUÍMICOS:

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:
MAK: 1000 ppm, 1800 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(4); Riesgo para el embarazo: grupo D; (DFG 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:
La sustancia se puede absorber por inhalación.

RIESGO DE INHALACIÓN:
Al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:
La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: -42°C
Punto de fusión: -189.7°C
Densidad relativa (agua = 1): 0.5
Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 0.007
Presión de vapor, kPa a 20°C: 840

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.6
Punto de inflamación: -104°C
Temperatura de autoignición: 450°C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.1-9.5
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2.36

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona.
Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.
Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 1000 ppm

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPILENO

ICSC: 0559



Metilileno
Propeno
Metileno
(botella)
 C_3H_6 / CH_2CHCH_3
Masa molecular: 42.1

Nº CAS 115-07-1
Nº RTECS UC6740000
Nº ICSC 0559
Nº NU 1077
Nº CE 601-011-00-9



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra) si aparece en estado líquido.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION			
• INHALACION	Somnolencia. Sofocación (Véanse Notas).	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
• PIEL	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Véase Piel.	Gafas ajustadas de seguridad, o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• INGESTION		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	

DERRAMES Y FUGAS

ALMACENAMIENTO

ENVASADO Y ETIQUETADO

Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar todas las fuentes de ignición. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. (Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).

A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.

NU (transporte):
Clasificación de Peligros NU: 2.1
CE:
símbolo F+
R: 12
S: 2-9-16-33



VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0559

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPILENO

ICSC: 0559

D
A
T
O
S
I
M
P
O
R
T
A
N
T
E
S

ESTADO FISICO; ASPECTO

Gas licuado comprimido incoloro.

PELIGROS FISICOS

El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

PELIGROS QUIMICOS

Reacciona violentamente con oxidantes originando peligro de incendio y explosión.

LIMITES DE EXPOSICION

TLV: A4 (ACGIH 2003)

MAK no establecido.

VIAS DE EXPOSICION

La sustancia se puede absorber por inhalación.

RIESGO DE INHALACION

Al producirse pérdidas en zonas confinadas este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire.

EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición podría causar disminución de la consciencia. Véanse Notas.

PROPIEDADES FISICAS

Punto de ebullición: -48°C
Punto de fusión: -185°C
Densidad relativa (agua = 1): 0.5
Solubilidad en agua: escasa
Presión de vapor, kPa a 25°C: 1158

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.5
Punto de inflamación: gas inflamable
Temperatura de autoignición: 460°C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.4-10.3
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.77

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-137.
Código NFPA: H 1; F 4; R 1;

INFORMACION ADICIONAL

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm>

Última revisión IPCS: 1998
Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado:
2003
FISQ: 6-161

ICSC: 0559

PROPILENO

© CE, IPCS, 2003

**NOTA LEGAL
IMPORTANTE:**

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.